



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту



**МАТЕРІАЛИ
II НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
МАГІСТРАНТІВ
ІНСТИТУТУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА
ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ**

пам'яті професора

Василя Миколайовича Винославського

(за результатами дисертаційних досліджень магістрантів)

21 – 22 листопада 2019 року

(ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ)

**Київ
2019**

II науково-технічна конференція магістрантів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів). Зб. наукових праць ІЕЕ, КПІ імені Ігоря Сікорського – Київ: ІЕЕ, 2019. – 553с.

У збірнику представлено доповіді молодих фахівців з питань перспективних розробок та нових рішень в енергетиці сталого розвитку на II науково-технічній конференції магістрантів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів).

До збірника включено статті за такими напрямками: сталий розвиток енергетики, енергетичний менеджмент та інжиніринг, сучасні системи забезпечення електричною енергією, інжиніринг та автоматизація електротехнічних комплексів, мехатроніка енергоємних виробництв, проблеми видобутку корисних копалин, геотехнічне і міське підземне будівництво, інженерна екологія та ресурсозбереження, охорона праці, промислова та цивільна безпека, а також особливості функціонування паливно-енергетичного комплексу України з урахуванням природоохоронних вимог. Викладено методи аналізу системи електропостачання, дано оцінку рівнів енергозабезпеченості та енергоефективності з урахуванням екологічного фактора та впливу галузі на людину.

Друкується за рішенням Вченої ради ІЕЕ (протокол № 7 від 9 грудня 2019 року)

Організаційний комітет:

Голова комітету – Денисюк С.П., д.т.н., професор, директор ІЕЕ.

Заступник голови – Дичко А.О., д.т.н., проф., заст. директора ІЕЕ з наукової роботи;

Члени оргкомітету: Дешко В.І. – д.т.н., проф., завідувач кафедри теплотехніки та енергозбереження; Студенець В.П. – к.т.н., доц. каф. теплотехніки та енергозбереження;

Закладний О.О. – к.т.н., доц. каф. електропостачання; **Лістовщик Л.К.** – к.т.н., доц. каф.

електромеханічного обладнання енергоємних виробництв; **Попов В.А.** – д.т.н., проф.,

завідувач кафедри електропостачання; **Розен В.П.** – д.т.н., проф., завідувач кафедри

автоматизації управління електротехнічними комплексами; **Ткачук К.К.** – д.т.н., проф.,

завідувач кафедри інженерної екології; **Лебедєв Л.М.** – к.т.н., доц. каф. автоматизації

управління електротехнічними комплексами; **Шевчук С.П.** – д.т.н., проф., завідувач кафедри

електромеханічного обладнання енергоємних виробництв, **Броницький В.О.** – ас. кафедри

інженерної екології, **Чернецька Ю.В.** – асистент кафедри електропостачання,

Адреса організаційного комітету:

Україна, Київ, 03056, вул. Борщагівська, 115, корпус № 22.

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

mag-conference@i.ua

www.en.iee.kpi.ua

Укладання збірника наукових праць: Закладний О.О.

Матеріали подані у авторській редакції.

Відповідальність за зміст і достовірність даних несуть автори тез.



Професор
ВИНОСЛАВСЬКИЙ
Василь Миколайович

Декан факультету
гірничої електромеханіки
та автоматики (ГЕМА)
1958-1988 гг

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ № 1. СТАЛИЙ РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ. СУЧАСНІ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ЕНЕРГІЄЮ

| | |
|---|----|
| Побудова системи моніторингу результатів впровадження заходів з підвищення ефективності використання електричної енергії. Кияниченко О.О..... | 11 |
| Використання водневих паливних комірок, як незалежних джерел електричної та теплової енергії. Володимирчук О.А..... | 18 |
| Підвищення енергетичної ефективності житлової будівлі міста Києва Панадій Є.С..... | 23 |
| Особливості застосування АСКОЕ в лібералізованому ринку електричної енергії України. Голодний О.С. | 28 |
| Елементи бенчмаркінгу при визначенні ефективного використання енергоресурсів об'єктів житлово-комунального господарства. Лях В.М. | 36 |
| Моделі агрегування локальних електроенергетичних систем. Коротенко І.В. | 42 |
| Аналіз розрахункових моделей та методів оцінки надійності розподільних електричних мереж. Михайлів Я.А. | 51 |
| Застосування ймовірнісно-статистичних методів для побудови балансів споживання електричної енергії на виробничих об'єктах. Максименко А.М. | 63 |
| Система комбінованого енергопостачання переробного підприємства з використанням паливних елементів та власного виробництва біогазу. Єфремов В.П. | 69 |
| Система прогнозування розвитку енергетичної інфраструктури ОСББ житлового будинку (впровадження системи ЛУЗОД) Сущенко О.Є. | 75 |
| Підвищення рівня енергоефективності енергозабезпечення об'єктів шляхом використання систем вентиляційних систем та систем кондиціонування. Сорокіна К. І. | 86 |
| Аналіз існуючих підходів до управління попитом в рамках довгострокових і короткострокових перспектив. Браташ А.А. | 94 |

| | |
|--|------------|
| Дослідження роботи підприємства за допомогою АСКОЕ. Осіпов А.В. | 102 |
| Комплексний енергомоніторинг житлової будівлі м. Києва. Стрельчук Р.О. | 112 |
| Комплексний аналіз організаційно-технічних заходів енергоефективності житлово-комунального сектору. Євдошенко К.О. | 117 |
| Впровадження системи енергетичного менеджменту на основі стандарту ISO 50001:2018. Мірошниченко В. О. | 124 |
| Приєднання установок відновлюваної енергетики до мереж оператора системи розподілу з урахуванням надійності енергозабезпечення споживачів. Кавун І. М. | 131 |
| Підвищення рівня енергоефективності житлового будинку з побудовою системи енергоменеджменту. Кравченко В. Є. | 137 |
| Дослідження можливості впровадження типових заходів з енергозбереження для закладів освіти. Березняк А. А. | 142 |
| Аналіз енергоефективності застосування газових когенераційних установок. Дубограй М.О. | 145 |
| Аналіз роботи різних типів генераторів у автономній системі електропостачання з використанням ВЕУ. Кузнєцов К. А. | 151 |
| Застосування методів короткострокового прогнозування для верифікації графіків електричних навантажень в розподільних мережах району міста. Белосветов Т.В. | 158 |
| Аналіз способів захисту від дугового короткого замикання в розподільчих пристроях корпусної конструкції. Цап Д.М. | 164 |
| Вплив джерел розосередженої генерації на роботу комутаційно-захисного обладнання. Подольняць А. В. | 169 |
| Заходи з підвищення енергоефективності інженерних систем будівлі м. Києва. Тарануха В. В. | 174 |
| Оптимізація режимів електроспоживання сільськогосподарських господарств в умовах використання відновлювальних джерел енергії. Третяк В.А. | 182 |

| | |
|---|------------|
| Особливості техніко-економічного аналізу систем на основі нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії. | |
| Загорський О. М. | 186 |
| Особливості оцінювання надійності у локальних системах з установками відновлюваної енергетики | |
| Панасенко В. С. | 191 |
| Оцінка ефективності функціонування Smart Light систем в умовах ринку електричної енергії. | |
| Бондарчук Б.А. | 196 |
| Оцінка ефективності функціонування енергосервісних контрактів з використанням базових рівнів енергоспоживання. | |
| Слоневський М. А. | 202 |
| Аналіз впливу режимів роботи джерел розосередженої генерації на втрати потужності в розподільних електричних мережах. | |
| Шевцов А. Ю. | 209 |
| Побудова системи енергоменеджменту з метою підвищення енергоефективності промислового об'єкта на основі стандарту ISO 50001. | |
| Шевчук В.В. | 215 |
| Керування силовими перетворювачами малих генерувальних установок у складі мікромережі. | |
| Беліков В.М..... | 219 |
| Алгоритм розрахунку оптимальної ємності накопичувача для комплексу “відновлюване джерело-акумулятор”. | |
| Пустовий А.М. | 225 |
| Інтегральна оцінка якості електричної енергії в системах електропостачання з відновлювальними технологіями. | |
| Масло О. С. | 233 |
| Підвищення надійності функціонування протиаварійної автоматики в регіоні зі значною часткою альтернативних джерел енергії. | |
| Зайченко А.В. | 239 |
| Основні технічні рішення реалізації системи комерційного обліку електроенергії сонячної електростанції. | |
| Колесник С.Р. | 243 |
| Can reasonable modernization of the energy sector become a flywheel of the whole state economy? | |
| Корчыков Oleksandr | 248 |

СЕКЦІЯ № 2. INTERSECTIONAL PANEL (IN ENGLISH).

Development of a system for diagnosing an autonomous power source based on a single-cylinder internal combustion engine of the central concentration factory «Chervonograd».

Aymen Adjebi.....253

Substantiations of parameters of ground anchors for controlling the deep excavation stability of the retaining wall.

Banna Halbast258

Improving energy efficiency of drilling in conditions of granite quarry.

Benjamin Emeh-Laz Chimnonso263

Analysis of electricity losses in transmission and distribution grids in Senegal.

DANGO Ibrahima268

Optimal development of energy generation in Ukraine.

Richard Sharadze272

СЕКЦІЯ № 3. МЕХАТРОНІКА ЕНЕРГОСМНИХ ВИРОБНИЦТВ.

Визначення раціональних параметрів функціонування трансформаторно-асинхронної системи приводу зануреного відцентрового насосу.

Васькевич О.П.277

Засоби оптимального проектування електромеханічних систем.

Поліщук В.О.279

Гідроакumuлююча електростанція на базі шахти.

Шевчук А.Р.281

СЕКЦІЯ №4. ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

Порівняння технологій згоряння та термічної обробки твердих побутових відходів.

Попач М.В. 2844

Ієрархічний підхід у поводженні з відходами як альтернативного палива для цементної промисловості.

Єлецька І.В. 2933

Підвищення ефективності роботи біогазових установок при використанні пташиного посліду.

Столбова К.С. 297

Обґрунтування доцільності утилізації надлишкового мулу шляхом спалювання на станціях аерації.

Житинська І.Г. 300

Зменшення екологічного навантаження від технологічних процесів видобутку блочного каменю.

Головчук Л.А. 304

| | |
|--|-------|
| Обґрунтування доцільності застосування гідроциклонів для очистки стічних вод на металургійних підприємствах. | |
| Скрипник Т.А. | 30707 |
| Підвищення рівня захисту людини від впливу електромагнітного випромінювання мобільних телефонів. | |
| Іванова В.О. | 3111 |
| Залежність міцності паперової плити на основі волокнистого скопу від її основних складових. | |
| Косач О.А. | 31717 |
| Вдосконалення системи водовикористання та водовідведення. | |
| Гриценко О.В. | 3222 |
| Аналіз заходів з охорони водойм від забруднення, засмічення і виснаження. | |
| Зіневич В.С. | 32828 |
| СЕКЦІЯ №5. ІНЖИНІРІНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ | |
| Нелінійне управління електроприводом ліфтової установки з урахуванням люфту редуктора. | |
| Андрусік А.В. | 333 |
| Аналіз енергетичних показників частотно-регульованого синхронного та асинхронного двигунів | |
| Балушок М.Ю. | 339 |
| Підвищення енергетичних характеристик вентиляційних установок цивільного призначення | |
| Камуз Д.Є. | 346 |
| Разработка бездатчиковой системы управления электроприводом лифта. | |
| Комарницкий В. А. | 352 |
| Визначення енергоефективності насосної установки. | |
| Костенюк Я.С. | 357 |
| Розробка системи моніторингу та контролю параметрів енергоефективності теплопостачання цивільних споруд. | |
| Левкович А.П. | 361 |
| Методика підвищення енергоефективності багатодвигунових частотно-регульованих електроприводів магістральних стрічкових конвеєрів. | |
| Місюк Б.В. | 366 |
| Розробка системи прогнозування виробітку електричної енергії та керування роботою вітроенергетичної установки. | |
| Паламарчук О.П. | 373 |
| Підвищення надійності стрічки в стрічкових конвеєрах. | |
| Поволоцький П. Б. | 376 |

| | |
|---|-----|
| Автоматизована система керування очищенням стічних вод промислового підприємства. Почепня Г.К. | 379 |
| Підвищення енергоефективності роботи вентиляційної установки шляхом використання регульованого асинхронного електроприводу з тиристорним регулятором напруги. Скворцов С.В. | 385 |
| Оптимальне керування регульованим електроприводом змінного струму електронавантажувача. Слива В.Ю. | 391 |
| Системи керування клімат-контролем об'єктів загального призначення на базі програмованого логічного контролера. Степанов В.Д. | 400 |
| Аналіз систем управління електроприводом з напівпровідниковими перетворювачами. Терьохін О.О. | 407 |
| Система автоматичного управління з використанням fuzzy-регулятора для електроприводу змінного струму на базі асинхронного двигуна для рельсового транспорту. Тімченко О.Б. | 414 |
| Ефективність роботи асинхронного двигуна при використанні під нейронегулятора в умовах впливу дефектів та пошкоджень. Шумилянко В.В. | 420 |
| Захист асинхронних двигунів при підвищених рівнях вібрації. Майстренко Л.Ю. | 427 |
| Основні аспекти ефективності використання вітроенергетичних установок. Повар Я.Ю. | 432 |
| Тяговий електропривод шахтного електровозу з системою автоматичного керування. Курчій В.В. | 439 |
| Можливості створення та перспективи розвитку інтелектуальної системи обліку електроенергії в Україні. Гриценко М.В. | 445 |
| СЕКЦІЯ № 6. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА ІНЖИНІРИНГ. | |
| Вплив термомодернізації будівлі на рівень теплового комфорту будівлі на прикладі школи. Бессальнова О.Р. | 451 |
| Дослідження повітряного комфорту в класі СЗШ під час учбового процесу. Більда І.М. | 457 |
| Підвищення рівня енергоефективності середньозагальноосвітньої школи № 46 за рахунок встановлення теплового насосу для опалення. Бородін А.А. | 463 |

| | |
|--|------------|
| Аналіз політики підприємств-постачальників комунальних послуг. Бубнов В.В. | 470 |
| Аналіз використання сонячних колекторів для гарячого водопостачання школи. Ганжа Д.Г. | 477 |
| Аналіз використання фотоелектричної системи для енергозабезпечення школи. Гловацький Д.В. | 481 |
| Підвищення рівня енергетичної ефективності школи у Солом'янському районі м. Києва за рахунок комплексної термомодернізації. Ергард П.А. | 488 |
| Аналіз використання різних видів палива в системі тепlopостачання школи. Лівіщенко А.А. | 493 |
| Методи та засоби управління енергоспоживанням у багатоповерховій житловій будівлі. Мельнікова К.І. | 498 |
| Порівняльний аналіз підходів до класифікації енергетичної ефективності будівель. Микита Є.О. | 504 |
| Підвищення енергоефективності закладів дошкільної освіти на прикладі навчального закладу «Ягідка» міста Баштанка Миколаївської області. Музичук О.Б. | 509 |
| Удосконалення індивідуального теплового пункту на прикладі ЖБК «Медик-2» у місті Києві. Поліщук А.Р. | 515 |
| Підвищення рівня енергоефективності з використанням сонячних колекторів у гімназії новітніх біотехнологій №177. Порядіна Д.С. | 519 |
| Підвищення рівня енергоефективності дошкільного навчального закладу із забезпечення гарячого водопостачання і теплової енергії з альтернативного джерела енергії. Сапунов А.О. | 525 |
| Підвищення рівня енергоефективності дошкільного навчального закладу № 712 з використанням сонячних колекторів Федорусь Г.О. | 532 |
| Аналіз використання дериваційних міні-ГЕС для енергозабезпечення рекреаційної зони. Фіцай М.М. | 538 |
| Дослідження повітряного комфорту в учбових класах спеціалізованої школи «Грааль». Хрептун Д.Е. | 545 |

УДК 621.311.003.13

Кияниченко О.О., магістрант

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

ПОБУДОВА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ РЕЗУЛЬТАТІВ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

На основі існуючих методів оперативного контролю ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів запропоновано методологічні основи побудови системи моніторингу результатів впровадження заходів з підвищення ефективності використання електричної енергії.

Based on the existing methods of operational control of the fuel and energy resources use efficiency, the methodological foundations of building a system for monitoring the measures implementation results to improve the efficiency of electricity use are proposed.

Вступ. Виробничо-господарські підприємства є доволі значними споживачами паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР). Оскільки плата за енергоспоживання становить частину собівартості будь-якої продукції, що виробляється на таких підприємствах, то виникає питання необхідності підвищення енергетичної ефективності використання ПЕР. Однак запровадження будь-яких заходів є недоцільним без оперативного контролю їх ефективності. Такий контроль дозволяє аналізувати дані по споживанню електричної енергії, опрацьовувати їх і одразу, на основі отриманих результатів, робити певні висновки про підвищення або зниження рівня енергоефективності на підприємстві.

На сьогоднішній день для контролю ефективності використання електричної енергії на виробничо-господарських об'єктах використовують так звані системи контролю і планування (КіП). Хоча побудова таких систем КіП приваблює своєю простотою та незначними затратами часу, однак методики створення таких систем мають ряд недоліків, що не дозволяють використовувати їх для отримання достатньо об'єктивної кількісної оцінки споживання електричної енергії на об'єкті [1].

Мета роботи. Метою даної роботи є визначення методологічних основ побудови системи моніторингу результатів впровадження заходів з підвищення ефективності використання електричної енергії на виробничо-господарських об'єктах (далі – Системи).

Методики, матеріали і результати досліджень. Досліджена система КіП має ряд недоліків. Однак, використовуючи її позитивні якості, можливо побудувати систему оперативного контролю ефективності використання ПЕР на виробничо-господарському об'єкті.

Загалом алгоритм побудови Системи можна розділити на дві частини, першою з яких є побудова математичної моделі та базових ліній енергоспоживання.

Побудова математичної моделі та базових ліній споживання електроенергії. Перш за все для впровадження моніторингу енергоефективності слід отримати основну інформацію про об'єкт дослідження. До такої інформації належить: основна продукція, що виробляється; основне та допоміжне обладнання підприємства; кількість персоналу; сезонність роботи; графік роботи; дані з журналів обліку енергоспоживання та інших виробничих показників; основні етапи технологічних процесів.

Отримана інформація дозволить не лише зробити загальний висновок про специфіку роботи об'єкту, а й, врахувавши її на наступних етапах впровадження системи

контролю енергоефективності, спростити процес побудови такої системи. Адже на її основі можна буде зробити висновки про доцільність або недоцільність виконання певних розрахунків чи застосування конкретних методів.

На першому етапі побудови математичної моделі виникає завдання визначення складу факторів, що можуть впливати на обсяги споживання електроенергії. Для цього пропонується використати метод експертних оцінок. Для визначення факторів виробництва, що мають вплив на енергоспоживання, слід скористатись методом індивідуальних експертних оцінок – анкетуванням [3]. Для складання анкети потрібно визначити наступне: групу експертів, форму анкети, склад питань та шкалу оцінки для відповіді на питання.

До групи експертів обираються працівники виробничо-господарського об'єкту, на якому здійснюється побудова Системи. Для отримання адекватних результатів кількість експертів має бути від 4 до 7 чоловік [3]. Задачею проведення анкетування є визначення переліку факторів, що можуть впливати на споживання електричної енергії. Тому склад питань формуватиметься з усіх можливих факторів, які відповідають специфіці процесу виробництва обраного об'єкту (n факторів).

Для надання відповіді експерт повинен на спеціальній шкалі обрати для кожного фактору той ступінь впливу (від «слабкого» до «сильного»), з яким, на його думку, фактор виробництва (незалежна змінна) впливає на величину споживання електроенергії (залежну змінну).

Форма шкали для проведення оцінювання зображена на рисунку 1.

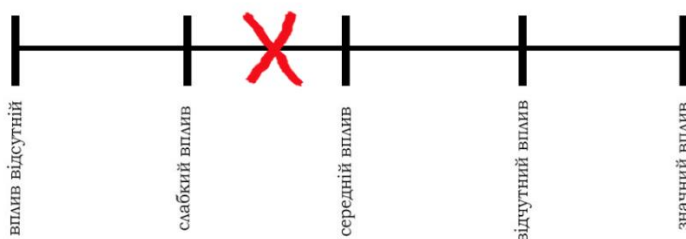


Рисунок 1 – Шкала для оцінки рівня впливу кожного з факторів

Кожен експерт, відповідно до рівня впливу конкретного фактору на споживання електричної енергії, повинен зробити позначку на поділці шкали (рисунок 1) або на інтервалі між поділками. Також у експертів є можливість особисто запропонувати фактори, що можуть мати вплив на енергоспоживання, однак не були зазначені при складанні анкети.

В результаті проведеного анкетування отримано результати оцінки впливу n запропонованих факторів на обсяги енергоспоживання, а також перелік додаткових k факторів, які слід врахувати при визначенні таких, що мають відчутний вплив на обсяги споживання електричної енергії.

Далі для обробки отриманих результатів слід перевести шкалу лінгвістичних оцінок в бальну шкалу. Для цього потрібно визначити на шкалі (рисунок 1) для кожного фактору відстань від початку відліку (позначка «вплив відсутній») до позначки, що була поставлена експертом. Потім провести ранжування факторів за величиною цих відстаней від найбільшої до найменшої й присвоїти факторам відповідні ранги від 1 (фактор з найменшим впливом) до $k+n$ (фактор з найбільшим впливом).

На основі отриманих результатів потрібно здійснити перевірку ступеню узгодженості думок експертів. Використаємо для цього коефіцієнт конкордації W [4].

Даний коефіцієнт характеризує ступінь узгодженості оцінок експертів. Значення $W = 1$ характеризує повну узгодженість думок експертів. Коефіцієнт конкордації визначається за формулою:

$$W = \frac{12 \cdot \sum_{i=1}^m d_i^2}{n^2 \cdot (m^3 - m) - n \cdot \sum_{j=1}^n T_j} \quad (1)$$

де m – кількість експертів; n – кількість факторів; d_j – відхилення суми рангів оцінок від середнього значення; T_j – кількість однакових рангів оцінок, даних одним експертом.

Для перевірки статистичної значимості коефіцієнта конкордації використаємо критерій Пірсона [8]. Якщо розраховане значення критерію Пірсона менше за табличне, проводимо додаткові ітерації розрахунку коефіцієнта конкордації виключаючи той фактор, думки експертів щодо якого мали найбільшу розбіжність. Якщо розраховане значення даного критерію є більшим за табличне, то коефіцієнт конкордації можна вважати статистично істотним.

Отже, на основі отриманих експертних оцінок, розміщуємо фактори відповідно значень сум рангів їх оцінок від найбільшого до найменшого. З отриманого переліку обираємо фактори, що знаходяться у верхній половині списку та вважаємо їх такими, що можуть мати вплив на споживання електричної енергії.

Наступним етапом побудови математичної моделі енергоспоживання є збір фактичних показників споживання ПЕР та статистичних даних про фактори, що впливають на споживання електричної енергії. Такі дані можна отримати кількома шляхами. Для цього можна використати журнали обліку показників роботи виробництва. Також можлива самостійна реєстрація даних приладів, за допомогою яких здійснюється облік споживання електричної енергії та контролюються інші технологічні параметри виробництва. Якщо облік фактичних значень певних факторів відсутній, то потрібно самостійно встановити прилади обліку та провести фіксацію значень потрібних технологічних параметрів виробництва за певний період часу.

На третьому етапі побудови Системи слід виконати обробку отриманих статистичних даних для визначення факторів, що мають найбільш відчутний вплив на споживання електричної енергії. Для цього слід перевірити тісноту зв'язку між споживанням електричної енергії та кожним фактором. Це дозволить визначити ті змінні, що мають найбільший вплив на використання ПЕР на об'єкті. Для цього скористаємось коефіцієнтом кореляції [5].

Коефіцієнт кореляції (r_{xy}) – показник, який використовують для вимірювання щільності зв'язку між результативними та факторними ознаками у кореляційно-регресійній моделі за лінійної залежності. Він розраховується за наступною формулою:

$$r_{xy} = \frac{cov_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (2)$$

де cov_{xy} – коваріація незалежної й залежної змінних; σ_x, σ_y – дисперсія незалежної й залежної величин відповідно.

В залежності від отриманого коефіцієнту кореляції (по модулю) тіснота зв'язку може змінюватись від 0 (зв'язок відсутній) до 1 (функціональна залежність). Також слід врахувати, що характер зв'язку між залежною та незалежною змінними може бути не лише лінійним, а й нелінійним. Тому для розрахунків коефіцієнтів кореляції слід врахувати такі форми зв'язку: пряма пропорція, обернена пропорція, квадратична, кубічна та логарифмічна залежності. В результаті розрахунків слід відібрати склад

факторів, що мають значення коефіцієнтів кореляції $r_{xy} \geq 0,4$. Такі фактори мають суттєвий вплив на споживання електроенергії та на їх основі можна будувати математичну модель.

Четвертим етапом є побудова математичної моделі споживання електричної енергії. Для цього використаємо рівняння багатофакторної регресії. Загальний вигляд рівняння багатофакторної регресії є наступним [6]:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + \dots + a_n \cdot x_n \quad (3)$$

де y – залежна змінна, функція; a_0, \dots, a_n – коефіцієнти регресії; x_1, \dots, x_n – незалежні змінні.

Для знаходження коефіцієнтів регресії використаємо фактичні значення споживання електричної енергії та факторів, що мають суттєвий вплив на це споживання. Для спрощення процесу побудови слід застосувати програмне забезпечення Microsoft Excel, а саме його надбудову пакету аналізу даних – «регресія». В результаті будуть отримані коефіцієнти рівняння регресії та p -значення цих коефіцієнтів (рівень значущості). Для остаточної побудови рівняння регресії слід виключити з цього рівняння ті фактори, p -значення яких є більшим за 10% (0,1). Після цього слід виконати повторну процедуру побудови рівняння багатофакторної регресії.

Отримане рівняння багатофакторної регресії потрібно перевірити на адекватність відносно фактичних даних енергоспоживання. Для цього існує велика кількість критеріїв, однак після проведення дослідження щодо доцільності використання кожного з них [2], використано 2 критерії. Цими критеріями є:

- ESS – сума квадратів залишків моделювання:

$$ESS = \sum_{k=1}^n (y_k - \hat{y}_k)^2 \quad (4)$$

де y_k – фактичні значення залежної змінної; \hat{y}_k – розрахункові значення залежної змінної;

- R^2 – коефіцієнт детермінації:

$$R^2 = 1 - \frac{ESS}{TSS} \quad (5)$$

де $TSS = \sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2$ – сума квадратів відхилення фактичних значень залежної змінної від її середньої величини.

Отже, якщо модель проходить перевірку на адекватність, то її можна використовувати для перевірки виконання цільових змінних споживання електричної енергії.

На п'ятому етапі слід побудувати базову лінію споживання електричної енергії на об'єкті. Оскільки побудована математична модель має залишкову похибку, то для побудови базових ліній використаємо довірчі інтервали.

Для лінійної багатофакторної регресії довірчі інтервали визначаються за наступним рівнянням:

де p – момент часу для якого встановлюються межі довірчого інтервалу; Y_p – обсяг споживання електричної енергії, розрахований за допомогою математичної моделі; $t_{\frac{\alpha}{2}, p}$ –

моделювання; X_p – матриця значень незалежних змінних (рядок значень); D – коваріаційно-дисперсійна матриця значень параметрів рівняння математичної моделі.; X_p^T – транспонована матриця X_p (стовпець значень).

Контроль ефективності використання електричної енергії на виробничо-господарському об'єкті. Для оперативного контролю ефективності використання ПЕР слід виконувати побудову довірчих інтервалів для кожного нового моменту часу споживання електричної енергії, встановлюючи тим самим відповідні цільові змінні енергоспоживання. Отримані результати слід порівняти з відповідним новим фактичним значенням споживання електричної енергії. Якщо цільові змінні енергоспоживання виконуються, то процес контролю енергоефективності продовжується для нових значень споживання електричної енергії. Якщо фактичні значення використання електроенергії виходять за межі довірчих інтервалів, то на об'єкті фіксується відхилення фактичних значень споживання електроенергії від базової лінії енергоспоживання (далі – Відхилення).

Наступним завданням є визначення характеру відхилення фактичних значень споживання ПЕР від базової лінії. Таке відхилення від цільових змінних може бути випадковим, а, отже, на нього не слід реагувати, чи не випадковим, що в свою чергу потребує визначення причин такого Відхилення. Для виявлення причин є доцільним контролювати кількість випадків відхилень фактичних показників енергоспоживання від визначених довірчих інтервалів. Таким методом контролю виконання цільових змінних є метод послідовного аналізу Вальда [7]. Для контролю кількості відхилень енергоспоживання розраховується і використовується коефіцієнт правдоподібності γ .

Для застосування цього методу слід встановити план контролю і перевіряти виконання даного коефіцієнту правдоподібності відносно розрахованих граничних значень. Процес побудови контрольної карти описаний у роботі [7]. Під час кожного циклу контролю відхилення фактичних значень енергоспоживання від цільових змінних може виникнути один з трьох випадків. В першому випадку, коли коефіцієнт правдоподібності не виходить за граничні значення, фіксується випадкове Відхилення і контроль енергоефективності продовжується. В двох інших випадках коефіцієнт, що використовується для контролю кількості Відхилень, виходить за граничні значення. Тоді фіксується не випадкове відхилення фактичних значень використання електричної енергії від цільових змінних енергоспоживання.

Оскільки Відхилення є не випадковим, слід визначити, чи було причиною його виникнення значне відхилення певної незалежної змінної, що входить до відповідного рівняння регресії від його середніх значень. Для цього застосовуємо контрольні карти Шухарта [9]. Такі карти є доволі простими й будуються для кожної незалежної змінної окремо в певний момент часу. Довірчі межі карти Шухарта визначаються за такою формулою:

$$\Delta Y_{\text{сер}} = \frac{A_t \cdot \sigma_{\Delta Y}}{c}$$

де $\Delta Y_{\text{сер}}$ – середнє значення величини, що контролюється; $\sigma_{\Delta Y}$ – стандартне відхилення цієї величини; A_t – табличне значення, яке залежить від кількості точок в навчальній вибірці.

В результаті можливі дві ситуації. Якщо одне або декілька фактичних значень факторів вийшли за визначені межі, то фіксується зміна обсягу електроспоживання внаслідок відхилень фактичних значень параметрів виробництва. Якщо фактичні значення факторів знаходяться в межах контрольної карти, то фіксується відповідно перевитрата або економія електричної енергії. На Рисунку 2 зображено загальний алгоритм побудови та функціонування системи контролю ефективності використання

ПЕР.

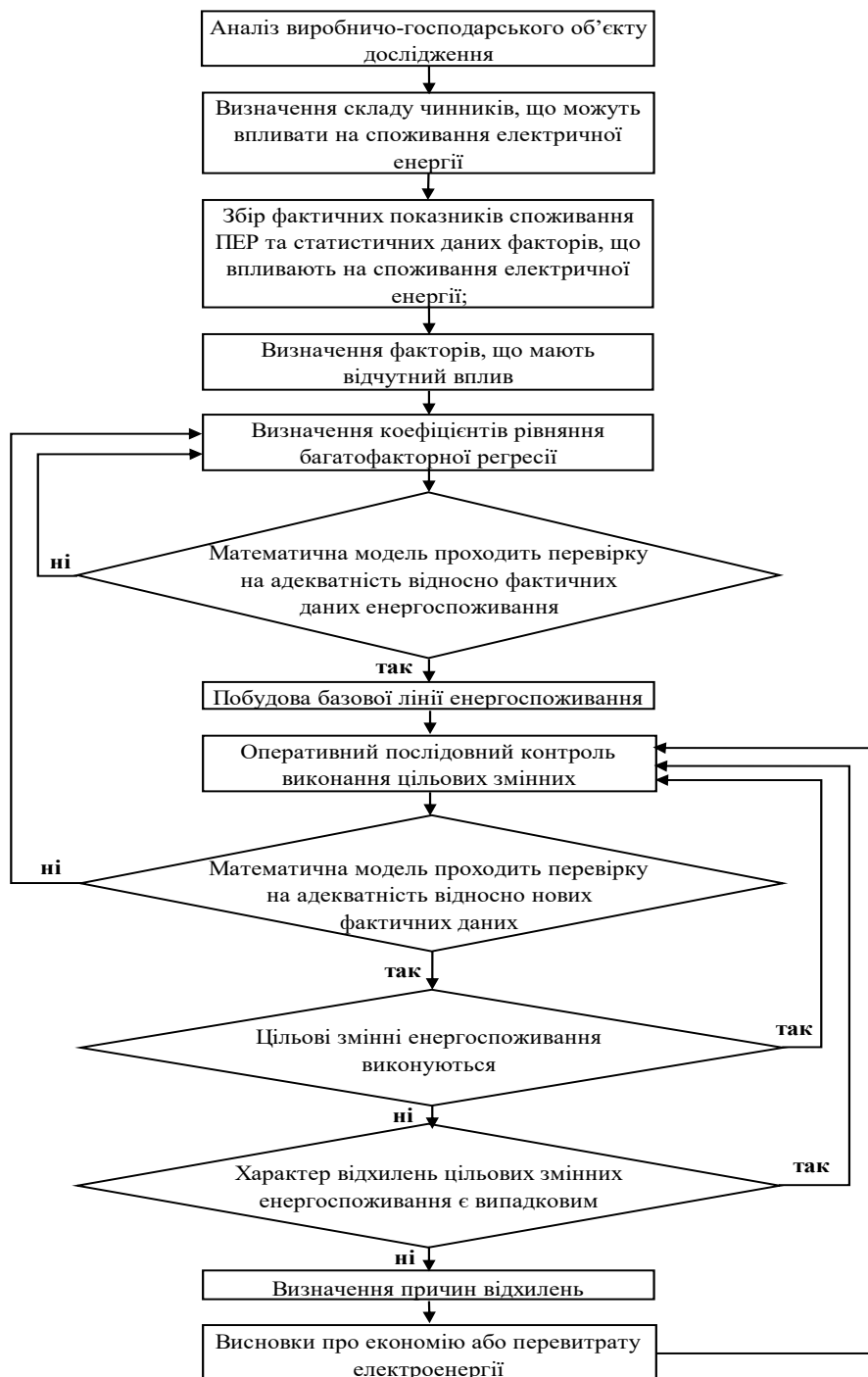


Рисунок 2 – Загальний алгоритм побудови та функціонування системи контролю ефективності використання ПЕР

Висновки. На основі систем КІП в даній роботі були запропоновані методичні основи побудови системи моніторингу результатів впровадження заходів з підвищення енергетичної ефективності. Чітко визначений алгоритм застосування даних методичних основ дозволяє створювати Системи, що здатні виконувати оперативний контроль ефективності використання електричної енергії. При цьому з'являється можливість

фіксувати невідповідності відхилення фактичного споживання ПЕР від цільових змінних і визначати причину таких відхилень.

Список використаних джерел

1. Находов, В. Ф. Управління режимами споживання та ефективністю використання електричної енергії в енергетичних системах : дис. д-ра техн. наук : 05.14.01 – енергетичні системи та комплекси / Находов Володимир Федорович. – Київ, 2018. – 432 с.
2. Іванько, Д. О. Оперативний контроль енергоефективності виробничих систем на основі ймовірнісно-статистичного підходу : дис. канд. техн. наук. : 05.14.01 – енергетичні системи та комплекси / Іванько Дмитро Олегович. – Київ, 2017. – 246 л.
3. Грабовецький, Б. Є. Методи експертних оцінок: теорія, методологія, напрямки використання : монографія / Б. Є. Грабовецький. — Вінниця : ВНТУ, 2010. — 171 с.
4. Сучасний інструментарій маркетингових передінвестиційних досліджень нового торговельного об'єкту [Електронний ресурс] / О. І. Яшкіна // Економічні інновації. - 2013. - Вип. 54. - С. 383-387. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecinn_2013_54_45.
5. Задачи оптимизации [Електронний ресурс] - Режим доступу : <http://uchimatchast.ru/teory/stat/korrell.php>.
6. Надь, Н. М. Застосування багатофакторного регресійного аналізу у моделюванні економічних процесів / Н. М. Надь // Науковий вісник Ужгородського університету : Серія: Економіка / редкол.: В.П. Мікловда (голов. ред.), М.І. Пітюлич, Н.М. Надь та ін. – Ужгород: Видавництво УжНУ «Говерла», 2010. – Вип. 30. – С. 63–66.
7. Находов В. Ф. Процес контролю виконання встановлених «стандартів» в системах оперативного контролю ефективності енерговикористання / В. Ф. Находов, О. В. Бориченко // Вісник НТУУ «КПІ». Гірництво : збірник наукових праць. – 2014. – Вип. 24. – С. 111–119.
8. Оцінка ступеня узгодженості думок експертів [Електронний ресурс] - Режим доступу : <https://buklib.net/books/32686/>.
9. ДСТУ ISO 7870-2:2016 Статистичний контроль. Карти контрольні. Карти Шухарта (ISO 7870-2:2013, IDT) – [Чинний від 01.09.2016]. – К. : Держстандарт України, 2016.– (Державний стандарт України).

Володимирчук О.А
Кафедра електропостачання

ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЕВИХ ПАЛИВНИХ КОМІРОК, ЯК НЕЗАЛЕЖНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

В статті розглянуті основні відомості про водневі паливні комірки, типи комірок та приведений основний алгоритм розрахунку параметрів водневих паливних комірок для застосування їх в системах електропостачання.

Ключові слова: водень, паливні комірки, електролізна установка.

The article discusses the basic information about hydrogen fuel cells, such as cells, and provides the basic algorithm for calculating the parameters of hydrogen fuel cells for use in power supply systems.

Key words: hydrogen, fuel cells, electrolysis installation.

Вступ

В XXI столітті багато спеціалістів в галузі енергетики розглядають можливість використання паливних елементів у якості альтернативного рішення для забезпечення ефективного виробництва електроенергії та тепла із ряду первинних джерел енергії. Паливні елементи – це електрохімічні пристрої, які використовують водень, або пальне, багате H_2 , разом із киснем з повітря для вироблення електроенергії та тепла. Однак існує багато варіантів цього базового процесу в залежності від типу паливного елемента та палива, яке використовується. Ця технологія дуже цікава для багатьох різних застосувань, включаючи мікрогенератори, допоміжні генератори, стаціонарні генератори, переносні генератори для транспорту, військових проектів та автомобільного ринку.

Мета та завдання.

Описати основний принцип роботи та зробити порівняльний аналіз паливних комірок, сформувані основний алгоритм розрахунку водневих паливних комірок.

Матеріал і результати дослідження

Паливний елемент- це електрохімічний пристрій, який перетворює хімічну енергію палива та окиснювача безпосередньо в електричну енергію. Основна фізична структура однієї комірки складається із шару електроліту, що контактує з пористим анодом і катодом з обох боків.

В типовому паливному елементі газоподібне паливо безперервно подається на анод (негативний електрод), а окислювач (тобто кисень з повітря) подається до катодного (позитивного електрода) відсіку; електрохімічні реакції відбуваються на електродах з утворенням електричного струму (рисунок 1).

У випадку паливного елемента з кислотним електролітом електрохімічні реакції мають наступний вигляд:

- анодна реакція: $H_2 \rightarrow 2H + + 2e^-$
- катодна реакція: $1/2 O_2 + 2H + + 2e^- \rightarrow H_2O$
- загальна реакція: $H_2 + 1/2 O_2 \rightarrow H_2O + \text{тепло}$ (екзотермічна реакція, $\Delta H = -286 \text{ кДж моль}^{-1}$).

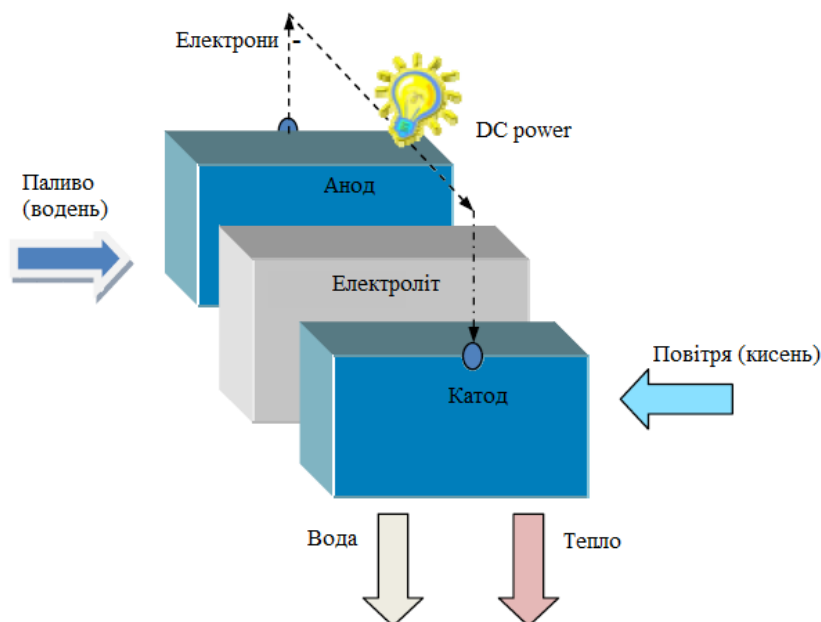


Рисунок 1 - Концепція паливних елементів[1]

Розглянемо переваги паливних елементів. Якщо порівнювати із звичайними електричними генераторами, які працюють використовуючи викопне паливо, то використання паливних елементів мають наступні переваги:

- низькі хімічні, акустичні і теплові викиди;
- модульність та гнучкість розміщення;
- відносно невеликі витрати на обслуговування;
- гнучкість палива (залежно від типу паливного елемента);
- під час роботи паливного елемента відсутнє виробництво забруднюючих речовин.

Основними технологіями, доступними на ринку, є наступні паливні елементи (таблиця 1):

- паливні комірки з полімерно-електролітними мембранами (ПЕМ);
- прямі метанолові паливні комірки (ПМПК);
- лужні паливні комірки (ЛПК);
- фосфатно-кислотні паливні комірки (ФКПК);
- паливні комірки з розплавленим карбонатом (ПКРК);
- твердооксидні паливні комірки (ТОПК).

Основний алгоритм розрахунку водневих паливних комірок полягає у наступному. Головним показником роботи паливної комірки є її електрична ефективність, яка характеризується виразом:

$$\eta_{eFC} = \mu_F \cdot \frac{U_{FC}}{E_r} \cdot 100\%,$$

де U_{FC} – напруга на вході паливної комірки;

E_r – напруга неробочого ходу паливної комірки;

$\mu_F = 0,95$ – коефіцієнт ефективності використання палива комірками даного типу;

Величина напруги неробочого ходу залежить від теплоенергетичних характеристик паливної комірки і коливається в діапазоні від 1,25 В до 1,48 В. Якщо $E_r = 1,25$ В, то тепла енергія з паливного елемента виділяється у вигляді пари. При

максимальному значенні напруги $E_r = 1,48$ В, під час роботи паливної комірки виділяється тепло у вигляді гарячої води. Такі паливні комірки називають низькотемпературними.

Таблиця 1 – Основні показники застосування паливних комірок[1]

| | ЛПК | ПКПЕМ | ПМПК | ФКПК | ПКРК | ТОПК |
|------------------------|--|---------------------|-----------------------|---|---|---------------------|
| Темп. роботи, °С | <100 | 60-120 | 60-120 | 160-220 | 600-800 | 800-1000 |
| Галузь застосування | Перевезення, космічні та військові програми, системи накопичення енергії | | | Комбіноване тепло та електропост. для централізованих стаціонарних енергосистем | Комбіноване тепло та електропост. для централізованих стаціонарних енергосистем. Транспортна галузь | |
| Реалізована потужність | Малі модульні установки 5-50 кВт | Установки 5-250 кВт | Малі установки <5 кВт | Малі та середні ЕС 50 кВт-11 МВт | Електростанції 100 кВт – 2 МВт | Малі ЕС 100-250 кВт |
| Життєвий цикл, год | >25000 | 2000 -3000 | 1000 | >5000 | 7000-8000 | 1000 |

Також значення напруги неробочого ходу паливної комірки залежить від характеристик використовуваних реагентів (температури, тиску та концентрації) і її можна розрахувати за наступною формулою:

$$E_r = E_0 + \frac{RT}{2F} \ln \left[\frac{P_{H_2} \cdot P_{O_2}^{1/2}}{P_{H_2O}} \right],$$

де E_0 – напруга холостого ходу комірки при тиску 1 атм. та температурі 25°C;

P_{H_2} , P_{O_2} , P_{H_2O} – тиск водню, кисню та вихідного пару;

F – число Фарадея (96485 кл моль⁻¹);

T – температура роботи, в градусах по шкалі Кельвіна.

Враховуючі втрату напруги, яка виникає при роботі паливної комірки, то фактична напруга на вході комірки знаходиться наступним чином:

$$U_{FC} = E_r - \Delta U_a - \Delta U_r - \Delta U_c,$$

де ΔU_a – втрата напруги на електродах;

ΔU_r – втрата напруги, яка обумовлена опором контура;

ΔU_c – втрата напруги, яка залежить від концентрації і циркуляції кисню та водню.

В практичному застосуванні елементи паливних комірок потрібно з'єднувати послідовно утворюючи при цьому своєрідну «батарею», тому що окремий елемент комірки утворює малий потенціал на виході. Тоді напруга на виході паливної комірки дорівнює:

$$U_s = n_{FC} \cdot U_{FC},$$

де n_{FC} – кількість елементів, з яких набирають паливну комірку.

Щільність струму в паливному елементі можна знайти за наступною формулою:

$$J = \frac{I_{FC}}{S},$$

де I_{FC} – струм в комірці;
 S – площа мембрани.

Потужність паливної комірки знаходиться за наступним виразом:

$$P_{FC} = U_S \cdot I_{FC}$$

На рисунку 2 та 3 наведені залежності напруги та ККД паливної комірки від щільності струму:

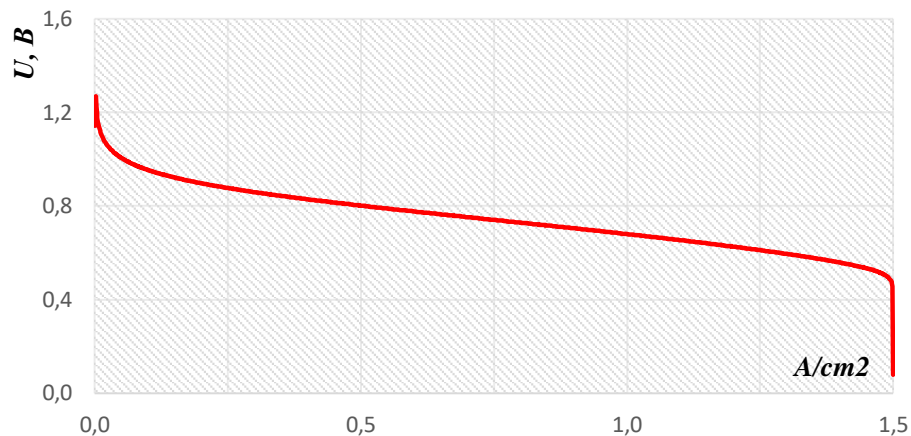


Рисунок 2 - Залежність напруги паливної комірки від щільності струму[2]

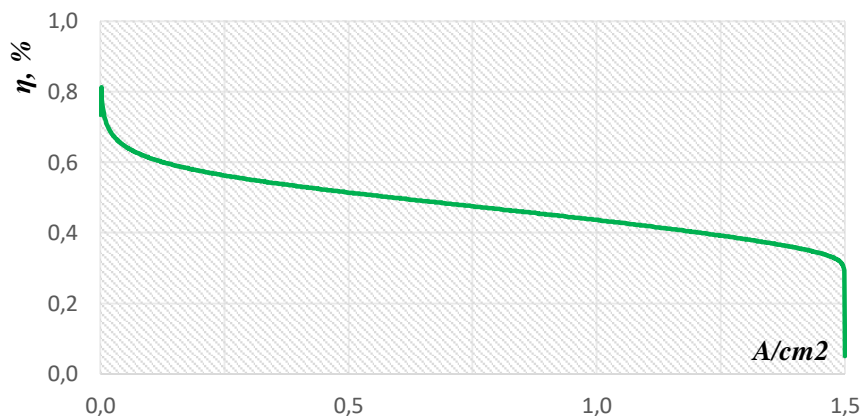


Рисунок 3 - Залежність коефіцієнта корисної дії паливної комірки від щільності струму[2]

Об'єм водню, який потрібен для вироблення електричної енергії розраховується за наступною формулою:

$$V_{H_2} = 0,45 \cdot \frac{P_{FC} \cdot t_{FC}}{U_{FC}},$$

де P_{FC} – потужність комірки, кВт;
 t – час роботи паливної комірки при потужності P_{FC} ;
 U_{FC} – вихідна напруга комірки.

Параметри електролізної установки вибирають вихдячи із потреб її продуктивності. В нашому випадку маємо наступне:

$$W_E = \frac{1,0135 \cdot P_{FC} \cdot t_{FC} \cdot U_E}{U_{FC} \cdot \eta_{FC}},$$

$$P_E = \frac{1,0135 \cdot P_{FC} \cdot t_{FC} \cdot U_E}{U_{FC} \cdot \eta_{FC} \cdot t_E}.$$

Спираючись на вище наведених залежності можливо зробити висновок, що при розрахунку системи, яка складається з електролізної установки та паливної комірки, необхідно враховувати наступні чинники: один Фарадей повинен виробляти один грам водню при щільності $0,084 \text{ кг/м}^3$. Тоді $96489 \text{ A} \cdot \text{S}$ буде виробляти $0,0119 \text{ Nm}^3\text{H}_2$, тому для вироблення $1 \text{ Nm}^3\text{H}_2$ за годину потрібно $2252,31 \text{ A}$.

Якщо робочу напругу установки прийняти рівною U_E , то потужність, яка потрібна для вироблення $1 \text{ Nm}^3\text{H}_2$ за годину буде рівною $2252,31 \cdot U_E$ при 100% ефективності роботи установки. Але при застосуванні паливних комірок на практиці необхідно враховувати втрати, які виникають при генерації електричної енергії коміркою U_{FC} та при виробленні водню електролізною установкою η_E .

Висновок

Використання водневих паливних комірок є дуже перспективним в системах електропостачання. Основною перевагою є швидкий холодний запуск системи, коли в пікові години не вистачає потужності в мережі. Але використання даної технології у великих масштабах, на рівні потужних МВт електростанціях є дуже дорогим задоволенням, тому найбільш доцільним є застосування паливних елементів, як джерел розосередженої генерації в мережах низьковольтної напруги. Також доцільно застосовувати водневі паливні комірки в паралельній роботі з електролізними установками. В нічний час, коли є провал в графіку електричної потужності, можна використовувати електролізні установки для вироблення водню. Основним позитивним показником такого процесу – це вирівнювання графіка електричної потужності, що позитивно відображається на енергосистемі України. А під час ранішнього та вечірнього піків, спалювати вироблений водень в паливній комірці, зменшуючи споживання електричної енергії з мережі і в свою чергу додатково згладжувати графік споживання електричної потужності.

Список використаної літератури.

1. Leonardo Giorgi, Fabio Leccese. Fuel Cells: Technologies and Applications;2014.
2. Harminie I., Aicks A., Fuel Cell Systems Explained, Chichester, England, John Wiley and Sons, 2000., Padvo C.E., Putshev V. Survey of the economics of Hydrogen Technologies; National Renewable Energy Laboratory, Technical Report, NREL/TP-570-1079, 1998, 175p., Silva E.P. Introducao a tecnologia e economia do hidrogenio. Campinas, Editara da UNICAMP, 1991.

УДК 621.311.003.13

Панадій Є.С.

кафедра електропостачання

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ
МІСТА КИЄВА****INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY OF A RESIDENTIAL BUILDING IN
KIEV**

***Анотація.** У даній статті наведено заходи для підвищення енергетичної ефективності житлової будівлі. Розраховано тепловтрати через огорожувальні конструкції та побудовано тепловий баланс. Визначено клас енергетичної ефективності споруди.*

***Ключові слова:** енергоефективність будинку, клас енергоефективності, енергоаудит, енергоспоживання.*

***Abstract.** This article describes how to improve the energy efficiency of an apartment building. The heat losses due to the enclosure structures were calculated and the heat balance was constructed. The energy efficiency class of the building has been determined.*

***Keywords:** home energy efficiency, energy efficiency class, energy audit, energy consumption.*

Вступ. У сучасному світі питання енергоефективності є актуальним як у радянських будівлях, так і в новобудовах. Адже при купівлі житла мешканцям важливо, щоб в осінньо-зимовий період клімат у приміщенні був комфортний. Недобросовісні забудовники порушують технології будівництва, бо розуміють, що штраф дешевше заплатити, аніж будувати енергоефективні споруди. Тому необхідно знати, які енергоефективні заходи можна застосувати для зменшення втрат теплоти та економії на оплаті енергоносіїв.

Для отримання результатів з енергетичних витрат необхідно виконати енергоаудит будинку. Першим кроком проводиться збір кліматичних параметрів, даних будинку, виконується розрахунок втрат енергетичних ресурсів. Енергоаудит закінчується запропонованим списком обґрунтованих заходів з підвищення рівня енергоефективності до сучасних вимог.

Мета та завдання. Завданням та метою дослідження є підвищення рівня енергетичної ефективності житлової будівлі під час обстеження стану споруди, визначення показників огорожувальних конструкцій та інженерних систем, а також визначення класу енергоефективності та складання енергетичного паспорту житлової будівлі.

Матеріал і результати досліджень. Об'єктом дослідження є два житлових будинки за адресою місто Київ вулиця Гарматна 37-А та Західна 10. Житловий комплекс введений в експлуатацію в 2016 році. Загальна кількість квартир – 320.

Огляд об'єкту виконувався згідно з наступною програмою:

1. Проведення інтерв'ю з головою правління ОСББ та головним інженером.
2. Проходження відповідного інструктажу з техніки безпеки.
3. Огляд модульної дахової котельні, індивідуального теплового пункту (ІТП), насосної станції, електрощитової.
4. Ознайомлення з технічним паспортом будівлі.
5. Збір даних по споживанню енергетичних ресурсів та складу огорожувальних конструкцій.
6. Обговорення результатів огляду житлової будівлі з головним інженером.

7. Визначення напрямків роботи заходів з підвищення енергоефективності та проектів.

Після визначення втрат теплоти через огорожувальні конструкції (Таблиця 1), було побудовано зведену діаграму тепловтрат (Рисунок 1), з якої видно, що найбільша кількість теплоти втрачається через вікна (34%), зовнішні стіни (31%) та підлогу (20%).

Таблиця 1 - Тепловтрати через огорожувальні конструкції

| Найменування | Нормативний термічний опір, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$ | Приведений термічний опір, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$ | Площа, м^2 | Тепловтрати, кВт | Частка тепловтрат, % |
|---------------------|---|--|---------------------|------------------|----------------------|
| Стіна зовнішня | 3,3 | 3,175 | 12388 | 163,87 | 30,77 |
| Вікна зовнішні | 0,75 | 0,62 | 2676 | 181,28 | 34,04 |
| Двері зовнішні | 0,6 | 0,35/0,158 | 36/248 | 4,32/65,92 | 13,19 |
| Підлога | 3,75 | 0,56 | 1418,4 | 106,38 | 19,97 |
| Дах | 4,95 | 4,612 | 1190 | 10,84 | 2,03 |
| Сумарні тепловтрати | | | | 532,61 | 100 |

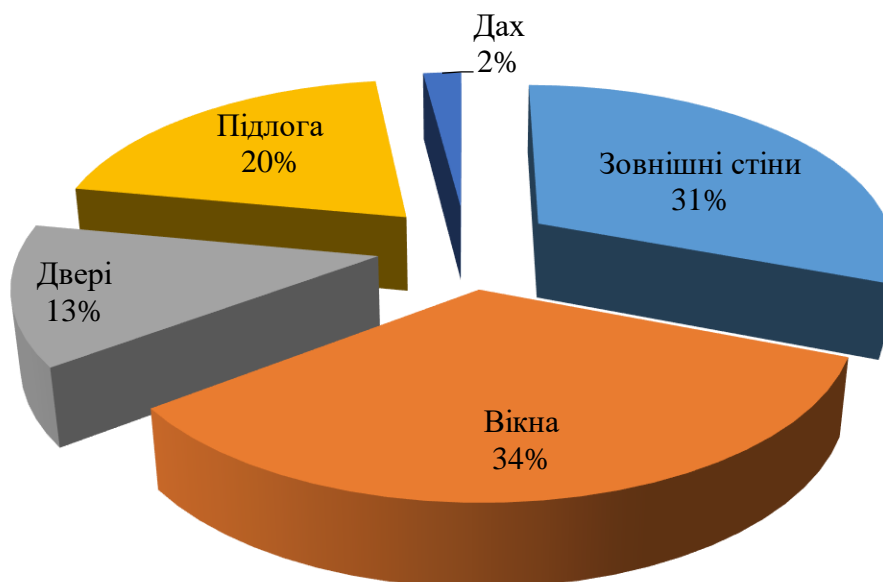


Рисунок 1 - Зведена діаграма тепловтрат об'єкту

З наведених розрахунків можна припустити, що технологію по монтажу віконних конструкцій та утепленню зовнішніх стін було порушено. Тому для даного випадку

коректно було виконати комплексну термосанацію житлової будівлі. Розглянемо варіант впровадження окремих заходів з енергетичної ефективності (Таблиця 2).

Таблиця 2 – Запропоновані заходи для економії паливно-енергетичних ресурсів

| № п/п | Назва заходу | Інвестиції, грн. | Простий термін окупності, років | Економія, грн./рік |
|-------|---|------------------|---------------------------------|--------------------|
| 1 | Заміна віконних конструкцій | 4 014 000 | 35 років | 112 460,3 |
| 2 | Утеплення зовнішніх стін | 4 206 700 | 28 років | 148 685,8 |
| 3 | Утеплення підлоги | 670 000 | 3 роки | 223 289,8 |
| 4 | Заміна металевих дверей на металопластикові | 340 000 | 2 роки 9 місяців | 125 158,2 |
| 5 | Модернізація системи освітлення | 22 000 | 1 рік 2 місяці | 19 279 |

Для визначення класу енергетичної ефективності, оцінки ефекту від заходів з підвищення енергоефективності та моніторингу енергетичної ефективності будівлі було використано стандарт ДСТУ Б А.2.2-12:2015.

Згідно з методикою розрахунку для оцінки річного енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та ГВП необхідні основні вхідні дані [3]:

- характеристики теплопередачі трансмісією та вентиляцією;
- характеристики теплонадходжень від внутрішніх джерел теплоти та від сонця;
- кліматичні дані;
- опис будівлі та її компонентів, систем та використання;
- вимоги комфорту: значення заданих температур, вологості та кратності повітрообміну;
- дані, що відносяться до систем опалення, охолодження, ГВП, вентиляції та освітлення, тощо.

Вихідними даними розрахунку є [3]:

- річні енергопотребы для опалення та охолодження;
- річне енергоспоживання при опаленні та охолодженні;
- річна енергопотреба ГВП;
- річне енергоспоживання ГВП;
- тривалість опалювального періоду та періоду охолодження, що впливає на енергоспоживання та додаткову енергію для сезонозалежних інженерних систем опалення, охолодження та вентиляції будівлі;
- енергоспоживання системою освітлення;
- енергоспоживання при інших послугах.

У Таблиці 3 показано різницю розрахунків класу енергоефективності за Державною будівельною нормою «Теплова ізоляція будівель» та за Методикою визначення енергетичної ефективності будівель.

Клас енергетичної ефективності житлового будинку за питомою енергопотребою розраховано за методикою [1].

Фактична питома річна енергопотреба визначається за формулою:

$$EP = (Q_{H,nd} + Q_{C,nd} + Q_{DHW,nd})/A_f \quad (2)$$

Визначимо показник енергоефективності за формулою (2):

$$EP = (1171773 + 0 + 778108)/38905,4 = 50,1 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2.$$

Для визначення класу енергетичної ефективності скористаємося формулою:

$$[(EP - EP_{max})/EP_{max}] \cdot 100\% = [(50,1 - 70)/70] \cdot 100\% = -28,4\%.$$

Відповідно до таблиці 2 [1], клас енергоефективності становить В.

Таблиця 3 – Порівняльна характеристика нормативних документів для визначення класу енергетичної ефективності

| ДБН В.2.6-31:2016 | Методика визначення енергетичної ефективності будівель |
|---|--|
| Показник енергоефективності будівель EP визначається за: | |
| <p>енергопотребою:</p> $EP = (Q_{H,nd} + Q_{C,nd} + Q_{DHW,nd})/A_f,$ <p>де $Q_{H,nd}$, $Q_{C,nd}$, $Q_{DHW,nd}$ – річна енергопотреба будівлі для опалення, охолодження та гарячого водопостачання, кВт·год; A_f – опалювальна площа будівлі, м².</p> | <p>енергоспоживанням:</p> $EP = EP_{H,use} + EP_{C,use} + EP_{DHW,use},$ <p>де $EP_{H,use}$ – питоме енергоспоживання при опаленні; $EP_{C,use}$ – питоме енергоспоживання при охолодженні; $EP_{DHW,use}$ – питоме енергоспоживання при ГВП.</p> |
| Опалення | |
| <p>Враховується:</p> <ul style="list-style-type: none"> - сумарна теплопередача в режимі опалення; - сумарні теплонадходження в режимі опалення; - коефіцієнт використання надходжень. | <p>Враховується:</p> <ul style="list-style-type: none"> - тепловтрати системи (утилізаційні та утилізовані); - додаткова енергія; - утилізована додаткова енергія. |
| Охолодження | |
| <p>Враховується:</p> <ul style="list-style-type: none"> - сумарна теплопередача в режимі охолодження; - сумарні теплонадходження в режимі охолодження; - коефіцієнт використання втрат. | <p>Враховується:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Для підсистеми тепловіддачі:</u> <ul style="list-style-type: none"> - тепловтрати для підсистеми; - додаткова енергія для підсистеми; - енергія входу для підсистеми. 2. <u>Для підсистеми розподілення:</u> <ul style="list-style-type: none"> - тепловтрати в підсистемах; - додаткова енергія для підсистеми; - енергія входу для підсистеми. 3. <u>Підсистема виробництва/генерування:</u> <ul style="list-style-type: none"> - тепловтрати підсистеми; - енергія виходу з підсистеми; - ефективність підсистеми. |
| ГВП | |
| <p>Враховується:</p> <ul style="list-style-type: none"> - питомі енергопотреби ГВП на 1 м² кондиціонованого об'єму. | <p>Враховуються:</p> <ul style="list-style-type: none"> - енергопотреби ГВП; - річні тепловтрати підсистеми розподілення ГВП; - річні тепловтрати циркуляційного контуру ГВП; |

| | |
|--------------------------------|---|
| | - тепловтрати використаної води ГВП при водорозборі та ефективність підсистеми виробництва/генерування та акумулювання теплоти. |
| Клас енергетичної ефективності | |
| В | С |

Клас енергетичної ефективності будинку за питомим енергоспоживанням визначено за методикою [4].

Питоме енергоспоживання знаходиться за формулою (3):

$$EP = EP_{H,use} + EP_{C,use} + EP_{DHW,use}. \quad (3)$$

Питоме енергоспоживання при опаленні для житлового будинку:

$$EP_{H,use} = \frac{Q_{H,use}}{A_f} = \frac{1745809}{38905,4} = 44,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2.$$

Система охолодження відсутня, тому питоме енергоспоживання при охолодженні $EP_{C,use} = 0 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$.

Питоме енергоспоживання при постачанні гарячої води:

$$EP_{DHW,use} = \frac{Q_{DHW,use}}{A_f} = \frac{1638076}{38905,4} = 42,1 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2.$$

Визначимо клас енергетичної ефективності будівлі за формулою (3):

$$EP = 44,8 + 0 + 42,1 = 86,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2.$$

Клас енергетичної ефективності житлової будівлі згідно з додатком 11 [4] складає С.

Висновки.

На сьогодні питання термосанації будівель все більше розповсюджується, так як дозволяє значно знизити енергозатрати. Але перш ніж робити утеплення споруд, необхідно провести комплексний енергоаудит, в результаті якого визначається енергоефективність будівлі та розглядаються заходи щодо її підвищення. Комплекс заходів дасть можливість зменшити витрати на паливо-енергетичні ресурси в зимовий період для нагрівання та в літній – для охолодження.

Список використаних джерел.

1. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2017-05-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2017. – 37с.
2. Тарифи – НКРЕКП [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.nerc.gov.ua/>
3. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. [Чинний від 2016-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2015. – 145с.
4. Методика визначення енергетичної ефективності будівель [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://zntu.edu.ua/sites/default/files/konf/5.1-metodyka_vyznachennya_energetychnoyi_efektyvnosti_budivel_nakaz_minregionbud_u_no_169_vid_11.07.2018.pdf

УДК 621.311.153

Голодний О.С.,

кафедра електропостачання,

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту КПІ ім. Ігоря Сікорського

**ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ АСКОВЕ В ЛІБЕРАЛІЗОВАНОМУ
РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ**

Анотація: З 1 липня 2019 року в Україні запроваджено нову модель ринку електричної енергії відповідно до Закону України «Про ринок електричної енергії». Метою нового ринку є створення умов для забезпечення конкуренції на товарних ринках та ринках послуг шляхом створення можливостей для вільного вибору контрагентів та забезпечення права кожного споживача вільно обирати електропостачальника. Зміна моделі ринку передбачає, що і ціна буде формуватись за новими правилами як для юридичних, так і для побутових споживачів. Вартість електроенергії буде формуватися, виходячи з сегменту ринку, на якому відбулася купівля електричної енергії, а також обсягів її споживання у певні проміжки часу. Саме тому дуже важливим процесом в новому енерго ринку є облік електричної енергії та орієнтація споживача на впровадження інтелектуальних приладів обліку.

Ключові слова: Споживач, постачання, комерційний облік, графік споживання, лічильник, Smart Grid.

Annotation: The Law on the Electricity Market came into force in Ukraine. The aim of the new market is to create effective competition, free choice of contractors and ensure the right of the consumer to freely choose their electricity supplier. Changing the model of the market implies that the price will be formed according to the new rules for both legal and household consumers. The cost of electricity will be generated based on the platform of the market where the purchase of electricity took place, as well as its consumption at certain intervals. That is why a very important process in the new energy market is electricity metering and consumer orientation towards the installation of smart metering devices.

Key words: consumer, power supply, commercial metering, power consumption schedule, meter, smart grid.

Вступ. З 1 липня 2019 року в Україні запроваджено лібералізований ринок електричної енергії відповідно до Закону України «Про ринок електричної енергії». Лібералізований ринок передбачає запровадження нової моделі взаємовідносин між постачальниками та споживачами електроенергії. Запроваджуються біржі з продажу електроенергії: ринок на добу наперед, внутрішньодобовий ринок, а також балансуєчий ринок. Новий ринок електроенергії також передбачає відокремлення діяльності з розподілу від постачання електроенергії, що означає, що обленерго тепер не зможуть постачати, тобто продавати електроенергію споживачам. Основні умови діяльності учасників ринку електричної енергії та взаємовідносин між ними визначаються нормативно-правовими актами, що регулюють впровадження цього Закону, зокрема:

- 1) правилами ринку, які, в тому числі, визначають правила функціонування балансуєчого ринку та ринку допоміжних послуг;
- 2) правилами ринку "на добу наперед та внутрішньодобового ринку";
- 3) кодексом системи передачі, кодексом систем розподілу;
- 4) кодексом комерційного обліку електричної енергії;

- 5) правилами роздрібного ринку;
- 6) іншими нормативно-правовими актами.

Нова модель ринку електричної енергії може бути ефективною лише за умови всеосяжного обліку електричної енергії, що регламентується кодексом комерційного обліку.

В умовах лібералізації ринку електричної енергії автоматизовані системи контролю, обліку та управління енерговикористанням набувають чи не найважливішого значення в рамках вирішення завдань підвищення ефективності вироблення, передавання, розподілення використання електроенергії.

Мета і завдання статті. Особливості застосування автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) споживачів в умовах нового ринку електричної енергії. Процеси створення та застосування АСКОЕ, як один з головних напрямів розвитку електричної мережі в рамках концепції Smart Grid – Smart Metering.

Матеріал і результати досліджень.

АСКОЕ – вимірювальна інформаційна система, що складається з засобів вимірювальної техніки, а також з устаткування збору, обробки, збереження та відображення інформації, засобів зв'язку та синхронізації часу, функціонально об'єднаних для забезпечення комерційного обліку електричної енергії. Комерційний облік електроенергії на ринку електричної енергії України здійснюється відповідно до вимог Кодексу комерційного обліку електричної енергії (постанова НКРЕКП від 14.03.2018 №311).

Метою організації комерційного обліку електроенергії є надання учасникам ринку повної та достовірної інформації щодо обсягів виробленої, відпущеної, переданої, розподіленої, імпортованої та експортованої, а також спожитої електричної енергії у визначений проміжок часу з метою її подальшого використання для здійснення розрахунків між учасниками ринку. Комерційний облік на ринку електричної енергії організовується адміністратором комерційного обліку (АКО) та реалізується постачальниками послуг комерційного обліку (ППКО).

Надання послуг комерційного обліку здійснюються на конкурентних засадах за умови реєстрації ППКО та реєстрації його АСКОЕ у АКО.

До послуг комерційного обліку електроенергії належать:

- установа, налаштування, заміна, розвиток, введення та виведення з експлуатації, а також технічна підтримка та обслуговування засобів комерційного обліку, допоміжного обладнання та автоматизованих систем, що використовуються для комерційного обліку електричної енергії, їх програмного та апаратного забезпечення;
- збір, керування та адміністрування даних щодо комерційного обліку. [1]

Площадки вимірювання споживачів, що забезпечені прийнятою до розрахунків за електричну енергію схемою обліку електричної енергії (де вимірюється надходження електричної енергії на площадку) із встановленими та впровадженими в експлуатацію ЛУЗОД, АСКОЕ, автоматизованими системами збирання даних (АСЗД) або лічильниками диференційного (погодинного, зонного) обліку електричної енергії із гарантованим щодобовим зчитуванням показів, належать до групи «а» за умови забезпечення визначеним споживачем, Оператором АСКОЕ або ППКО щодобового зчитування, формування та передачі сформованих погодинних даних комерційного обліку до ОСР/НЕК.

У всіх точках на приєднаннях електроустановок споживачів (крім побутових споживачів) до мереж ОСР/НЕК та/чи до мереж основних споживачів, де вимірюється надходження електричної енергії на площадки вимірювання групи «а» з приєднаною потужністю електроустановок 150 кВт і більше, мають бути встановлені лічильники погодинного комерційного обліку електричної енергії та забезпечена можливість щодобового дистанційного зчитування показів лічильників, а з приєднаною потужністю електроустановок до 150 кВт – лічильники погодинного або багатозонного (багатотарифного) комерційного обліку електричної енергії із гарантованим щодобовим зчитуванням даних з лічильників. Якщо ця умова не виконана або споживач не визначив Оператора АСКОЕ або ППКО, то такі площадки вимірювання мають бути віднесені до групи «б». [2]

Залишковий графік – сформований ОСР/НЕК добовий погодинний графік, який використовується для розрахунку графіка споживання електричної енергії площадок вимірювання групи «б». Добовий погодинний графік для площадок вимірювань групи "б" споживачів розраховується ОСР/НЕК по кожному електропостачальнику на підставі залишкового графіка та частки електропостачальника, визначеної із застосуванням обсягів фактичного споживання електричної енергії за період поза минулого місяця відповідних площадок вимірювань споживачів групи "б" електропостачальника (з урахуванням зміни електропостачальника споживачем та/або зміни групи "а"/"б" станом на 25 число попереднього місяця). [3]

Створення та реалізація концепції Smart Grid та основної її складової – Smart Metering (системи інтелектуального обліку електроенергії) дозволяють успішно розв'язувати наступні завдання:

- підвищення надійності та якості електропостачання;
- підвищення енергетичної ефективності;
- збереження навколишнього середовища.

Smart Metering передбачає впровадження інтелектуальних приладів обліку у виробника й споживача, автоматизацію системи опитування, оброблення даних і надання інформації щодо виробництва, передавання, розподілу і споживання енергоресурсів. Облік електроенергії за допомогою «розумних лічильників» (АСКОЕ), дозволяє оптимізувати енергоспоживання, знижувати комерційні й технічні втрати енергії, зменшувати необхідність у нових енергетичних потужностях і, нарешті, надає кінцевому споживачеві можливість управляти своїм енергоспоживанням у режимі реального часу. [4]

28 грудня 2018 року Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг було прийнято постанову № 2118, що має регламентувати визначення розрахункових погодинних обсягів споживання електричної енергії споживачами для площадок вимірювань групи "а" та "б".

Застосування вище згаданої постанови на практиці має певні недоліки, зокрема, у формуванні кінцевої вартості електроенергії для споживача, що може бути обумовлено особливостями його роботи в пікові періоди часу.

Для відображення даної ситуації було взято для прикладу дані реального споживача та проведено розрахунок кінцевої вартості електроенергії для нього в тижневий період.

Дані що були отримані від споживача, що використовує Автоматизовану систему комерційного обліку та знаходиться в групі "а" в період з 03.07.19-09.07.19.

1)Маючи дані від облenergo можливо дізнатись Загальний добовий погодинний графік електропостачальника «обленерго» за місцем провадження господарської

діяльності ОСР/НЕК ($E_{p,i}^{\text{пост}}$) визначається згідно постанови НКРЕКП № 2118 за формулою:

$$E_{p,i}^{\text{пост}} = \sum a E_{p,a,i}^{\text{пост}} + \sum б E_{p,b,i}^{\text{пост}} = \quad (1)$$

де $\sum a E_{p,b,i}^{\text{пост}}$ – добовий погодинний графік споживання електричної енергії площадок вимірювання групи «а» всіх споживачів електропостачальника «обленерго», кВт·год;

$\sum б E_{p,b,i}^{\text{пост}}$ – добовий погодинний графік споживання електричної енергії площадок вимірювання групи «б» всіх споживачів електропостачальника «р», кВт·год.

Загальний електроспоживання споживача за період 03.06.2019 - 09.06.2019

$$\sum E_p^{\text{спож}} = 108\,666 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

2) Добовий погодинний графік споживання електричної енергії площадок вимірювання у відсотках за умови що споживач відноситься до групи «б». Приводимо приклад розрахунку для однієї доби 03.07.2019 (табл 1)

$$(\sum б E_{03.07.19,01:00}^{\text{пост}} / \sum E_{03.07.19}^{\text{пост}}) \cdot 100\% = (101311 / 3692669) \cdot 100\% = 2,744\%. \quad (2)$$

Таблиця 1 – Добовий погодинний графік споживання електричної енергії площадок вимірювання у відсотках за умови що споживач відноситься до групи «б».

| 03.06.2019 | | | | | |
|------------|--------|----------|--------|--------|--------------------|
| Години | Об'єм | Відсоток | Години | Об'єм | Відсоток |
| 1 | 101311 | 2,744% | 13 | 175583 | 4,755% |
| 2 | 86057 | 2,330% | 14 | 181674 | 4,920% |
| 3 | 80688 | 2,185% | 15 | 180470 | 4,887% |
| 4 | 76848 | 2,081% | 16 | 178904 | 4,845% |
| 5 | 75341 | 2,040% | 17 | 178337 | 4,829% |
| 6 | 83730 | 2,267% | 18 | 173102 | 4,688% |
| 7 | 127351 | 3,449% | 19 | 174221 | 4,718% |
| 8 | 157605 | 4,268% | 20 | 181060 | 4,903% |
| 9 | 180645 | 4,892% | 21 | 186399 | 5,048% |
| 10 | 189473 | 5,131% | 22 | 202227 | 5,476% |
| 11 | 187972 | 5,090% | 23 | 202902 | 5,495% |
| 12 | 187775 | 5,085% | 24 | 142994 | 3,872% |
| | | | | | $\Sigma = 3692669$ |

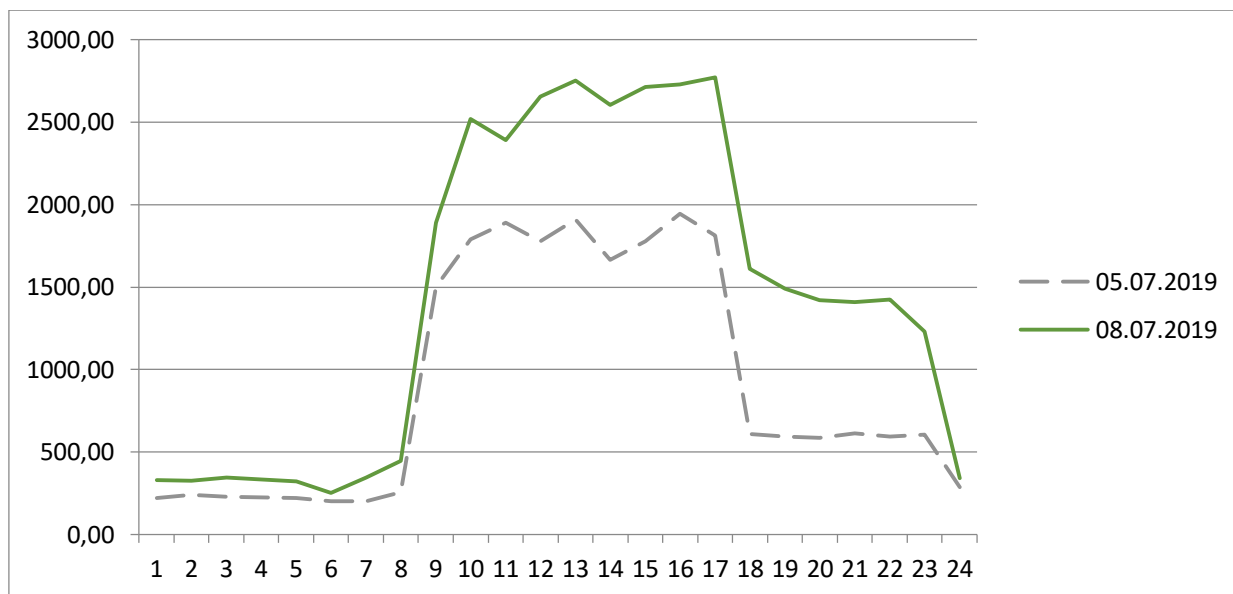
3) Добовий погодинний графік споживання електричної енергії споживачем в групі «б». (кВт*год)

$$\text{Приклад: } \sum E_{03.07.19}^{\text{пост}} \cdot \% \frac{E_{03.07.19,01:00}^{\text{пост}}}{\sum E_{03.07.19}^{\text{пост}}} = 15456 \cdot 2,744\% = 424 \text{ кВт}\cdot\text{год.} \quad (3)$$

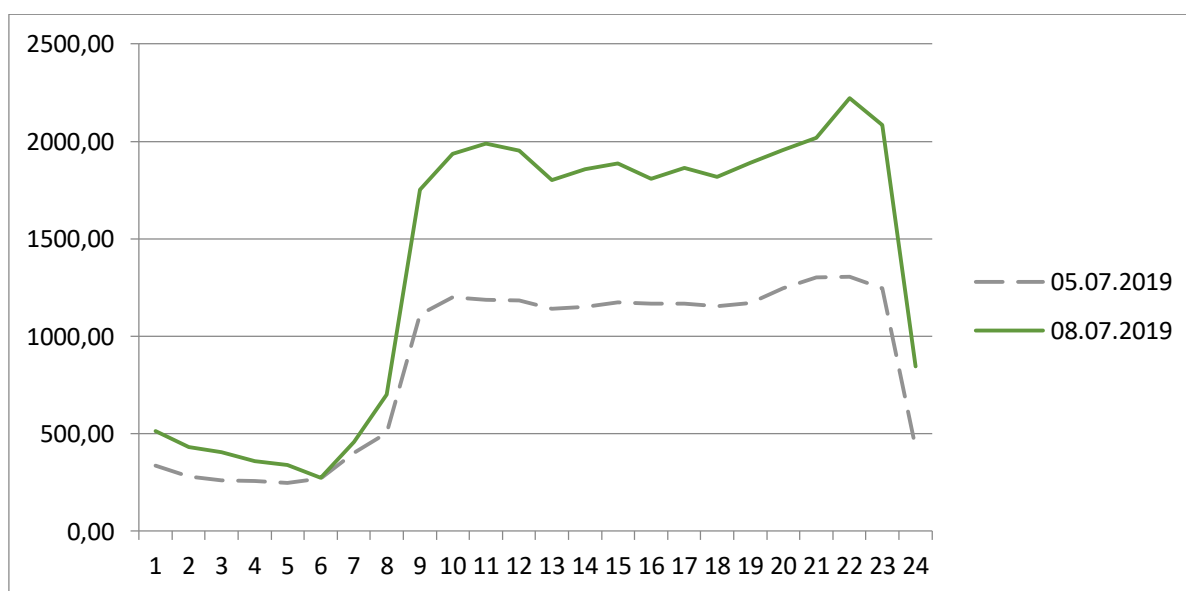
4) З добових погодинних графіків споживача в А та Б групі та даних погодинних цін купівлі-продажу електричної енергії на РДН по ОЕС України за липень 2019 з сайту Оператору системи розподілу розраховується вартість електроенергії для споживача в період 03.07.2019 - 09.07.2019 можливо отримати вартість електроенергії для споживача в групі "А" та "Б" (табл 2).

Таблиця 2 - Вартість електроенергії для споживача в групі "А" та "Б"

| | | | | | | | | |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------------------|
| Група А | 27235,80 | 25148,78 | 21762,81 | 28907,38 | 28978,43 | 34675,70 | 24970,38 | $\Sigma = 191679,27$ |
| Група Б | 26894,34 | 24891,42 | 20900,18 | 27883,05 | 28299,28 | 33170,79 | 24280,53 | $\Sigma = 186319,59$ |
| | | | | | | | | Різниця: 5 359,68 грн |



Рисунки 1 – Погодинний графік купівлі електроенергії споживачем в групі а



Рисунки 2 – Погодинний графік купівлі електроенергії споживачем в групі б

Проаналізувавши роботу споживача в двох різних групах можливо зробити наступний ряд висновків. За тижневий період споживача в групі "б" з вимкненою системою комерційного обліку електричної енергії, різниця в вартості споживання лише

за тижневий період склала 5 359,68 грн. Тому, виходячи з вище наведених розрахунків для даного споживача електроенергії робота в групі “а” з використанням автоматизованої системи комерційного обліку являється не доцільною. Оскільки не існує на регуляторному рівні механізму розв’язання даної проблеми, пропонується для стимулювання споживачів, які знаходяться в групі “б”, та не мають наміру встановлювати АСКОЕ, використовувати до них тариф постачальника “останньої надії.”

Як приклад застосуємо даний тариф для вже вище згаданого споживача згідно постанови НКРЕКП №2118 [5]. Ціна, за якою здійснюється постачання електричної енергії постачальником “останньої надії”, для побутових споживачів та непобутових споживачів, у тому числі малих непобутових споживачів, приєднаних до системи розподілу/МСП, приєднаної до системи розподілу розраховується за формулою:

$$C_j^{OH} = 1,25 \times C_{\Phi}^{Pdn} + T^{Per} + T_j^P + T^{OH} \quad (4)$$

де C_j^{OH} – ціна, за якою здійснюється постачання електричної енергії постачальник “останньої надії”, для побутових споживачів та непобутових споживачів у тому числі малих непобутових споживачів, приєднаних до системи розподілу/МСП, приєднаної до системи розподілу, грн/МВт·год; [5]

j – клас напруги;

1,25 – коефіцієнт, який враховує ризики від коливання на балансуєчому ринку на “на добу наперед”;

C_{Φ}^{Pdn} – середньозважена фактична ціна електричної енергії, на ринку “на добу наперед” за перші 20 днів попереднього розрахункового періоду, яка визнається та оприлюднюється оператором ринку на його офіційному веб-сайті в мережі Інтернет не пізніше 25 числа попереднього розрахункового періоду, грн/МВт·год; [6]

T^{Per} – тариф на послуги з передачі електричної енергії, встановлений НКРЕКП, грн/МВт·год; [7]

T_j^P – тариф на послуги з розподілу електричної енергії на j -тому класі напруги, встановлений НКРЕКП, грн/МВт·год; [8]

T^{OH} – тариф на послуги постачальника “останньої надії”, визначений за результатами проведення конкурсу з визначення постачальника “останньої надії” або якщо конкурс з визначення постачальника “останньої надії” не відбувся, встановлений. [9]

$$C_j^{OH} = 1,25 \times C_{\Phi}^{Pdn} + T^{Per} + T_j^P + T^{OH} = 1,25 \cdot 1\,618,42 + 347,43 + 647,21 + 486,06 = 3\,503,73 \text{ грн/МВт·год}$$

Сумарна по добова вартість електроенергії для споживача, в разі сплачування тарифу на послуги постачальника “останньої надії”.

Таблиця 3 – Вартість електроенергії для споживача в групі постачальника “останньої надії”.

| | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------------|
| Споживач | 54150,15 | 49865,09 | 44987,89 | 55541,13 | 59913,78 | 67569,43 | 48708,85 | $\Sigma=380736,32$ |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------------|

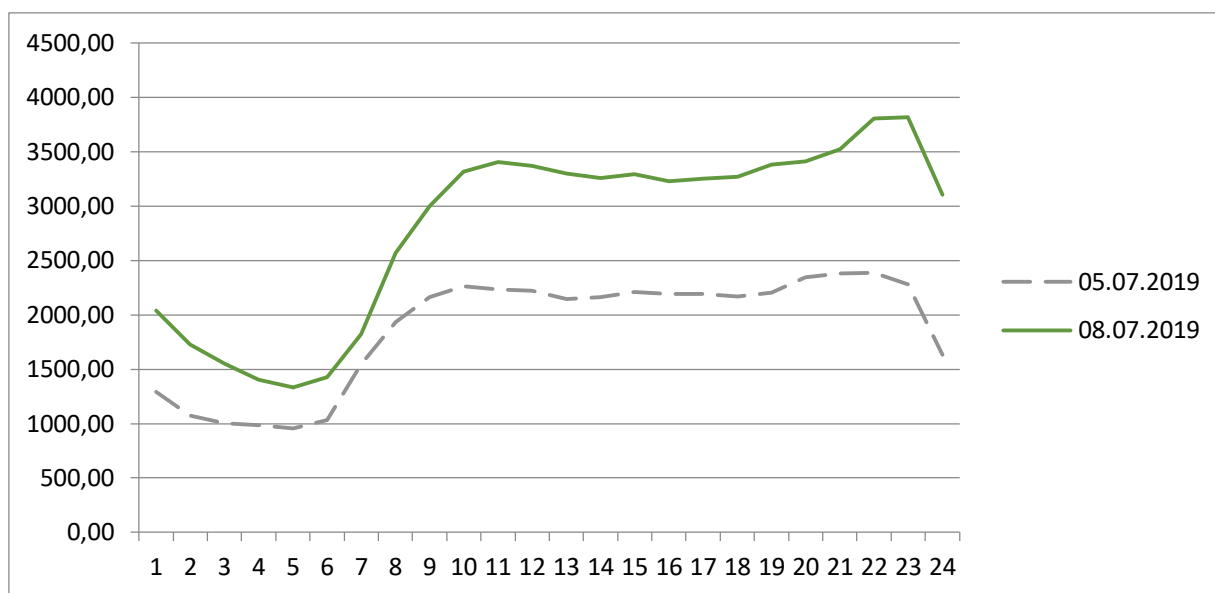


Рисунок 2 – Погодинний графік купівлі електроенергії споживачем в постачальника “останньої надії”

Висновок: В умовах нового ринку електричної енергії з не від’ємним його напрямком в сторону концепції Smart Grid та основної її складової – Smart Metering, виникає когнітивний дисонанс. Так як напрямком Smart Metering говорить про зниження комерційних витрат та закликає до стимулювання встановлення приладів обліку різного виду енергоресурсів, розвиваючи інфраструктуру мережі. З вище проведених розрахунків можливо констатувати, що концепція Smart Grid та Smart Metering як її складова не адаптовані для сьогоденного ринку електричної енергії України та вимагають значного доопрацювання для повноцінного впровадження та відповідності всім Європейським стандартам.

Механізм що був запропонований в вище проведених розрахунках на даний момент являється прикладом для розв’язання даної проблеми, хоча його можна вважати й найбільш доцільним.

Лише за умови застосування високонадійних повномасштабних багатофункціональних АСКОЕ суб’єктів енергоринку, які узгоджено взаємодіють в єдиній інформаційній системі і забезпечують розв’язання завдань управління попитом та проведення розрахунків на ринку, зокрема, з урахуванням вартості допоміжних послуг, може бути створено передумови для підвищення ефективності використання електричної енергії кінцевими споживачам.

Список використаних джерел:

1. Опис автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії . [Електронний ресурс]. –Режим доступу до ресурсу: <https://iknet.com.ua/uk/askue/>;
- 2 Про затвердження Тимчасового порядку визначення обсягів купівлі електричної енергії на оптовому ринку електричної енергії електропостачальниками /Постанова НКРЕКП № 2118 від 28.12.2018 ;
- 3.Про затвердження кодексу комерційного обліку електричної енергії /Постанова НКРЕКП № 311 від 14.03.2018 ;
4. Аналіз зарубіжної практики впровадження сучасних автоматизованих систем обліку електроенергії [Електронний ресурс] / Підготовлено відділом інформаційно-

аналітичного забезпечення зарубіжною інформацією ВП НТЦЕ ДП «НЕК «Укренерго»
././ -2014.-Режим доступу до ресурсу: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/3.-Smart-Metering.pdf>;

5. Порядку формування ціни, за якою здійснюється постачання електричної енергії споживачам постачальником «останньої надії»_/ Постанова НКРЕКП № 1179 від 05.10.2018;

6. Про затвердження прогнозованої оптової ринкової ціни на 2019 рік / Постанова НКРЕКП № 1906 від 14.12.2018;

7. Про встановлення тарифу на послуги з передачі електричної енергії ДП «НЕК «УКРЕНЕРГО» на II півріччя 2019 року / Постанова НКРЕКП № 954 від 07.06.2019;

8. Тарифи на послуги з розподілу електричної енергії. . [Електронний ресурс]. –Режим доступу до ресурсу: <https://www.nerc.gov.ua/?id=37481>;

9. Про внесення змін до постанови НКРЕКП від 11 грудня 2018 року № 1840 / Постанова НКРЕКП № 1907 від 14.12.2018 № 1907.

УДК 621.311.003.13

Лях В.М.
Кафедра електропостачання**ЕЛЕМЕНТИ БЕНЧМАРКІНГУ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ЕФЕКТИВНОГО
ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ОБ'ЄКТІВ ЖИТЛОВО-
КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА**

У статті відображені елементи бенчмаркінгу при визначенні ефективного використання енергоресурсів об'єктів житлово-комунального господарства, дається оцінка порівняльного аналізу використання енергоресурсів житловими будинками, аналізується рівень витрат на енергозабезпечення та стан заходів з енергозбереження.

Ключові слова: бенчмаркінг, енергозбереження, житлово-комунальне господарство.

The article reflects the elements of benchmarking in determining the efficient use of energy resources of housing and communal services assesses the comparative analysis of energy use in residential buildings, analyzes the level of energy costs and the state of energy conservation measures.

Keywords: Benchmarking, energy efficiency, utilities.

Вступ. Великим потенціалом для енергозбереження володіють об'єкти житлово-комунального господарства (ЖКГ). Саме підвищення енергетичної ефективності об'єктів ЖКГ є одним із стратегічно важливих завдань державної політики України. Енергоємність комунальних послуг на сьогодні є високою, оскільки основна частина будівель збудована за часів масової забудови, коли енергоефективності не приділяли великої уваги.

Об'єкти будівельного фонду потребують системного підходу до управління та аналізу ефективності використання енергетичних ресурсів. Для оцінки ефективності споживання енергоресурсів і потенціалу енергозбереження об'єктів потрібен детальний енергоаудит. На основі обстеження будуть вже запропоновані конкретні пропозиції для підвищення енергетичної ефективності. Для більш ефективного підбору енергозберігаючих заходів також потрібно використовувати досвід попередників, саме для цього й існує бенчмаркінг.

Таким чином, питання виявлення резервів при визначенні ефективного використання енергоресурсів в об'єктах ЖКГ є суттєвим положенням економіки, оскільки неможливо стати сильною і незалежною країною без сильної економіки, без економічного зростання. А для цього потрібні значні інвестиції, нові технології та ефективне управління.

Аналіз останніх досліджень. З метою визначення рівня ефективності використання енергоресурсів застосовуються різноманітні методи з урахуванням специфіки галузі. Заслуговує уваги бенчмаркінговий метод управління. [1]

Уперше термін «бенчмаркінг» було застосовано 1972 року в Кембриджському інституті стратегічного планування (Strategic Planning Institute – SPI, США). Тут була розроблена відома програма вдосконалення ринкової стратегії (Profit Impact of Market Strategy Program – PIMS), що дала можливість ефективно розв'язувати багато проблем компанії в умовах жорсткої конкуренції. [2]

Класичне визначення бенчмаркінгу (benchmarking) — це спосіб оцінки стратегій і цілей роботи організації в порівнянні з найкращими на цей момент організаціями для визначення свого місця на конкретному ринку. Популярність бенчмаркінгу пояснює те, що він допомагає удосконалити управління і власну діяльність з найменшими витратами ресурсів і часу.

Бенчмаркінг представляє собою набір методів, які організації успішно використовують для виявлення слабких сторін у порівнянні з конкурентними при їх дослідженні.

Головна відмінність бенчмаркінгу від звичайного порівняння з функціонуванням інших об'єктів полягає в організованому і систематичному пошуку раціональних розв'язань будь-яких проблем, що можуть виникнути на об'єкті, більшого професіоналізму виконання поставлених завдань, чіткого деталізування і структурування питань. До цього варто додати ще одну відмінність – пошук здійснюють не тільки в своїй галузі, а й за її межами. Дуже часто саме за межами галузі бенчмаркінг допомагає знайти оптимальне рішення, яке робить об'єкт не подібним до інших. Отже, відмінність бенчмаркінгу від інших технологій управління зводиться до того, що кращі рішення шукають цілеспрямовано для досягнення результатів, вищих від середніх. Окрім того, звичайного порівняння з іншими об'єктами недостатньо для досягнення вищих результатів роботи порівняно з найважливішими конкурентами на ринку; об'єктивними тенденціями розвитку відповідних сфер діяльності, науки, техніки і технології; значнішими досягненнями міжнародної практики у відповідній сфері. Таким чином, бенчмаркінг значно ширший за будь-яку з порівнювальних категорій.

Головна мета бенчмаркінгу – підвищення ефективності власної діяльності й завоювання переваг у конкурентному суперництві на тривалий час.

Поняття бенчмаркінгу не є постійним, а його еволюція неминуча, оскільки існують розвиток новітніх технологій у різних сферах життєдіяльності, формування інформаційної цивілізації, а також ескалацією процесів глобалізації. Водночас знання витоків і початку виділення в окрему галузь знання дає можливість по-новому підходити до розгляду його можливостей.

Мета статті. Визначення і порівняння ефективного використання енергоресурсів житловими будинками.

ЖКГ – одна з найбільш важливих галузей: близько 40% енергії країни споживають будівлі. В останні роки ця проблема набула суспільного значення у зв'язку із значним зростанням вартості енергоносіїв. Це обумовлено вичерпанням невідновлювальних паливно-енергетичних ресурсів, відсутністю реальних альтернатив їх заміни, наявністю ризиків при їх виробництві і транспортуванні. В останній час ці чинники набувають все більшого значення у зв'язку із загальною нестабільністю у регіонах видобутку паливно-енергетичних ресурсів, напругою на паливно-ресурсних ринках та несприятливими прогнозами щодо подальшого зростання цін на енергоресурси.

З огляду на вищезазначене потрібно всіма можливими методами досягати енергоефективності.

Постановка проблеми. Порівняльний аналіз використання енергоресурсів дає змогу виявити проблемні місця в експлуатації будівель.

Використання енергоресурсів були проаналізовані по даним будинків, що знаходяться за адресом місто Київ, вул. Васильченка, 6 та вул. Новгородська, 11. Споживання енергоресурсів за останні три роки наведені на рисунках 1-3.

Матеріали дослідження. Енергозбереження є довгостроковою, стратегічно важливою складовою державної політики, яка містить значні резерви впливу на

соціально-економічні перетворення в країні, а тобто на соціальну стабільність в суспільстві. Соціальний фактор є достатньо значущим в забезпеченні енергетичної безпеки, навіть у відносно благополучних економічно розвинутих країнах. Ця ситуація змушує країни змінювати політику управління попитом, зокрема політику підвищення енергетичної ефективності [3].



Рисунок 1 - Споживати електричної енергії за 2016-2017 рр.



Рисунок 2 - Споживати теплової енергії за 2016-2017 рр.

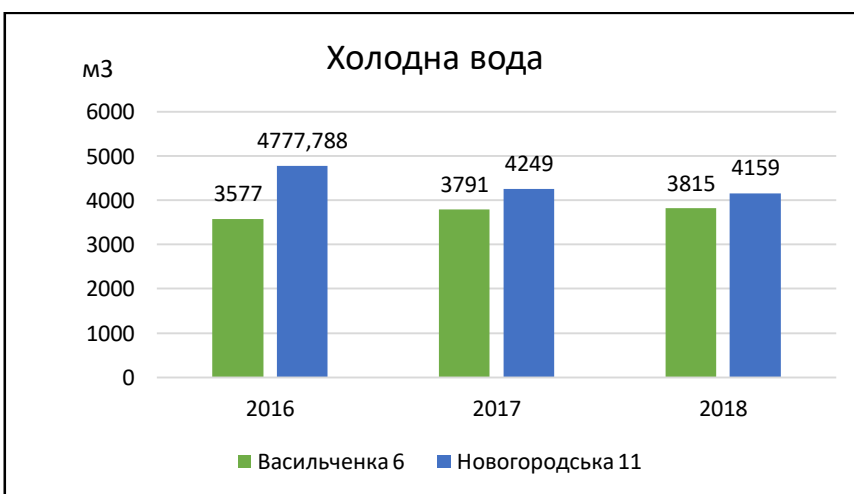


Рисунок 3 - Споживати холодної води за 2016-2017 рр.

В Україні соціальні загрози, пов'язані з енергетичною сферою, є гострішими, що пояснюється як значною кількістю факторів впливу на них, так і економічним становищем в країні, яке ще не дозволяє ефективно зменшувати рівень цих загроз [2].

Серед найбільш значущих факторів впливу бенчмаркінг відзначає: значний рівень енергетичної складової в собівартості продукції, низька платоспроможність населення, в тому числі, щодо енергетичних послуг, а також екологічний фактор.

Принципи бенчмаркінгу відображені в національному стандарті ДСТУ EN 16231:2017 «Методологія бенчмаркінгу енергетичної ефективності», прийнятий методом перекладу, — ідентичний щодо EN 16231:2012 (версія en) «Energy efficiency benchmarking methodology».

Основна мета цього стандарту — надати організаціям методологію для збирання та аналізування енергетичних даних з метою встановлення і порівняння енергетичної ефективності між об'єктами або в межах одного об'єкта.[4]

Якщо ми безпосередньо повернемося до аналізу проживання енергоресурсів, яке зображене на рисунках вище, то відразу можемо сказати, об'єм спожитих енергоресурсів у об'єкта за адресом Новгородська 11 – більший. Це в основному сформоване тим, що в даному будинку проживає більша кількість мешканців. Якщо ж, порівнювати по рокам, то споживання також змінюється, це, в свою чергу, залежить від погодних умов, які були у зазначений період часу.

Середнє питоме споживання енергії даних будівель за адресом Васильченка 6 та Новгородська 11 вище ніж у країнах Європейського Союзу таблиця 1.

Таблиця 1 – Середнє питоме споживання енергії будинками за 2016 -2018 рр.

| Васильченка 6 | | | | |
|------------------------|-----------------|----------------|-----------|------------|
| Рік 2016 | Теплова енергія | Електроенергія | Разом | |
| Споживання | 245276,7 | 4447 | 249723,7 | кВт·год |
| Питоме соживання | 86,76 | 1,57 | 88,33 | кВт·год/м2 |
| Рік 2017 | Теплова енергія | Електроенергія | Разом | |
| Споживання | 244904,54 | 4413 | 249317,54 | кВт·год |
| Питоме соживання | 86,63 | 1,56 | 88,19 | кВт·год/м2 |
| Рік 2018 | Теплова енергія | Електроенергія | Разом | |
| Споживання | 281213,4 | 4250 | 285463,4 | кВт·год |
| Питоме соживання | 99,47 | 1,5 | 100,97 | кВт·год/м2 |
| Новгородська 11 | | | | |
| Рік 2016 | Теплова енергія | Електроенергія | Разом | |
| Споживання | 252022,1 | 4993 | 257015,1 | кВт·год |
| Питоме соживання | 85,84 | 1,7 | 87,54 | кВт·год/м2 |
| Рік 2017 | Теплова енергія | Електроенергія | Разом | |
| Споживання | 226785 | 4483 | 231268 | кВт·год |
| Питоме соживання | 77,25 | 1,53 | 78,78 | кВт·год/м2 |
| Рік 2018 | Теплова енергія | Електроенергія | Разом | |
| Споживання | 276910,3 | 4198 | 281108,3 | кВт·год |
| Питоме соживання | 94,32 | 1,43 | 95,75 | кВт·год/м2 |

На сьогодні в уряді є план до 2025 року виконати термомодернізацію 40% будинків та зменшити енергоспоживання 60...80 кВт·год/(м²·рік). Крім того, значний акцент буде робитись на будинковому обліку теплової енергії та обладнанні будинків індивідуальними тепловими пунктами, оскільки прив'язка тарифів до площі приміщення, а не до обсягів фактичного споживання, є серйозною перешкодою при проведенні ресурсозберігаючих заходів [5].

Тому першочерговими для економії енергоресурсів у житловому фонді мають бути заходи щодо покращання експлуатаційних характеристик будинків, проведення їх теплової санації, модернізації інженерного обладнання тощо. Для кожного будинку необхідно розробляти конкретні програми енергозбереження, а їх реалізація забезпечить більш комфортні умови проживання [6].

Для стимулювання виконання заходів з енергозбереження, які будуть запропоновані, та зниження витрат необхідні стабілізація фінансового стану енергетичної галузі і відповідна тарифна стратегія, яка передбачала би врахування фактичних витрат за постачання енергії споживачам, мінімізацію комерційних втрат, механізми подолання неплатежів, соціальні інтереси споживачів енергії.

Для ілюстрації слід виділити показник, який характеризує співвідношення вартості енергетичних ресурсів (яка є також складовою собівартості цін для споживачів) та рівня заробітної плати в Україні відносно цих показників для країн ЄС. Ці результати є ще одним із аргументів на користь підвищення рівня енергетичної ефективності, що значно впливає на рівень соціальної стабільності.

Таким чином, необхідність сталого енергопостачання населення і економіки країни, зниження рівня енергетичної залежності, зниження техногенного навантаження на довкілля, зниження соціальної напруги у сфері енергетики, загальне підвищення рівня енергетичної безпеки України потребують вирішення проблем, пов'язаних з низькою енергетичною ефективністю економіки країни, значними витратами суспільства на своє енергозабезпечення. Тобто, реалізація заходів енергетичної ефективності, покликаних забезпечити реалізацію одних із головних задач енергетичної стратегії держави, є переважним фактором підвищення рівня енергетичної безпеки.

Різні фактори впливу (економічні, екологічні, соціальні) рівня енергетичної ефективності на енергетичну безпеку, які були розглянуті вище, хоча і в різному ступені, але однозначно показують на позитивну роль підвищення рівня енергетичної ефективності в забезпеченні енергетичної безпеки країни. [1]

Висновки. З позиції бенчмаркінгу бенчмаркінгу проведення політики енергозбереження в ЖКГ приводить до наступного:

1. Підвищиться умови проживання та фінансовий стан суспільства.
2. Технологічне переоснащення призведе до зменшення обсягів шкідливих викидів у навколишнє середовище (може з'явитися можливість торгівлі квотами).
3. Підвищиться конкурентоспроможність, бо зменшиться частка витрат на енергоносії в собівартості продукції.
4. З'являться також інші переваги, що пов'язані із соціальними стандартами, з поліпшенням міжнародного іміджу країни тощо.

Список літератури:

1. Подхалюзін А. Ю. Елементи бенчмаркінгу при визначенні ефективного використання енергоресурсів у закладах соціальної сфери. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2016. № 24(1196). С.100.

2. Швед Н.М. Формування системи управління машинобудівними підприємствами на засадах бенчмаркінгу: дис. Швед Н.М. канд. економ. наук: 08.00.04. Тернопіль, 2015. 425 с.

3. А.Шевцов, М.Земляний та ін. Енергетична безпека України. Стратегія та механізми забезпечення. ДФ НІСД.

4. ДСТУ EN 16231:2017. Методологія бенчмаркінгу енергетичної ефективності. [Чинний від 13.10.2017].

5. Петрусь В. В. Оцінка енергоспоживання багатоквартирних житлових будинків міста Вінниці. *Вінницький національний технічний університет*.

6. Пилипчук В.П., Шиманська А.А. Бенчмаркінг як інструмент підвищення ефективності маркетингової діяльності промислового підприємства. *Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана*. 2015.

Bibliography (transliterated):

1. Podhaluzin A. Yu. Elements of benchmarking in determining the efficient use of energy resources in social institutions. Bulletin of NTU "KPI". 2016. No. 24 (1196). P.100.

2. Shved NM Formation of control system of machine-building enterprises on the basis of benchmarking: dis. Shved NM Cand. economy. Sciences: 08.00.04. Ternopil, 2015. 425 p.

3. A. Shevtsov, M. Zemlyany and others. Ukraine's energy security. Supply strategy and mechanisms. DF NISD.

4. DSTU EN 16231: 2017. Energy efficiency benchmarking methodology. [Effective 10/13/2017].

5. Petrus VV Estimation of energy consumption of apartment buildings in Vinnitsa. Vinnitsa National Technical University.

6. Pylypchuk VP, Shimanska AA Benchmarking as a tool 6. Increasing the efficiency of marketing activities of an industrial enterprise. Vadim Hetman National Economic University of Kiev. 2015

УДК 621.31

Коротенко І.В., магістрант, ORCID: 0000-0002-3546-5874,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

МОДЕЛІ АГРЕГУВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

У даній статті розглядаються ключові моделі агрегування локальних електроенергетичних систем. Описано моделі, які враховуючи тип електростанцій використовують базові принципи декомпозиції для агрегування електроенергетичних систем. Головними показниками моделей агрегування виступає підвищення енергоефективності електроенергетичного сектора, рівня комфорту кінцевого споживача та реагування ринку на попит та пропозицію. Виявлено, що агрегування локальних електроенергетичних систем в Україні необхідний захід для зменшення кількості втрат при передачі електричної енергії та підвищення рівня комфорту кінцевого споживача.

This article discusses the key models for aggregating local power systems. Models are used which, considering the type of power plants, use the basic principles of decomposition to aggregate power systems. The main indicators of aggregation models are the improvement of the energy efficiency of the electricity sector, the level of comfort of the end consumer and the response of the market to supply and demand. It is revealed that the aggregation of local power systems in Ukraine is a necessary measure to reduce the amount of losses in the transmission of electricity and increase the comfort level of the end consumer.

Вступ

Більшість розвинутих країн світу впроваджують та удосконалюють концепцію розосередженої генерації та споживання електричної енергії [1], що направлена на побудову енергосистеми, яка складається переважно з електростанцій малих та середніх потужностей, які будуть розташовані безпосередньо біля кінцевого споживача. Розвиток подібної енергетичної системи має на увазі зменшення кількості ліній високої та над високої напруги, що суттєво зменшує кількість втрат при передачі електричної енергії, та зменшує фінансові затрати на обслуговування ліній та обладнання. Подібна концепція побудови мережі базується на впровадженні локальних систем розосередженої генерації (РГ) із застосуванням інтелектуальних електроенергетичних систем (ІЕС). Структура такої системи дозволяє встановлювати та додавати електростанції відновлюваних джерел електроенергії (ВДЕ) майже у будь-якій точці приєднання, що спонукає до збільшення кількості об'єктів відновлюваних джерел електричної енергії та спорудження нових гібридних електростанцій малої та середньої потужності. Поширення інтелектуальних систем та становлення нового ринку електричної енергії в Україні спонукають до створення операторів (агрегаторів), які будуть координувати генерацію, передачу та продаж електричної енергії.

Аналіз Європейських досліджень стосовно впровадження локальних систем розосередженої генерації

Концепція збільшення кількості джерел РГ направлена на побудову енергосистеми, яка складається переважно з електростанцій малих та середніх потужностей, які будуть розташовані безпосередньо біля кінцевого споживача [1]. Розвиток енергетичної системи передбачає зменшення кількості ліній високої та надвисокої напруги, що

суттєво зменшує обсяги втрат при передачі електричної енергії, зменшуються фінансові затрати на обслуговування ліній та обладнання. Європейські країни, проводячи фінансування провідних університетів щороку запускають велику кількість довгострокових проектів (рис. 1), головними пріоритетами яких є: дослідження моніторингу електроенергетичної системи з різними масштабами (територіальними, часовими), інтелектуальних електроенергетичних систем, систем РГ, керування локальними електроенергетичними системами (ЛЕС), агрегування локальних електроенергетичних систем.

Ключовими цілями таких досліджень виступають [2-3]:

- підвищення гнучкості електроенергетичних систем (розширення можливостей кінцевого споживача, забезпечення оптимізації потоків електричної енергії в реальному часі на глобальному та місцевому рівнях);
- підвищення надійності (розробка технологій для розосередженого контролю та керування мережею в реальному часі);
- підвищення доступності (усунення комерційних та регулювальних бар'єрів для активного попиту та повної інтеграції РГ та ВДЕ);
- впровадження економічної складової (забезпечення вигідної участі для усіх учасників ринку, забезпечення активного попиту на РГ та ВДЕ).



Рис. 1 – Європейські проекти та стартапи в галузях моніторингу, керування та впровадження ІЕС в електроенергетичній галузі

Розширення технологічної бази сприяє підвищенню комфорту кінцевого споживача за рахунок введення нових технологій, ключовими показниками яких є підвищена енергоефективність, надійність та економічна доцільність. Дослідницька робота збільшує науково-технічну базу, сприяє появі нових інвестиційних програм та загальному підвищенню рівня комфорту кожного кінцевого споживача. Результати досліджень та швидкий розвиток інтелектуальних систем збільшує матеріальну базу та дозволяє ефективно використовувати ресурси кожного споживача.

Актуальність впровадження відновлюваних джерел енергії на території України

Глобальний розвиток інтелектуальних технологій в енергетичних секторах країн світу довів свою ефективність та необхідність в контексті модернізації існуючих енергетичних об'єднань та введення нових ІЕС на різних енергетичних рівнях [4]. Енергетичний сектор України потребує використання систем, ключовими показниками яких є швидке інтегрування та максимальна енергоефективність відносно встановленої вартості. Технічна та моральна зношеність електричного обладнання на підстанціях, втрати при передачі і багато інших чинників призводять до значних фінансових втрат [5]. Ефективність енергетичного сектору України знаходиться на дуже низькому рівні (рис. 2), що призводить до збільшення економічних затрат на втрати електроенергії при генерації та передачі. Енергетичний баланс України показує (рис. 3), що при перетворенні та передачі електроенергії втрачається близько 25% енергії, а значить з кожної гривні, яку кінцевий споживач платить за спожиту електроенергію, 0,25 грн. - це плата за втрати самої електромережі [6].

Необхідність у переобладнанні підстанцій та створення нових ліній із встановленням двостороннього зв'язку (силового та інформаційного) в найближчому майбутньому надасть можливість до побудови ІЕС з підвищеною енергоефективністю. Будівництво нових мереж, підстанцій, модернізація та автоматизація приватних підприємств відбувається за рахунок економічної зацікавленості приватних осіб.

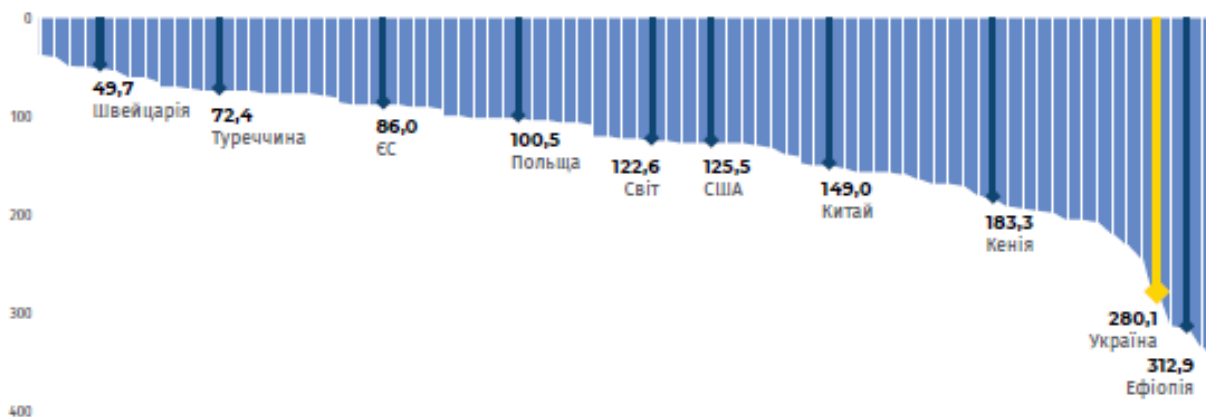


Рис. 2 – Показник енергоефективності країн Світу станом на 2018 рік

Основною метою впровадження ІЕС на локальних рівнях, систем гнучкої генерації та агрегаторів локальних електроенергетичних систем (АЛЕС) є суттєве покращення рівня життя людей, які використовують дані системи, однак якісне і нове обладнання коштує значних фінансових вкладів, що суттєво перешкоджає інсталяції подібних систем в енергетичному секторі України.

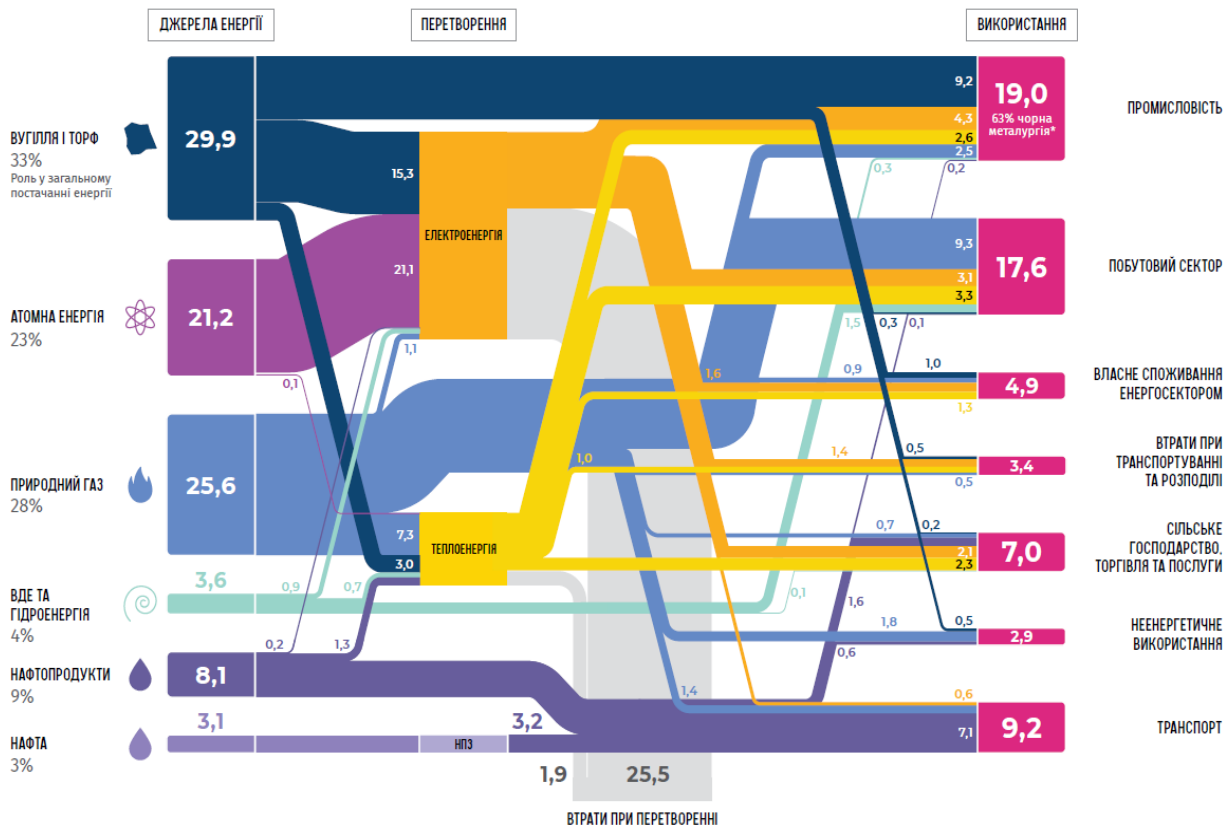


Рис. 3 – Енергетичний баланс України: промисловість – основний споживач

Концепція побудови ІЕС дозволяє користувачу самостійно (онлайн) здійснювати обслуговування та використання локальних джерел електричної енергії. Збільшення кількості ЛЕС дозволяє розширити межі керування електроенергетичною системою за допомогою впровадження операторів керування / агрегаторів. Кінцевий споживач використовує всю отриману електричну енергію як йому необхідно, а надлишок продає у мережу для використання іншими споживачами, або акумулює для продажу в пікове споживання чи власного резервного користування.

Функціонування оператора в електроенергетичній системі України

Для координації та оперативного керування активними споживачами та їх об'єднаннями, на ринку створюються оператори (агрегатори) інтелектуальних електроенергетичних систем (Оператор ІЕС). Оператори ІЕС виступатимуть посередниками між локальними системами та енергосистемою (рис. 4). Фінансове стимулювання оператора ІЕС дозволить ввести конкуренцію на ринку операторів, що в свою чергу, призведе до підвищення якості послуг та підвищить рівень комфорту кінцевого споживача [7]. Стимулювання за рахунок фінансових відрахувань та конкуренція серед операторів буде сприяти покращенню якості надаваних послуг, якості обслуговування та підвищить рівень інформування кінцевого споживача.

Основні функції оператора:

- створити базовий функціональний інтерфейс; моніторинг, служба повідомлень та звітів;
- надати та пояснити функції фінансових розрахунків; розрахунок розрахункової ціни, налаштування цінових діапазонів, прогнозування ціни-пропозиції на оптовому ринку електричної енергії;

- функції керування та диспетчеризації; алгоритм диспетчеризації направлений на відповідність графіку.

Для структуризації електроенергетичної мережі Оператор ІЕС/агрегатор може розглядатися, як глобальний контролер та посередник між кінцевим споживачем та енергосистемою:

$$wE_{\text{оператор}}(h) = \sum_{i=1}^N E_i(h); \quad (1)$$

$$wE_{\text{оператор}}(h) = \alpha \sum_{i=1}^N (wP_i(h) \times E_i(h)) / \sum_{i=1}^N E_i(h), \quad (2)$$

де блок $wE_{\text{агрегатор}}(h)$ представлений у вигляді суми кількісних пакетів Microgrids (MGs);

αi – вартість витрат для MG;

$E_i(h)$ – кількість електричної енергії від MGs за одиницю часу;

$wP_i(h)$ – ціна на електричну енергію від MGs за одиницю часу.

Системи MG є основними гравцями на ринках роздрібної торгівлі електричної енергії. Вони, як правило повинні бути з'єднані з шиною базової розподільної мережі. Учасники ринку можуть бути різних типів і масштабів, наприклад комерційні MG, або житлові MG. Ми розглядаємо загальну вартісну функцію MG як:

$$C_i(E_i) = [a_i(E_t)^{1+b_i} / (1 + b_i)] + c_i, \quad (3)$$

де a_i – швидкість збільшення собівартості;

b_i – зміна витрат (функція витрат виконується в квадратичній формі, $b_i = 1$);

c_i – фіксована вартість.

Системи акумулювання енергії, обладнана інтелектуальними технологіями, може поглинати майже будь-який надлишок ел. ен. від генераторів. Стан заряду системи акумулювання енергії потребує уваги під час процесу зарядки / розрядки, що забезпечується системами моніторингу. Функція моніторингу стану заряду в часовому інтервалі h може бути описана як:

$$E_i^{ESS}(h) = E_i^{ESS}(h-1) + \eta_i P_i^{ESS}(h) \Delta h; \quad (4)$$

$$E_i^{ESS}(h) = E_i^{ESS}(h-1) + P_i^{ESS}(h) / \eta_d \Delta h, \quad (5)$$

де рівняння (5) описує режим зарядки системи акумулювання електричної енергії у часовому проміжку h , коли потужність заряду $P_i^{ESS}(h)$ додатна;

рівняння (6) описує систему акумулювання електричної енергії у часовому проміжку h , коли потужність $P_i^{ESS}(h)$ від'ємна.

Надлишок електричної енергії від генерації використовується для повного заряду системи акумулювання. Електрична енергія, що знаходиться у системах акумулювання використовується для задоволення потреб на роздрібному ринку електричної енергії та місцевого попиту, коли генерація електричної енергії нижча за попит на неї. Якщо електричної енергії від систем місцевої генерації чи систем акумулювання недостатньо, РЕС оператор може купувати електричну енергію у комунальної компанії на балансуєчому ринку електричної енергії.

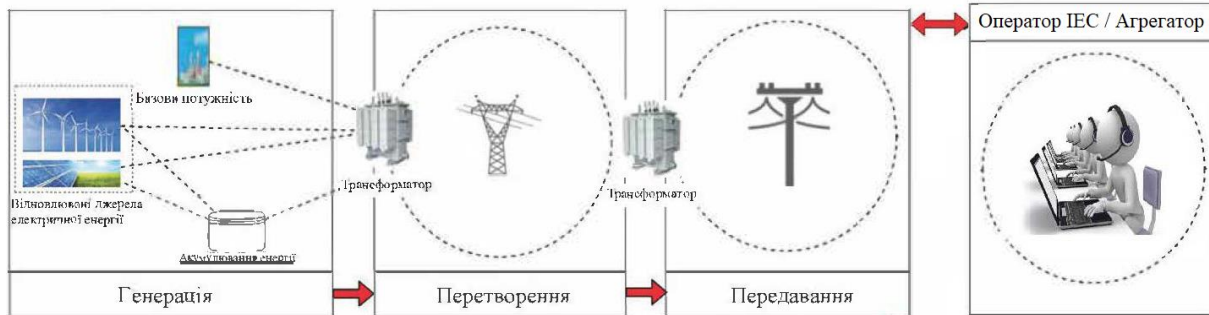


Рис. 4 - Становлення оператора РЕС / Агрегатора в енергетичній системі України

Збільшення кількості MG_i призводить до появи нових учасників на оптовому ринку електричної енергії та підвищенню асортименту торгової кількості та якості:

$$0 \leq E_i(h) \leq E_i^{generation}(h) - (1 - \omega_i)E_i^{load}(h). \quad (6)$$

Права частина рівняння представляє надлишок електричної енергії від MG_i , для торгівлі на оптовому ринку електричної енергії, w_i – швидкість проникнення керованого навантаження в MG_i . На практиці w_i регулюється так, щоб при запиті на попит відповідати операції кількості на оптовому ринку електричної енергії. Загальний дохід $MG_i (R_i^{total})$ визначається, як сума доходів, як на оптовому ринку електричної енергії $\omega R_i(h)$, так і на балансуєчому ринку за проміжок часу $h (R_{i,j}(h))$:

$$R_i^{total} = \sum_{h=1}^H R_{i,j}(h) + \sum_{h=1}^H \omega R_i(h). \quad (7)$$

Однак на сьогодні для роботи і керування РЕС все ще не вистачає досконалих методів оцінки комфорту користувачів і досліджень по споживанню відновлюваної енергії, що серйозно ускладнить подальший розвиток РЕС. Також малої популярності набуло інформування та правова підтримка «активних» споживачів. Дуже важливо додатково вивчити вплив рівня комфорту користувача [8], споживання відновлюваної енергії та інших факторів на оптимальну роботу. Чітке розуміння потреб споживачі дозволить проектувати енергетичні системи, які будуть у повному обсязі задовольняти потреби учасників ринку електричної енергії [9]. Стимулювання учасників ринку за рахунок певних надбавок допоможе створити живу конкуренцію яка стане основою розвитку Інтелектуальних електроенергетичних спільнот в Україні.

Інтеграція систем Energy Smart Community (ESC) в Україні на даний момент є дуже важливим, адже воно дає можливості для розвитку Smart City (Розумне місто). У контексті розвитку Smart Grid потреба в інтелектуальних підходах до керування і координації різноманітного спектра технологій постачання та перетворення зі збільшення попиту добре відома [10].

Широкомасштабне поширення інтелектуальних пристроїв моніторингу в поєднанні з впровадженням вбудованих алгоритмів обчислювального інтелекту може допомогти вирішити багато технічних проблем, пов'язаних з впровадженням інтелектуальних електроенергетичних систем [11]. Проте, бар'єри все ще існують, оскільки необхідні відповідні методи для роботи зі складними мережами учасників (часто з конкуруючими цілями) при визначенні проектних і експлуатаційних рішень для систем з широким спектром функцій і часових масштабів.

Моделі агрегування локальних електроенергетичних систем

Агрегування ЛЕС не можливе без створення структурної моделі з чітко визначеним функціоналом кожного з учасників. Розробка моделей агрегування супроводжується створенням архітектури ринку з можливістю використовувати переваги АЛС в повній мірі. Формування нової архітектури ринку супроводжується появою нових додаткових послуг та суттєвому росту конкуренції на роздрібному ринку електричної енергії [12]. Різноманітність підходів до агрегування дозволяє вибрати оптимальну модель, яка буде мати власні параметри та змінні фізичні одиниці, які наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Моделі агрегування

| Об'єкти агрегування (моделі) | Підхід до агрегування |
|---|-----------------------|
| Агрегування навантаження модульних АЕС | Гібридний |
| Агрегування ТЕЦ | Фізичний |
| Агрегування термостатичного навантаження (ТН) | Фізичний |
| Агрегування накопичувачів електричної енергії | Фізичний |
| Агрегування систем РГ | Фізичний |

Агрегування навантаження АЕС описує модель за якою відбувається агрегування атомних реакторів малої потужності [13]. Атомні станції мають фіксований профіль навантаження але використання модульних блоків малої потужності дозволяє забезпечити живлення ЛЕС, що суттєво підвищить гнучкість системи. Після запуску атомного модуля не можливо зупинити його роботу чи перервати на деякий час, але гнучкість системи можна досягти шляхом зміни запланованого профілю навантаження на альтернативний, фіксований профіль. На ринок подається одинична пропозиція, а вартість активації більш гнучкої ставки визначається АЛС, як вартість активації альтернативного профілю навантаження з вирахуванням вартості активації запланованого профілю.

Агрегування ТЕЦ забезпечується фізичним підходом агрегування. Модель передбачає формування ступінчатої обмеженої Q-ставки потужності з урахуванням можливих обмежень, таких як максимальне підвищення та зменшення потужності кожної окремо взятої ТЕЦ та обмеження рівня загальної згенерованої потужності.

Агрегування термостатичних навантажень передбачає агрегування систем кондиціонування повітря, теплових насосів, водонагрівачів, електричних нагрівачів, тощо. Для агрегування окремих пристроїв ця модель використовує фізичний (знизу вгору) та обґрунтований підхід до агрегації. Модель передбачає ринкові Q-ставки навантаження, що обмежується, або ступінчаті Q_t-ставки на ринку електричної енергії з цільовим обмеженням чи без цього.

Агрегування систем акумулювання електричної енергії описує модель агрегування статичних та мобільних акумуляторів. Для агрегування застосовується фізичний підхід (знизу вгору), щоб сформувані Q-ставку з U-подібним етапом, оскільки накопичення електричної енергії забезпечує двосторонню гнучкість електроенергетичної системи.

Агрегування систем РГ передбачає агрегування систем ВДЕ (вітрогенератори, фотоелектричні панелі) та мало масштабні гідроелектростанції (ГЕС), а також

обмеження навантаження(зменшення навантаження без будь-якого відшкодування). Гнучкість одного уніфікованого пристрою агрегується за допомогою фізичного підходу(знизу вгору) і пропонується ринку у вигляді ступінчатої обмеженої Q-ставки. Агрегування декількох точок генерації відбувається шляхом представлення ставки на ринку, що представляє сумарну потужність станцій з урахуванням втрат при передачі електричної енергії.

Висновок

1. Завдяки зростанню кількості систем ВДЕ, насамперед фотоелектричних станцій та вітрогенераторів, у великих масштабах, виникає необхідність у збільшенні гнучкості електроенергетичної системи. Збільшення кількості ІЕС сприяє утворенню мереж інтелектуального зв'язку, використання яких дозволяє будувати локальні, інтелектуальні електроенергетичні спільноти. Більшість розвинутих країн вкладають кошти у проекти пов'язані з дослідженням ІЕС та створення моделей керування електроенергетичною системою різних масштабів та на різних рівнях.

2. Було виявлено, що збільшення кількості ІЕС вимагає створення органів керування, правильне стратегічне планування вимагає створення оператора, який при проведенні агрегації буде враховувати територіальне розташування, особливості регіону та стан електроенергетичної мережі. Формування розвинутої мережевої інфраструктури вимагає впровадження АЛЕС, для координації та оперативного керування ІЕС.

3. Представлені моделі агрегування дозволять підвищити ефективність електроенергетичної мережі та суттєво зменшать кількість втрат при передачі та перетворенні електричної енергії. Агрегатор зацікавлений у підвищенні кількісних та якісних показників енергосистеми, адже застосування моделей агрегування описаних вище, дозволить отримати прибутки за купівлю та продаж електричної енергії на балансуєчому ринку електричної енергії. Агрегування локальних систем в Україні необхідний захід для зменшення кількості втрат при передачі електричної енергії та підвищення рівня комфорту кінцевого споживача.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. [Електронний ресурс: https://www.innogrid2020.eu/projects/](https://www.innogrid2020.eu/projects/)
2. Електронний ресурс: <https://edream-h2020.eu/demand-response-tools/#objectives>
3. Електронний ресурс: <https://www.etip-snet.eu/energy-transition/concept/>
4. Edward O'Dwyer, Indranil Pan, Salvador Acha, Nilay Shah «Smart energy systems for sustainable smart cities: Current developments, trends and future directions» Applied Energy Volume 237, 1 March 2019, Pages 581-597.
5. ДП «НЕК «Укренерго» Науково-технічний центр електроенергетики «План розвитку системи передачі Укренерго 2019 – 2028 роки», Київ – 2017, 51с.
6. Довідник «Енергетика України 2018», підготувало контент-маркетингове агентство Top Lead за підтримки Американської торговельної палати в Україні та партнерів: юридичної фірми AEQUO Law Firm, аудиторської компанії Baker Tilly, компанії ДТЕК.
7. О.В. Кириленко, С.П. Денисюк, С.Є. Танкевич, Т. М. Базюк «Інформаційне та нормативне забезпечення організації мультиагентного керування електроенергетичної системи із активним споживачем» Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2016. № 1. С. 29–34.

8. Weixian Li, Thillainathan Logenthiran, Van-Tung Phan and Wai Lok Woo “Housing development building management system (hdbms) for optimized electricity bills,” Transactions on Environment and Electrical Engineering, vol. 2, no. 2, pp. 64–71, 2017.
9. Haris Doukas, Vangelis Marinakis, John Tsapelas and Sgouris Sgouridis «Intelligent Energy Management Within the Smart Cities: An EU-GCC Cooperation Opportunity» Smart Cities in the Gulf pp 123-147 Volume 30 October 2018.
10. Thomas Bauwens, Patrick Devine-Wrightb «An empirical study of community energy participation and attitudes to renewable energy» Energy Policy Volume 118, July 2018, Pages 612-625.
11. Gagangeet Singh Aujla, Sahil Garg, Shalini Batra, Neeraj Kumar, Ilsun You, Vishal Sharma, DRopS: A Demand Response Optimization Scheme in SDN-enabled Smart Energy Ecosystem, Information Sciences (2018).
12. Впровадження нової моделі ринку електричної енергії в Україні «Про ринок електричної енергії» (№2019) Електронний ресурс: <https://www.slideshare.net/JuliaLoboda1/ss-78449094>
13. А. А. Саркисов «Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики» : Т. 2 — М. : Академ-Принт, 2015. — 387 с. : ил. — ISBN 978-5-906324-04-7.

УДК 621.311

Я.А. Михайлів

Кафедра електропостачання

АНАЛІЗ РОЗРАХУНКОВИХ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Вступ. Проблема надійного забезпечення споживачів електричною енергією є однією з найважливіших при вирішенні задач проектування та експлуатації систем електропостачання (СЕП) міст, промислових підприємств та окремих об'єктів. Вимоги з питань надійного електропостачання визначаються відповідними нормативними документами [1, 2] і мають бути беззаперечно враховані і виконані. І споживачам, і підприємствам електричних мереж завдається істотна шкода внаслідок вимушених перерв живлення.

На будь-якому рівні інфраструктури електроенергетики забезпечення надійності електропостачання споживачів завжди було важливою науково-технічною проблемою, дослідженню і вирішенню якої присвячено численні роботи вчених та науково-дослідних і проектних організацій (КПІ, ТГУ, МЕІ та ін.). Основні напрямки досліджень: отримання, систематизація та опрацювання статистичної інформації, оцінювання її достовірності; розроблення адекватних розрахункових моделей з оцінювання та оптимізації надійності елементів, схем та системи електропостачання вцілому; визначення ефективних системних показників надійності та методів їх розрахунку і прийняття оптимальних рішень; економічні показники втрат споживачів та електропостачальних організацій від недоотримання та недовідпуску електричної енергії.

Загальний аналіз роботи електричних мереж на даний момент показує, що технічний їх стан є незадовільним, спостерігається старіння обладнання, що прогресує, та, відповідно, зниження показників надійності елементів та систем електропостачання. Більш того, постійне ускладнення структури та поява нових елементів мереж потребує розвитку теорії вирішення задач оцінювання і підвищення надійності енергозабезпечення. Відповідно, з'являється необхідність розробки методології прийняття рішень на стадіях будівництва, реконструкції та експлуатації розподільних електричних мереж (РЕМ).

Аналіз статистичної інформації свідчить про суттєву нестабільність, нестаціонарність показників, що використовуються при формуванні розрахункових моделей, оцінюванні надійності схем. Системний підхід до питання розроблення більш ефективних моделей та методів оцінки надійності розподільних мереж є як ніколи актуальним.

Мета та завдання. Метою роботи є формування методології оцінювання достовірності вихідних параметрів надійності РЕМ, що визначаються по обмеженим обсягам даних аварійної статистики, та впливу прийнятих розрахункових моделей на результати обчислення показників надійності мережі. Відповідно до мети, в роботі вирішувались наступні завдання:

- аналіз інформації щодо функціонування розподільних електричних мереж;
- оцінка достовірності вихідних показників надійності, визначення і урахування впливових факторів, законів розподілу випадкових величин;

– вибір та порівняння розрахункових моделей оцінювання надійності розподільних електричних мереж напругою 6-10 кВ на підставі опрацювання отриманих даних аварійної статистики та з робіт інших авторів [3,4];

– послідовність реалізації системного підходу до аналізу статистичної інформації та здійсненню оцінювання надійності електропостачання.

Матеріал і результати досліджень. При оцінюванні надійності систем електрозабезпечення споживачів зазвичай розглядають такі показники, як ймовірність випадкової події перерви в електропостачанні [5], випадкова величина недовідпуску електричної енергії споживачам (що мала місце за результатами подій, що відбулися, або прогнозована, розрахункова) [4], реальні або прогнозовані збитки споживачів або електропостачальної організації [6].

Проведений аналіз свідчить про те, що показники пошкоджуваності елементів розподільних мереж та значення збитків, що несуть споживачі, практично завжди залежать від конкретних умов. Більш того, навіть для одних і тих же умов експлуатації [4] мають місце коливання інтегрованих за рік показників пошкоджуваності елементів мереж в рази, тобто більш ніж на 100 відсотків. Це свідчить про те, що в умовах кожної системи необхідно проводити аналіз даних аварійної статистики з визначенням реальних факторів впливу на вихідні розрахункові показники (довжин ліній, схемних рішень, кількості вузлів та інші).

Так само має розглядатись і враховуватись при визначенні збитків (що мали місце або прогнозованих) їх суттєва залежність від сезону, часу доби, а також (як свідчать матеріали [6]) в значній мірі – від того, скільки часу тривала перерва в живленні споживача.

Основні причини пошкодження ліній електропередачі - грозові відключення, забруднення ізоляції, вплив сторонніх осіб і організацій, пожежі[3]. Також залишається стабільно високою кількість технологічних порушень через падіння бокових дерев.

У мережах напругою 6-10 кВ відбувається, в середньому [3], до 30 відключень в рік у розрахунку на 100 км повітряних і кабельних ліній. У мережах напругою 0,38 кВ - до 100 відключень в рік на 100 км .

Статистика пошкоджень на ПЛ та КЛ 6-10 кВ представлені на рисунках 1 та 2, відповідно.



Рисунок 1 - Причини і співвідношення пошкоджень повітряних ліній

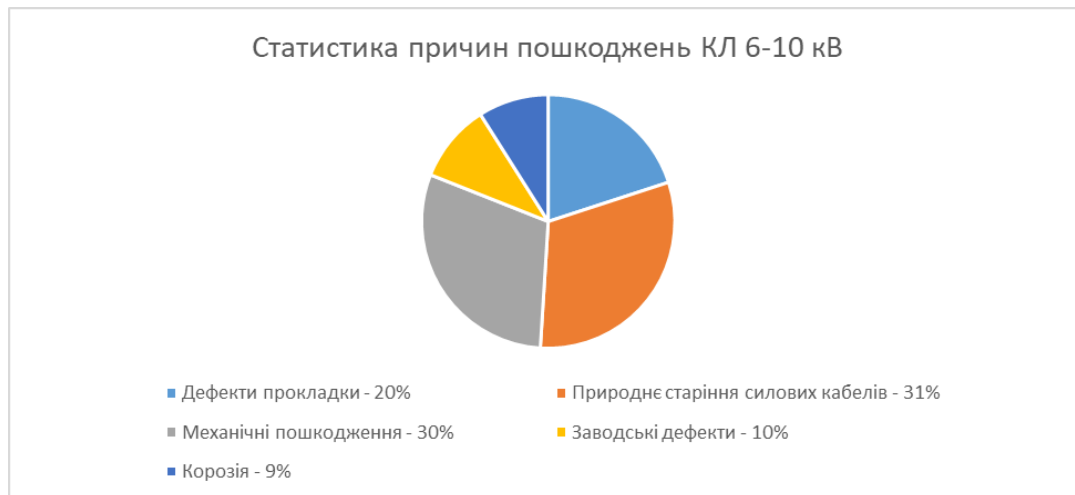


Рисунок 2 - Причини і співвідношення пошкоджень кабельних ліній

В даній роботі обсяг дослідження обмежувався оцінюванням одного з найважливіших показників надійності СЕП - очікуваного недовідпуску електроенергії споживачам ΔW_n , що розраховується для лінії, що містить k ТП, n ділянок, при умові стаціонарності потоку відмов за допомогою виразу:

$$\Delta W_n = \sum_{j=1}^k P_{Cj} (\sum_{i=1}^n \omega_i) \tau_B, \quad (1)$$

де P_{Cj} – середньорічне навантаження j -ї ТП, ω_i – параметр потоку відмов елементів

мережі, τ_B – час введення резервного живлення.

Від точності представлення кожного виду вихідної інформації та типу розрахункової моделі залежить достовірність розрахунку ΔW_n . В розрахунках використовуються значення параметрів, що були отримані на основі обробки статистичних даних аварійної статистики досліджуваного підприємства електричних мереж. При цьому розглядалися розрахункові моделі, які використовують середні значення показників для даної мережі, або ж моделі, в яких враховується залежність $\omega_{кл}$ та τ_e від індивідуальних особливостей лінії та умов експлуатації.

Знання величини часу ремонту пошкодженої КЛ T_p дозволяє провести оцінку впливу пошкоджень і вимушених схемних змін на надійнісні та режимні показники роботи мережі і визначити ефективні та оптимальні шляхи підвищення енергоефективності, оскільки при збільшенні значень даного показника відбувається зростання втрат енергії в мережі і, відповідно, знижується надійність електропостачання споживачів.

Точність оцінки ΔW_n можна підвищити, застосовуючи більш детальні розрахункові моделі. Однак числові характеристики кожної з розрахункових моделей визначають на основі опрацювання обмежених обсягів даних аварійної статистики, що містять інформацію про пошкодження, які мали місце в результаті експлуатації мережі. Більш того, є необхідність оцінювати середні значення вихідних показників надійності, а також самих величин, що отримані при створенні рівнянь регресії, які визначають залежність від факторів, що впливають. Також є необхідним оцінювати вплив достовірності вихідної інформації на оцінку та оптимізацію ΔW_n .

Виникає необхідність отримання та опрацювання достатнього об'єму інформації про кожен випадок відмови для визначення похибки оцінки недовідпуску електричної енергії із заданим рівнем достовірності.

На кафедрі електропостачання розроблено інформаційно-обчислювальний комплекс [7, 8], який використовується для оцінки та оптимізації режимів розподільних мереж. З використанням даного програмного забезпечення можна виконувати імовірнісне моделювання (метод Монте-Карло) значень вихідних випадкових величин з заданими (отриманими за результатами опрацювання статистичної інформації) законами розподілу випадкових величин, в залежності від розв'язуваної задачі:

- 1) час введення резервного живлення τ_v ;
- 2) варіація похибок визначення розрахункових навантажень ТП;
- 3) параметр потоку відмов елементів мережі.

Використовуючи блок програм моделювання, вирішуються завдання з визначення впливу похибок вихідної інформації на точність оцінок очікуваного ймовірного недовідпуску електричної енергії, втрат потужності і енергії в розподільній мережі.

Відповідно до умови виконання забезпечення достатньої точності визначається необхідна кількість розрахунків з моделювання.

Вирішується комплекс задач:

1. При розрахунку за середніми значеннями показників надійності визначається вплив похибок вихідної інформації на точність оцінки математичного очікування втрат потужності в мережі та ймовірного недовідпуску електричної енергії споживачам. Може розглядатися вплив одного фактору, або сумісний вплив будь-якого поєднання факторів. Завдяки цьому можна визначити фактори, що впливають найбільше, і обрати оптимальні методи підвищення достовірності вихідної інформації і розрахунків.

2. Оцінка впливу ситуації, коли не враховується залежність від індивідуальних факторів на розрахунок показників надійності СЕП.

3. Вплив достовірності розрахункових моделей на ефективність оптимізації прогнозованого недовідпуску електроенергії.

4. Визначення ефективності багатокритеріальної оптимізації режиму, при врахуванні двох критеріїв. В результаті використання даного моделюючого блоку після кожного дослідження отримуються чергові значення параметрів, що визначаються, після виконаної серії досліджень – оцінки математичних очікувань та середньоквадратичних відхилень значень розрахункових параметрів. Якщо розглядається режим оцінки впливу на результат оптимізації – отримуємо оптимальні положення точок розмикання для кожної ситуації, а також оцінку зміни значень цільових функцій.

Проведено детальний аналіз даних аварійної статистики, зібраних для декількох років декількох міських електричних мереж. Систематизацію даних здійснено для побудови розподілів величин, які розглядаються, аналізу розподілу відмов по часу доби та місяцям року. Приклади отриманих відповідних розподілів наведено на рисунках 3 та 4.

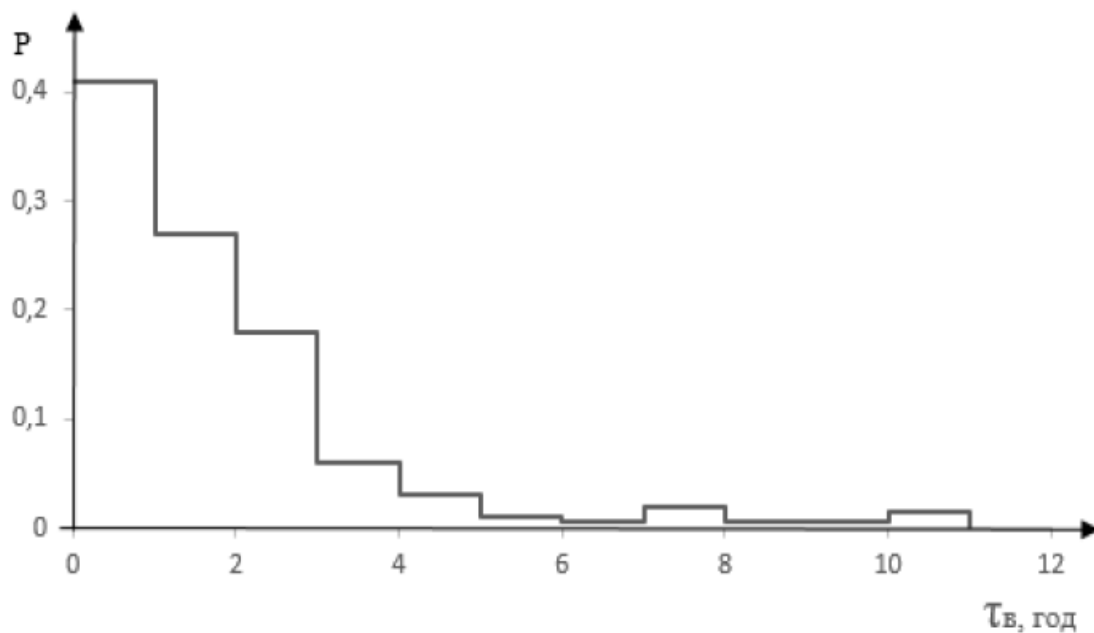
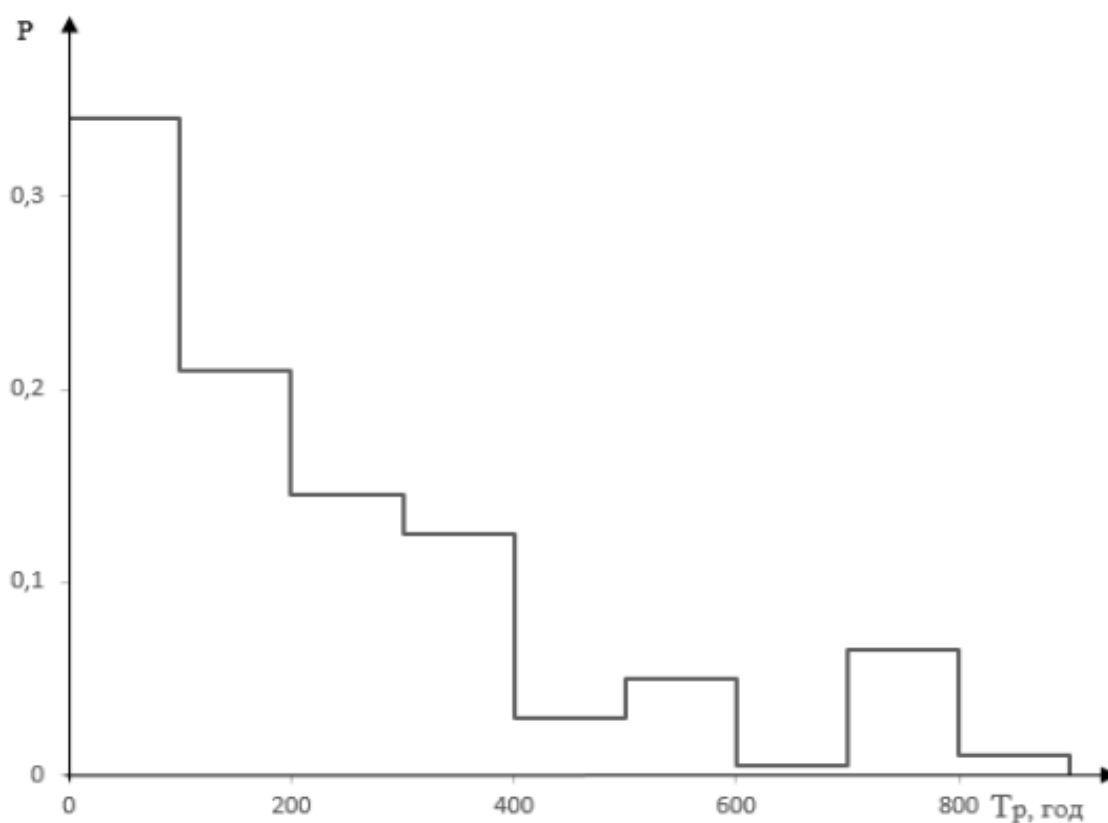
Рисунок 3 – Гістограма розподілу τ_v 

Рисунок 4 - Гістограма розподілу тривалості знаходження КЛ в неробочому стані

Для проведення моделювання методом Монте-Карло потрібно також знати закон розподілу, якому підпорядковуються вихідні дані. Тому перевіряється згода з декількома теоретичними законами розподілу: нормальним, рівномірним, експоненціальним та

іншими. Знання закону розподілу дає можливість суттєво підвищити достовірність оцінок. Як показали результати, майже для всіх вибірок значення критерію Пірсона виявилось найменшим у випадку опису розподілу експоненціальним законом.

Для того, щоб визначити вплив $\omega_{кл}$, τ_b на розрахункову величину недовідпуску ΔW_n , визначається число даних, при яких значення похибок δ_ω та δ_{τ_b} не перевищуватимуть заданого рівня з довірчою ймовірністю $\beta = 0,95$. Необхідне число дослідів визначалось для експоненціального закону.

Залежності граничних похибок від об'єму даних представлені в таблиці 1. Дослідження проводились, використовуючи програмний моделюючий блок для розподільних електричних мереж 6-10 кВ з петлевою схемою.

Таблиця 1 - Ймовірні похибки визначення МО вихідних показників надійності з $\beta = 0,95$

| N | 20 | 40 | 100 | 400 | 1000 |
|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|
| $\delta_\omega, \delta_{\tau_b}$ | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,05 |

Отримвані залежності впливу факторів можуть використовуватися для визначення об'єму інформації, що необхідна для оцінки ΔW_n з заданою точністю. Також вони можуть бути використані при вирішенні зворотної задачі – маючи об'єм статистичних даних, визначити можливу похибку розрахунку. Як видно, похибка суттєво залежить від об'єму даних. Для прикладу, при N=100 імовірна похибка перебільшує 35%, а при N = 1000 помилка не буде перевищувати 15% з $\beta = 0,95$. Значення N = 400 можна прийняти за граничне, оскільки при подальшому збільшенні об'єму статистичної інформації підвищення точності розрахунків є не таким відчутним.

Для перевірки виборок на однорідність використовується критерій Смірнова[9]. Процес визначення однорідності виборок досить трудомісткий у випадках з великою кількістю виборок і великими об'ємами, оскільки треба виконувати суттєву кількість графічних побудов та обчислень. Реалізовано програму перевірки виборок на однорідність. Програма оцінює однорідність виборок для наявних статистичних даних. Для виконання розрахунків необхідно задати ознаку типу даних, кількість даних у кожній вибірці, а також відповідні послідовності значень параметрів, що розглядаються.

По завершенню розрахунків виводиться наступна інформація:

а) виведення висновку про однорідність (або неоднорідність) виборок;

б) значення $D_{m,n}^+, D_{m,n}^-, D_{m,n}(Q)$;

в) деякі відомості про вихідні дані і проміжні результати розрахунку.

Якщо вибірки для даного рівня значущості неоднорідні, то виконується розрахунок для наступних значень рівня значущості Q, оцінюючи ймовірність того, що вірна гіпотеза була неприйнята помилково.

Коли ж вибірки однорідні, то об'єднуючи їх підвищується достовірність розрахунків. Окрім можливості уточнення оцінки ймовірного недовідпуску електроенергії про відносну незмінність умов експлуатації і при виконанні детального аналізу можна визначити можливі методи зменшення даного показника шляхом підвищення ефективності роботи ремонтного та оперативного персоналу а також узгодженням дій з організаціями. При неоднорідності даних робляться висновки щодо невідповідності змін пошкоджуваності елементів району, який розглядається, а також є можливість отримання висновків про направленість змін і завдяки цьому також підвищити точність прогнозу.

У розрахунках за допомогою обчислювальної техніки іноді зручно користуватися аналітичними виразами, які характеризують розподіл відмов у часі. Для об'єднаних вибірок опис поліномами третього ступеня залежностей $P_{\text{доб}}(t_{\text{доб}}), P_{\text{сез}}(t_{\text{сез}})$ має вигляд:

$$P_{\text{доб}}(t_{\text{доб}}) = (-0,072t_{\text{доб}}^3 + 1,83t_{\text{доб}}^2 + 3,53t_{\text{доб}} + 26,4) \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

$$P_{\text{сез}}(t_{\text{сез}}) = (0,172t_{\text{сез}}^3 - 4,66t_{\text{сез}}^2 + 35,8t_{\text{сез}} + 16,1) \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

На рисунках 5 та 6 побудовані відповідні криві, які описуються отриманими аналітичними виразами.

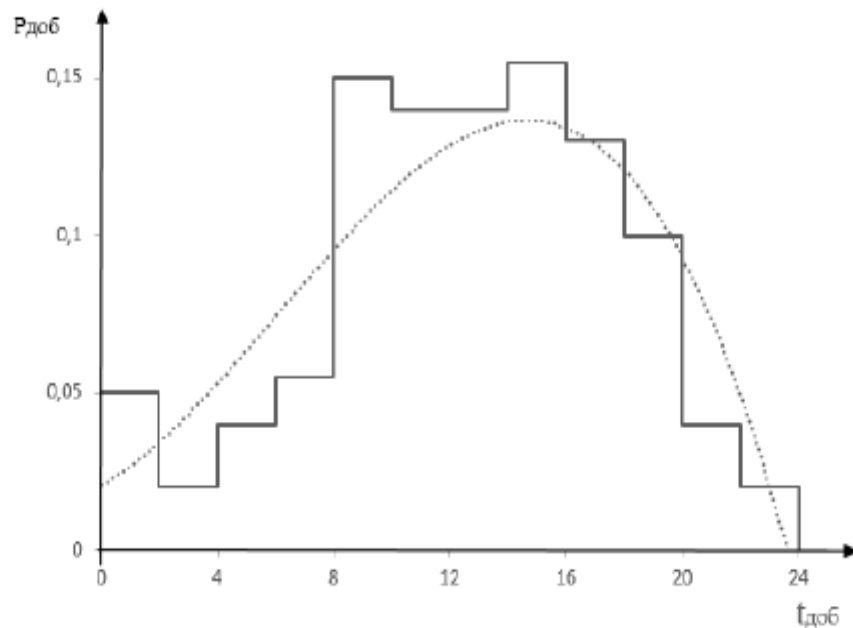


Рисунок 5 - Опис статистичного розподілу $P_{\text{доб}}$ поліномом третього ступеня

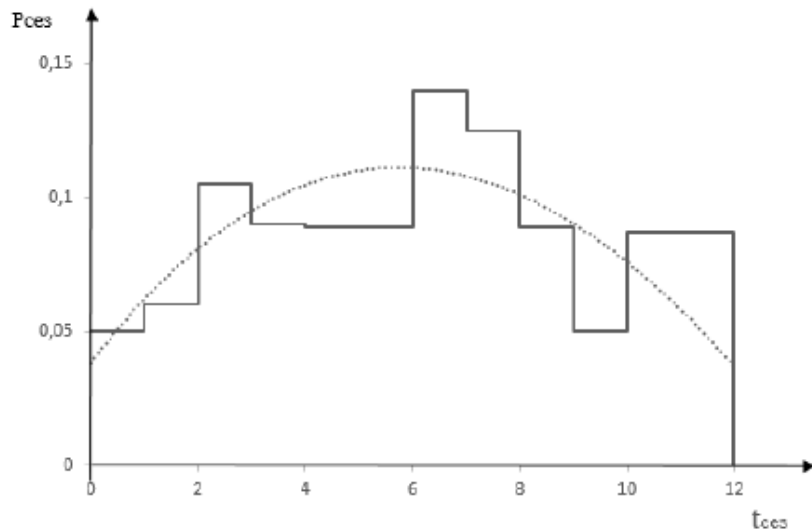


Рисунок 6 - Опис статистичного розподілу $P_{\text{доб}}$ поліномом третього ступеня.

Якщо розрахунки покажуть, що розбіжності між дійсними розподілами і отриманими кривими можуть вважатися випадковими, це дозволить застосовувати останні в практичних розрахунках.

Також, для підвищення точності розрахунків застосовувалось згладжування за допомогою лінії тренду[10]. Це можливо при використанні програмного пакету Microsoft Excel. У роботі використовується згладжування за допомогою полінома другого та третього ступеню та експоненціальне згладжування. Щоб обрати той чи інший тип лінії тренду, на існуючих гістограмах розподілу обирається команда «Додати лінію тренду», після чого з'являється додаткове вікно з переліком можливих типів наближення. Також є можливість виводу на екран рівняння, що описує аналітичну залежність статистичного розподілу і значення точності виконаної апроксимації. Приклади згладжування наведені на рисунках 7 та 8.

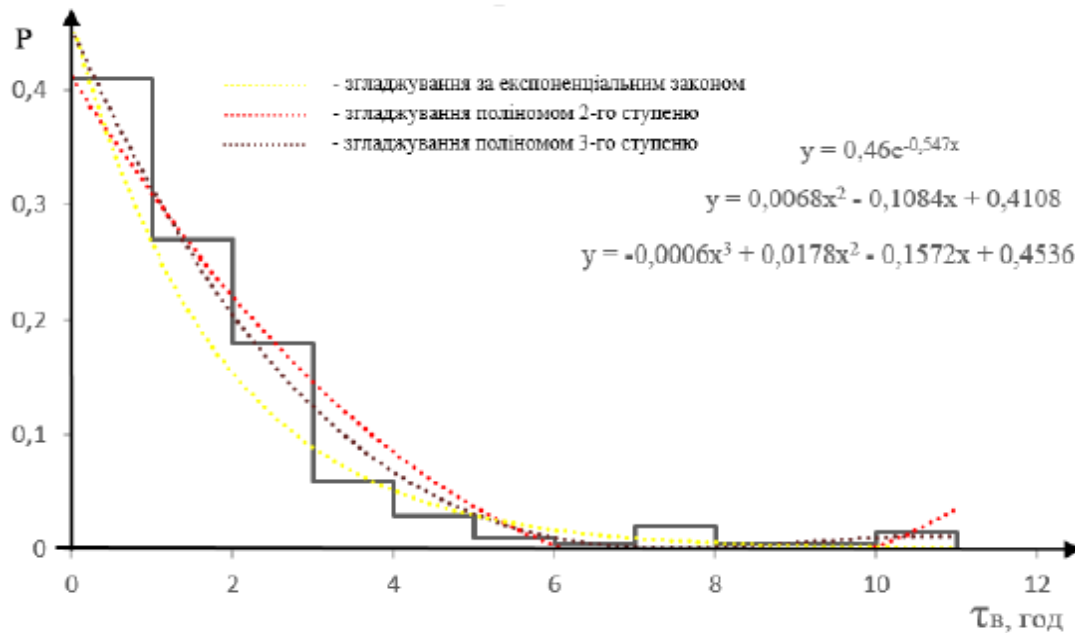


Рисунок 7 – Згладжування гістограми розподілу τ_6

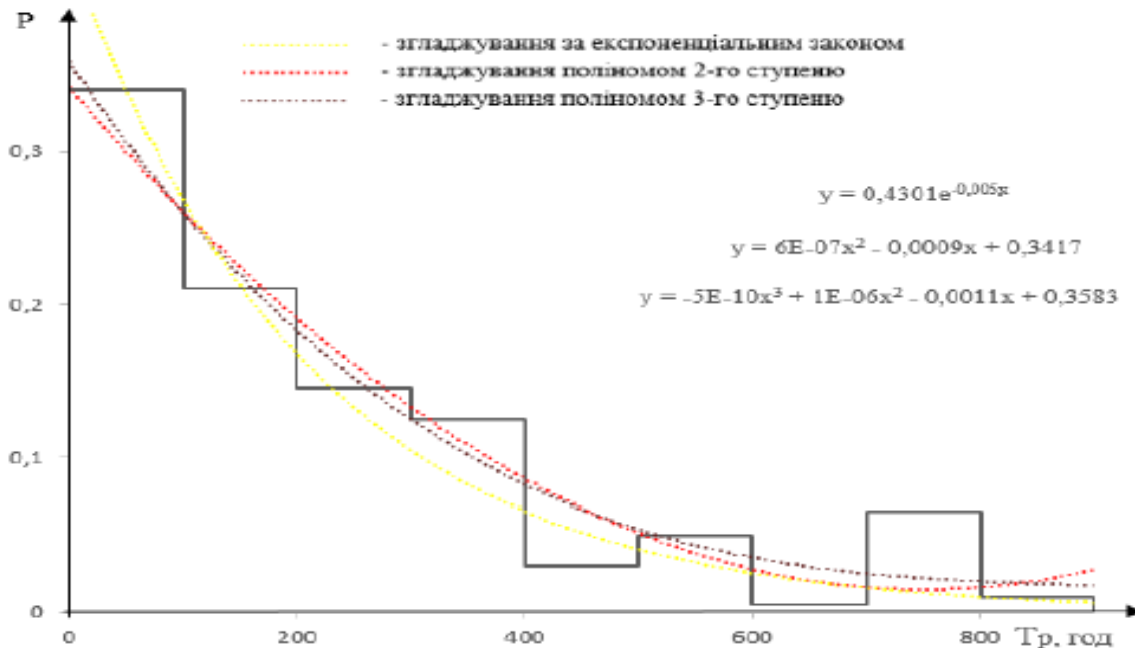


Рисунок 8 – Згладжування гістограми розподілу тривалості знаходження пошкоджених мережевих КЛ у неробочому стані

Для кожного статистичного розподілу отримано аналітичний вираз опису кривої згладжування, що визначає відповідну розрахункову модель для проведення оцінювання та оптимізації. Розбіжностями між дійсними розподілами і отриманими кривими можна нехтувати, що припустимо для застосування в практичних розрахунках.

При розрахунку збитків через порушення електропостачання важливим елементом є значення питомого збитку. У роботі Непомнящого В.А.[6], в результаті вивчення технологічних схем виробництва продукції і наслідків перерв електропостачання підприємств і окремих цехів були виявлені структури збитків і їх залежність від ступеня обмеження навантаження підприємств.

Відповідно до [6] економічний збиток споживачам визначається наступними факторами:

- пошкодженням основного устаткування, поломкою інструментів;
- розладом технологічного процесу, браком і псуванням сировини і готової продукції, зниженням її якості;
- простоем або недовикористанням робочої сили під час перерв електропостачання;
- недовиробітком або несвоечасним виробленням продукції;
- додатковими експлуатаційними витратами через зміни режиму роботи підприємства в зв'язку з перенесенням виробництва продукції на інші періоди часу;
- недовикористанням основних виробничих фондів споживачів, непродуктивними витратами різних видів енергії;
- зниженням прибутку через недовипуск продукції та всіх видів додаткових витрат, зумовлених порушенням електропостачання.

Економічний збиток енергопостачальним організаціям включає в себе:

- економічні втрати загального характеру - витрати на позапланові ремонти або заміну пошкодженого генеруючого і електромережевого обладнання; недовикористання основних виробничих фондів і виробничого персоналу в випадках непоправною недовиробітку електроенергії і її передачі споживачам;
- економічні втрати генеруючих компаній – вартість додаткової витрати палива на електростанціях через неоптимальний післяаварійний режим їх роботи;
- економічні втрати електромережних компаній – вартість додаткових витрат електроенергії в мережах в періоди відновлення пошкодженого обладнання.

Значення питомих збитків через порушення електропостачання промислових підприємств визначалися для чотирьох видів обмежень їх навантажень: аварійних (або раптових) обмежень від 0,083 год (5 хв) до 3 год і більше; обмежень з попередженням споживачів протягом доби; планових обмежень навантажень споживачів з попередженням за добу і більше, а також для обмежень, обумовлених тривалим дефіцитом електроенергії і генеруючої потужності в енергосистемі.

Кількісні значення питомих збитків через порушення електропостачання представлені у таблиці 2. Для прикладу наведені значення для основних галузей економіки і окремих видів промислових виробництв.

Таблиця 2 - Кількісні значення питомих збитків через порушення електропостачання для основних галузей економіки при повному їх відключенні, дол/(кВт*год)

| Галузь економіки | Види обмежень споживачів | | | |
|----------------------|--------------------------|--------------|-----------------|-------------------------|
| | Аварійні з тривалістю | | З попередженням | |
| | До 3 год | Більше 3 год | В межах 1 доби | Більше 1 доби (планові) |
| Чорна металургія | 1,48 | 0,98 | 0,62 | 0,35 |
| Кольорова металургія | 0,42 | 0,39 | 0,18 | 0,15 |

Продовження таблиці 2

| Галузь економіки | Види обмежень споживачів | | | |
|---------------------------------------|--------------------------|--------------|-----------------|-------------------------|
| | Аварійні з тривалістю | | З попередженням | |
| | До 3 год | Більше 3 год | В межах 1 доби | Більше 1 доби (планові) |
| Деревообробна промисловість | 0,50 | 0,33 | 0,33 | 0,28 |
| Текстильна промисловість | 1,08 | 0,43 | 0,21 | 0,18 |
| Харчова промисловість | 4,77 | 3,01 | 1,77 | 0,75 |
| Легка промисловість | 0,12 | 0,09 | 0,09 | 0,08 |
| Транспорт (електрифікована залізниця) | - | 0,29 | 0,56 | - |
| Будівництво | 0,68 | 0,54 | 0,51 | 0,50 |
| Житлово-комунальний сектор | 4,36 | 18,45 | - | - |

Значення питомого збитку споживачам через тривалий дефіцит електроенергії для різних галузей економіки представлені в таблиці 3.

Таблиця 3 - Значення питомого збитку споживачам через тривалий дефіцит електроенергії, дол/(кВт*год)

| Галузь економіки | Питомий збиток, дол/(кВт*год) |
|-----------------------------|----------------------------------|
| Видобуток вугля | 0,552 |
| Видобуток нафти | 1,347 |
| Переробка нафти | 1,249 |
| Металургія | 0,269 |
| Хімія та нафтохімія | 0,06-0,102 |
| Деревообробна промисловість | 1,189 |
| Легка промисловість | 0,302 |
| Машинобудування | 1,543 |
| Харчова промисловість | 2,715 |
| Інші галузі промисловості | 0,021-0,026 |
| Будівництво | 4,112 |
| Транспорт | 1,651 |
| Сільське господарство | 0,633 |
| Промисловість будматеріалів | 0,522 |

Висновки.

При розрахунках та оптимізації показників надійності СЕП слід враховувати наступне:

1. Дослідження слід проводити в кожному разі з ретельним аналізом впливових факторів. Неприпустимо переносити автоматично результати досліджень однієї мережі на схожі інші і навіть, без перевірки на однорідність, без аналізу трендів – об'єднувати дані для різних років однієї мережі.

2. Необхідно проводити комплексне дослідження впливу похибок вихідної інформації на результати розрахунку і оптимізації режимів систем електропостачання міст.

3. Бажано уточнювати закони розподілу і відповідні їм числові характеристики похибок параметрів схем заміщення елементів розподільних мереж, розрахункових навантажень ТП, показників надійності елементів мереж, які будуть використані для оцінки похибок розрахунків.

4. Пропонується методика підвищення достовірності розрахунків очікуваного недовідпуску електроенергії споживачам шляхом об'єднання вибірок після проведення

аналізу їх на однорідність, застосування розрахункових моделей, що враховують нестационарність розподілу відмов.

5. Для статистичних виборок можливо отримувати аналітичний вираз опису кривої згладжування, що дозволяє формувати спрощену розрахункову модель оцінювання та оптимізації надійності систем електропостачання.

6. При вирішенні задач прийняття рішень з урахуванням надійності та визначенням можливих збитків споживачів та підприємств електричних мереж від недовідпуску електроенергії, слід обов'язково використовувати добові погодинні графіки електричних навантажень та добові графіки розподілу пошкоджень, що має зменшити імовірні похибки.

Перелік використаних джерел:

1. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення : Видання офіційне. – Київ : Держстандарт України, 1995. – 92 с.
2. ДСТУ 2862-94. Методи розрахунку показників надійності техніки. Загальні вимоги : Видання офіційне. – Київ : Держстандарт України, 1995. – 38 с
3. Черненко Ю.В. Исследование методов оценки показателей надежности систем электроснабжения: диссертация на соискание степени магистра:/Черненко Ю.В.– Тольятти, 2019. – 90 с.
4. Сидоров А.И., Таваров С.Ш., Маджидов Г.Х. Уровень показателей надежности элементов распределительной сети г. Душанбе//Международный научно-исследовательский журнал - № 12 (66) - Часть 5 – Декабрь. – С. 143-148.
5. Шеметов А. Н. Надежность электроснабжения: учебное пособие для студентов специальности 140211 «Электроснабжение» / А. Н. Шеметов. – Магнитогорск : ГОУ ВПО «МГТУ им. Г. И. Носова», 2006. 149 с.
6. Непомнящий В.А. Экономические потери от нарушений электроснабжения потребителей. — М.: Издательский дом МЭИ, 2010. — 188 с.
7. Зорин В.В. Кількісна оцінка та оптимізація рівня надійності в складних розподільних мережах / В.В. Зорин, И.В. Недин, В.В. Тисленко // Оптимізація режимів роботи розподільних електричних мереж з допомогою ЕЦОМ. – Київ: Вид. РЕЕТП, 1972. – С. 7.
8. Федосенко Н.Н. Исследование информационной модели режимов систем электроснабжения городов с разработкой методов повышения достоверности информации и расчетов / Н.Н. Федосенко. – Киев. – 1980.
9. Орлов А.И. О проверке однородности двух независимых выборок // Заводская лаборатория. – 2003. – Т.69. №.1. – С.55-60.
10. Лук'янова В.В. Комп'ютерний аналіз даних : [посібник] / В.В. Лук'янова. – К. : Видавничий центр «Академія», 2003. – 344 с.

Максименко А.М.
Кафедра електропостачання

ЗАСТОСУВАННЯ ЙМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ БАЛАНСІВ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ВИРОБНИЧИХ ОБ'ЄКТАХ

Анотація. Доповідь складається з 5 сторінок тексту. В тексті наведено 2 Деякі українські дослідники вважають, що методи, які використовуються на підприємствах для розрахунку статей електробалансу не досить чітко відображають його складові. У статті представлені деякі методи для збільшення точності розрахунків. Ці методи ґрунтуються на ймовірнісно-статистичному методі та методі експертний оцінок.

Ключові слова: електробаланс, споживання, ймовірнісно-статистичний підхід, метод експертних оцінок.

The report on “Application of Probabilistic and Statistical Methods to Build Balance of Electricity Consumption at Production Facilities” consists of 5 pages of text. The text contains 2 illustrations and 6 references to sources. Some Ukrainian researchers believe that the methods used by enterprises to calculate the balance sheet items do not clearly reflect its components. The article presents some methods for increasing the accuracy of calculations. These methods are based on the probabilistic-statistical method and the method of expert judgment.

Keywords: electric-balance, consumption, probability-statistical approach, method of expert estimation.

Вступ

Для досягнення помітних результатів в енергозбереженні у виробничих системах, виникає потреба в об'єктивному та обґрунтованому вирішенні завдань кількісної оцінки ефективності використання електроенергії для різних технологічних та виробничих завдань на об'єктах контролю та аналізу отриманих результатів. Для цього в Україні використовується система контролю, що базується на нормах питомих витратах електроенергії. Але ці норми не є достатньо обґрунтованими та об'єктивними. Тому, спираючись на такі норми, неможливо здійснювати якісне та ефективне управління з використання електричної енергії на будь-яких рівнях.

Для вирішення великої кількості важливих завдань у сфері енергозбереження необхідна об'єктивна кількісна оцінка та контроль енергоефективності[1].

Мета

Метою роботи є обґрунтувати можливість та доцільність застосування ймовірнісно - статистичних методів для побудови електробалансів котельних.

Матеріали і результати досліджень

При побудові балансів споживання електричної енергії на виробничих об'єктах на перший план виходить проблема визначення структури їх витратної частини, тобто складу та обсягів корисної витрати та втрат електроенергії.

Існує декілька традиційних методів побудови електробалансів, це - розрахунково-аналітичний, експериментальний та комбінований. Розрахунково-аналітичний метод, зважаючи на відносну простоту застосування, набув найбільшої популярності.

Зазвичай, для будь-якого виробничого об'єкта склад статей витратної частини електробалансу є відомим заздалегідь .

Крім того, однією з позитивних особливостей підприємств теплоенергетики, зокрема, котельних, на відміну від багатьох інших виробництв, є те, що для їх обладнання існують досить обґрунтовані фізичні або емпіричні залежності, які встановлюють функціональний зв'язок між обсягами споживання електричної енергії та параметрами технологічних процесів і зовнішніх умов виробництва. Такі залежності наведені у відповідних нормативно-методичних матеріалах[6]. (потрібно посперитися на літературу)

Та незважаючи навіть на такі сприятливі умови, використання розрахунково-аналітичного методу не завжди дозволяє отримати достатньо достовірні та обґрунтовані баланси споживання електроенергії.

На теперішній час одним з перспективних напрямків підвищення обґрунтованості та достовірності результатів побудови балансів споживання електричної енергії у виробництві є застосування методу ймовірно-статистичного підходу. Цей метод ґрунтується на врахуванні випадкового характеру процесів електроспоживання, технологічних та інших виробничих показників, а також, дозволяє використовувати у розрахунках нечіткі значення відповідних вихідних величин.

Перший етап побудови електробалансів котельних з застосуванням ймовірно-статистичного підходу - це проведення експертного опитування, форма шкали для опитування представлена на рисунку 1.

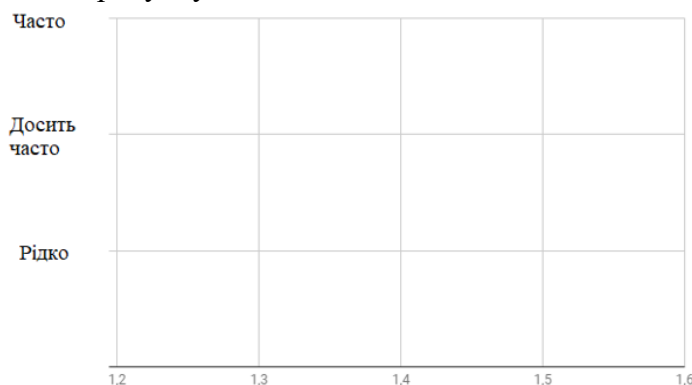


Рисунок 1 - Шкала для оцінки вірогідності появи значень кожного з факторів

За результатами опитування потрібно визначити межі інтервалів та кількість генерованих псевдореальних значень у кожному, як це зображено на рисунку 2.

Головним завданням експертного опитування є встановлення інтервалів можливих значень кожного з нечітких вихідних параметрів, які у подальшому будуть використовуватись при побудові електробалансу, а також оцінка ймовірності знаходження окремих їх значень у відповідних інтервалах.



Рисунок 2 - Оброблені результати опитування

На підставі обробки результатів експертного опитування визначаються всі можливі рівні значень кожного з нечітких вихідних параметрів, а також усереднені оцінки ймовірності того, що реальні середні величини відповідних нечітких виробничих параметрів дорівнюють тому чи іншому з можливих рівнів їх значень.

Визначення відсотка генерованих значень у діапазоні відбувається за наступною формулою:

$$p_d = \frac{\sum m_e}{n_r}; \quad (1)$$

де p_d - відсоток значень у конкретному діапазоні; m_e - оцінка експертів у конкретному діапазоні; n_r - кількість діапазонів для певного параметру.

Наступним етапом побудови електробалансів котельних з використанням ймовірнісно-статистичного підходу є формування псевдореальних статистичних даних про числові значення нечітких вихідних параметрів, необхідних для побудови електробалансів. Для цього доцільно використовувати відомий метод Монте-Карло з застосуванням численних комп'ютерних програм, зокрема пакету програм Matlab або, навіть, Excel.[4]

Генерування псевдореальних значень всіх нечітких технологічних та інших виробничих параметрів, необхідних для виконання поставлених завдань, здійснюється на основі побудованих за результатами експертного опитування полігонів частот можливої появи окремих значень цих параметрів.

Таким чином, результатом другого етапу побудови електробалансів котельних з використанням ймовірнісно-статистичного підходу є формування великих обсягів вибірок псевдореальних значень всіх нечітких виробничих параметрів, приклад на у таблиці 1. Ці значення у подальшому будуть використані для розрахунку фактичних витрат електричної енергії, як окремими видами обладнання, так і котельнею в цілому.

Таблиця 1 Генерація псевдореальних величин

| | $\alpha_{д,г}$ | $\alpha_{хп}$ | $t_{д,г}$ | $t_{хп}$ | $H_{рец}$ | $T_{осв}$ |
|-----|----------------|---------------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 1 | 1,096139 | 1,385005 | 179,3288 | 32,91897 | 14,21609 | 3,185069 |
| 2 | 1,098207 | 1,336202 | 173,3629 | 34,42756 | 11,09208 | 3,831148 |
| 3 | 1,098835 | 1,306116 | 174,5095 | 38,35897 | 12,08457 | 3,194806 |
| 4 | 1,092383 | 1,3757 | 177,9665 | 31,95361 | 14,33543 | 3,966517 |
| 5 | 1,092375 | 1,289505 | 172,1236 | 35,69465 | 11,58258 | 3,833432 |
| 6 | 1,096685 | 1,203265 | 179,0757 | 36,42896 | 12,43552 | 3,871921 |
| 7 | 1,091649 | 1,218364 | 170,0316 | 31,74834 | 13,28383 | 3,984023 |
| 8 | 1,094627 | 1,256142 | 175,0261 | 31,56572 | 14,1955 | 3,900843 |
| 9 | 1,097514 | 1,257367 | 176,6853 | 34,25502 | 12,43092 | 3,882642 |
| 10 | 1,098223 | 1,258668 | 178,381 | 30,76232 | 11,7593 | 3,146524 |
| 11 | 1,093756 | 1,369668 | 175,8708 | 32,1458 | 10,6049 | 3,354008 |
| 12 | 1,099359 | 1,211999 | 179,2294 | 39,42142 | 14,04339 | 3,719704 |
| 13 | 1,095119 | 1,34712 | 177,1371 | 30,69923 | 14,99512 | 3,692829 |
| 14 | 1,096442 | 1,348858 | 176,7616 | 36,6748 | 11,14425 | 3,282154 |
| 18 | 1,094725 | 1,216217 | 172,6688 | 31,28489 | 12,8994 | 3,573828 |
| ... | ... | ... | ... | .. | ... | ... |
| 50 | 1,097805 | 1,375421 | 171,4924 | 35,78775 | 13,59318 | 3,158098 |

У дипломній роботі для розрахунку споживання електричної енергії використовуються формули з “порядку” [6]. Розрахунок потужності, яку споживає димосос виконуються за формулою:

$$P = \frac{k \cdot V_{\partial} \cdot H_p}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_n \cdot \eta_e \cdot \eta_m}, \quad (2)$$

де k – коефіцієнт запасу, для димососів $k = 1,2$; V_{∂} – середня продуктивність димососа, м³/год; H_p – повний розрахунковий тиск димососа, кг/м²; η_n – експлуатаційний ККД на валу димососа; η_e – ККД електродвигуна; η_m – ККД, який враховує втрати в підшипниках, для димососа $\eta_m = 0,93$.

Де значення V_{∂} впливає з іншої формули:

$$V_{\partial} = \frac{b_{к.і.} \cdot Q_{к.і.} \cdot V_2 \cdot \alpha_{\partial.з.}}{k_e} \cdot \frac{273 + t_{\partial.з.}}{273} \cdot \frac{760}{h_{бар}}, \quad (3)$$

де $b_{к.і.}$ – середня витрата палива котлоагрегату, кг у.п./Гкал; $Q_{к.і.}$ – планова теплопродуктивність котлоагрегату, Гкал/год; V_2 – питомий теоретичний об’єм димових газів, що утворюються при згоранні розрахункової одиниці натурального палива, $V_2 = 10,68$ нкуб.м/н.куб.м; $\alpha_{\partial.з.}$ – коефіцієнт надлишку повітря в димових газах; k_e – тепловий еквівалент перерахування натурального палива в умовне.

Тут вже коефіцієнт $\alpha_{d,z}$ може приймати велику кількість значень, у роботі вибрано 50 значень для кожної псевдореальної величини.

Підходимо до третього етапу побудови електробалансів котельної. Це - формування розрахункових моделей її електроспоживання, мається на увазі, достатньо великої кількості псевдореальних балансів споживання електричної енергії. Формування розрахункових моделей електроспоживання - це досить складна ітеративна процедура.

Спочатку, на основі сформованих раніше вибірок псевдореальних величин нечітких технологічних параметрів, відбувається генерування можливих комбінацій їх числових значень. Враховуючи «індивідуальні» ймовірності появи окремих величин нечітких вихідних параметрів, можна розрахувати «сумарну» ймовірність появи кожної з можливих комбінацій значень всіх виробничих параметрів, необхідних для побудови балансів електроспоживання котельної.

Кожна з одержаних таким чином комбінацій псевдореальних значень нечітких виробничих параметрів - це окремий набір чітко визначених вихідних даних, за якими можна побудувати одну з можливих розрахункових моделей електроспоживання котельної.

Будь-яка модель електроспоживання, одержана в результаті застосування розрахунково-аналітичного методу, є одним з можливих варіантів витратної частини балансу споживання електроенергії на котельній.

І, нарешті, побудовані таким чином варіанти електробалансу котельної перевіряються з точки зору його правдоподібності. Правдоподібні варіанти залишаються, неправдоподібні – відкидаються.

За таким алгоритмом здійснюються подальші розрахунки побудови розрахункових моделей електроспоживання.

На останньому етапі застосування ймовірнісно-статистичного підходу до побудови балансів споживання електричної енергії на котельнях порівнюються одержані на попередньому етапі правдоподібні варіанти цих електробалансів за «сумарною» ймовірністю їх появи. Найбільш достовірним слід вважати той варіант витратної частини балансу споживання електроенергії, «сумарна» ймовірність появи якого є найбільшою.

Висновки.

Перевагою ймовірнісно-статистичного підходу є те, що він враховує випадковість характеру як обсягів електроспоживання, так і чинників, які мають на нього вплив, а також будувати достатньо достовірні електробаланси виробничих об'єктів в умовах неповноти та недостатньої чіткості вихідних даних.

Перелік посилань

1. Находов В.Ф. Контроль ефективності енерговикористання в системі енергетичного менеджменту / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, Д.О. Іванько // Журнал «Вісник КНУТД». – 2013. – №6. – С. 67-77.
2. Іванько Д.О. Оперативний контроль енергоефективності виробничих систем на основі ймовірнісно-статистичного підходу // Київ – 2017
3. Находов В.Ф. Вибір необхідного складу критеріїв адекватності математичних моделей енергоспоживання в системах оперативного контролю

енергоефективності / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, Д.О. Іванько // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2013. – № 3.

4. Находов В.Ф., Бориченко О.В. Побудова електробалансів виробничо-господарських об'єктів на основі апарату нечіткої логіки та математики // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2009. – №15.

5. Находов В.Ф. Побудова балансів споживання електроенергії виробничих об'єктів з використанням імовірно-статистичних методів/ В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, О.О. Мусатова // Енергетика: економіка, технології, екологія : наук.-техн. конф. молодих дослідників, аспірантів та магістрантів, 20–21 травня 2010 р. : тези доп.

6. Наказ №12 про затвердження Порядку розрахунку нормативних витрат електроенергії підприємствами теплоенергетики при виробництві, транспортуванні та постачанні (розподілі) теплової енергії.

УДК 620.93+621.311

В.П. Єфремов

Кафедра електропостачання
Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського
Київ, Україна

СИСТЕМА КОМБІНОВАНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ПЕРЕРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА З ВИРИСТАННЯМ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА ВЛАСНОГО ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

Досліджено розрахункові значення техніко-економічних показників когенераційної установки, оснащеної паливними елементами, для живлення яких використано біогаз власного виробництва. За моделлю життєвого циклу виконано варіантні розрахунки для співставного аналізу та обґрунтовано вигоди від впровадження енергетичного комплексу на підприємстві харчової промисловості

Ключові слова – альтернативна енергетика, біогазова установка, паливний елемент.

An estimation for technical and economic performances of a co-generation power plant equipped with Fuel Cells is presented, while the made-in biogas is used to feed the FC-batteries. benefits of the installation. Computations of the performance indices, eligible for comparative analysis, has been executed by the use of Life Cycle model and relevant benefits of the project implementation is disclosed.

Keywords - alternative energy, biogas plant, fuel cell.

Вступ.

Концепція сталого розвитку змушує знаходити інноваційні способи отримання енергії без використання традиційних видів палива і водночас задовольняючи потреби людства. Упровадження нових технологій виробництва теплової та електричної енергії (когенерації) є запорукою підвищення ефективності використання первинного палива та заощадження коштів на енерговитрати господарюючих суб'єктів. Паливні елементи, обсяг промислового виробництва яких неупинно зростає, є одним із комплексних рішень проблеми енергозабезпечення, що дозволяє низці переробних підприємств (харчової, деревообробної, інших галузей) скоротити споживання природного газу, заміщуючи цей паливний ресурс синтез-газом власного виробництва.

Синтетичні газові суміші, біогаз зокрема, може спалюватись у комірках високотемпературних паливних елементів (ПЕ) за умови його попереднього очищення. Шляхом комбінування нових та відновлюваних технологій з'являються можливості щодо якісного розв'язання проблеми утилізації токсичних відходів основного виробництва, яка постає внаслідок підвищення вимог екологічних та галузевих стандартів.

Постановка задачі та мета дослідження.

Метою дослідження є визначення передумов застосування технології паливних елементів для енергозабезпечення господарських об'єктів в умовах конкурентного ринку

енергій, що розвивається Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити низку завдань:

– вибрати раціональну конфігурацію інтегрованої системи енергозабезпечення комбінованого типу шляхом розрахунку добових показників споживання енергії технологічними дільницями підприємства;

– виконати варіантні розрахунки техніко-економічних показників виробництва електричної та теплової енергії проектною інтегрованою системою енергозабезпечення (ICE) шляхом розрахунку собівартості за моделлю життєвого циклу, з урахуванням витрат на організацію та експлуатацію;

– оцінити економічну ефективність сумісного і нарізного виробництва електричної та теплової енергії ICE шляхом співставлення варіантів – з використанням біогазу та природного газу (ПГ);

– на основі розрахунків операційного прибутку запропонувати раціональні технологічні режими функціонування з метою поліпшення показників енергоефективності господарського об'єкта протягом розрахункового періоду експлуатації запропонованої ICE когенераційного типу.

Розв'язання проблеми та результати дослідження.

Утилізація цукрового жому завжди була значною проблемою цукрової промисловості. Негативними чинниками накопичення відходів цукрового жому є: відчуження територій під їх складування. Саме тому цукровий жом необхідно максимально повно залучати в технологічний процес, прагнучи до стовідсоткового їх використання. Це особливо актуально в даний час у зв'язку з широким розвитком ресурсозберігаючих методів енергетичного виробництва та природокористування. Для енергетичної незалежності даного цукрового заводу на основі ТВЕ, економічно доцільно інтегрувати в систему енергозабезпечення заводу БГУ з використанням паливних елементів на основі відходів з цукрового жому. Біогазова установка з використанням паливних елементів – це комплекс обладнання, що пов'язане між собою гідравлічними, механічними, електричними та інформаційними зв'язками. На сьогоднішній день управління виробленням біогазу повинно бути максимально комп'ютеризованим та автоматизованим для забезпечення максимального ККД [30]. Досягти високої продуктивності даної установки можливо за допомоги комплексного поєднання всіх сучасних інноваційних рішень. На рисунку зображена функційна схема БГУ з використанням паливних елементів.

Огляд принципу дії даної БГУ [1]. Згідно з технологічною схемою, КГУ працює таким чином: із накопиченням в резервуарі 1 (рис. 1) органічних відходів, вони фекальним насосом 3 через теплообмінник 2 відкачуються в трубопровід і подаються у верхню частину реактора 5. В реакторі 5 суміш перемішується і зволожується до необхідної концентрації сухої речовини. В процесі транспортування відпрацьований субстрат і свіжа органічна маса обмінюються теплом в теплообміннику 3.

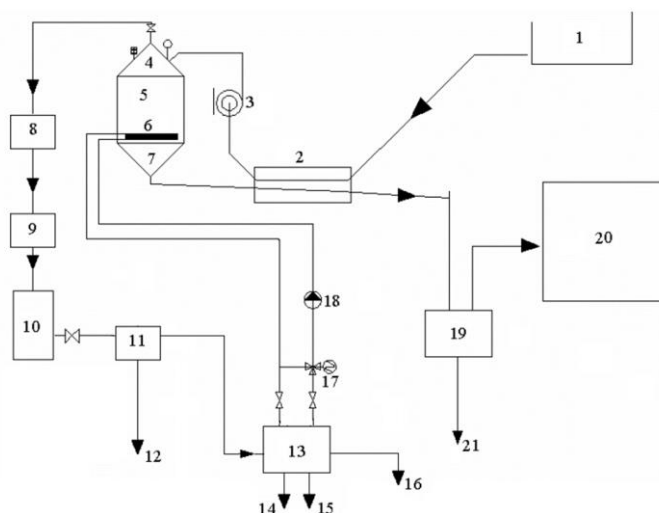


Рисунок 1 – Узагальнена функційна схема БГУ

виробляється з органічних відходів в реакторі, підіймається і забирається установкою для збору біогазу, яка розміщена в верхній кришці 4 реактора. Після чого біогаз проходить мокрий процес 8 та сухий процес 9 для видалення сірки та інших шкідливих сполук з біогазу. Очищений біогаз потрапляє в газольдер 10, після чого через клапан потрапляє в пункт розподілу біогазу 11. З пункту розподілу біогаз йде на MCFC-технологічну установку 13, а надлишковий біогаз, через трубопровід 12 йде на продаж. В MCFC-технологічній установці в результаті хімічних реакцій відбувається перетворення біогазу на електроенергію, яка йде на потреби БГУ та цукробурякового заводу 14, а надлишкова електроенергія йде на продаж в мережу 15. З MCFC-технологічної установки, вироблене тепло надходить через трубопровід 16 на потреби цукрового заводу, а також через сервопривід з триходовим клапаном 17 та циркуляційний насос 18 йде на теплообмінник 6. Відпрацьований шлам з реактору через теплообмінник 2 надходить до розділювача фаз відпрацьованого шламу 19, де суха частина шламу відправляється на поле для висушування 20, а рідка частина через трубопровід 21 транспортується на полив.

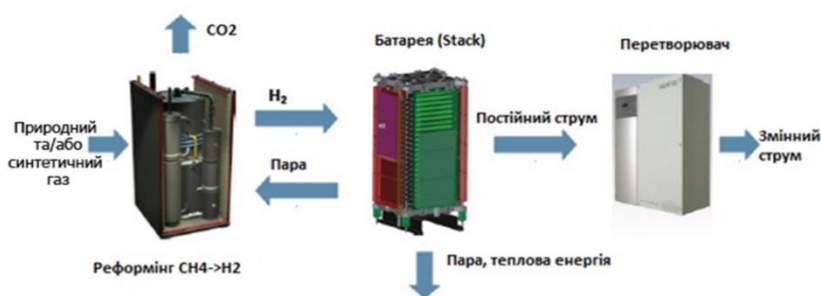


Рисунок 2 – Принцип дії карбонатно-розплавного ПЕ (MCFC)

Розробники фокусують зусилля на вдосконалення технологій ПЕ з твердополімерним електролітом та MCFC карбонатно-розплавним ПЕ. лідерами щодо успішного впровадження ПЕ у якості стаціонарних мікро-когенераційних блоків. Принцип дії такої когенераційної установки представлений на рис.2.

Завдяки цьому відпрацьований шлам втрачає тепло, а свіжа маса нагрівається. Підігрів субстрату здійснює теплообмінник 6, що знаходиться в реакторі 5. Регуляція потужності теплообмінника виконується за допомогою змішувальної установки, до якої входить триходовий клапан з сервоприводом 18 та циркуляційний насос 19. Температура біогазу та його тиск контролюються манометром і термометром, що розміщені в кришці 4 реактора. Біогаз, який

Згідно з матеріалами останніх аналітичних досліджень ринку застосувань паливних елементів, галузь промислового виробництва цих нетрадиційних джерел енергопостачання знаходиться у початковій стадії формування.

Біогаз подається на проектну установку, де він розкладається на вуглекислий газ та водень. Вуглекислий газ відводиться, а водень потрапляє до батареї, де в результаті хімічних реакції йде перетворення на теплову і електричну енергію.

Аналіз співставних результатів. На рисунку 3 позначено: LCOE – нормована собівартість електричної енергії, Грн/кВт·год когенерації та нарізному виробництві електроенергії, а також

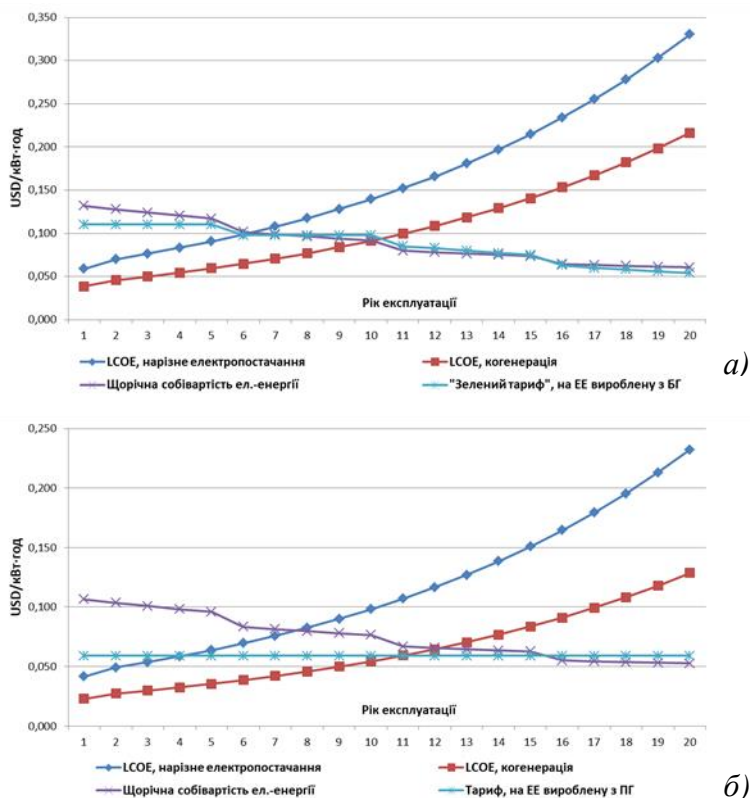


Рисунок 3 – Економічні показники за умови використання: а) біогазу як первинного палива; б) ПГ як первинного палива

також співставлення собівартості електроенергії та продажу електроенергії по тарифам у разі використання а) ПГ та б) біогазу як первинного палива відповідно по рокам життєвого циклу [2]. За умови когенерації нормована ціна вироблення електричної енергії є значно нижчою ніж у разі нарізного виробництва електроенергії. використання біогазу є більш привабливим з економічної точки зору [3].

Хоча собівартість електроенергії за умови використанні біогазу дорожча, ніж за умови використанні ПГ, але «зелений тариф» [4] значно вигідніший і більший собівартості, що позитивно впливає як на дохід від використання біогаз, так і на

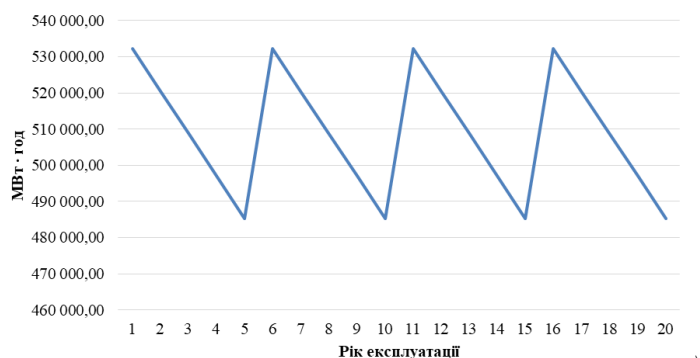
термін окупності даної установки.

Таблиця 1 – Результати співставного аналізу технологій на основі використання біогазу та природного газу як палива для ПЕ

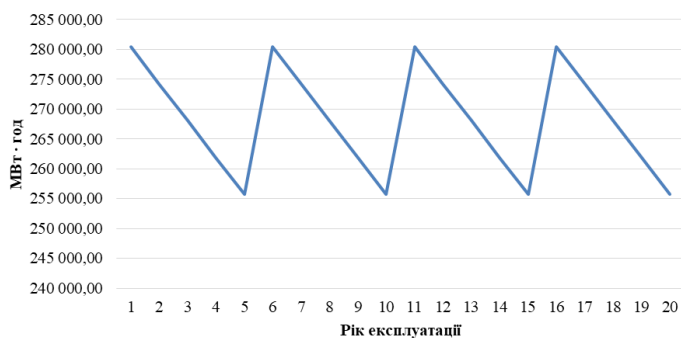
| Найменування показника | Технологія на основі біогазу | Технологія на основі ПГ |
|---|------------------------------|-------------------------|
| Потужність КГУ, МВт | 67,5 | 51,5 |
| Споживання газу, м ³ /год | 14 400 | 10 990 |
| Споживана електрична потужність підприємства, МВт·год/рік | 39 550 | 39 550 |
| Генерована електрична потужність в 1-ий рік, МВт·год/рік | 532 170 | 442 900 |
| Споживана теплова потужність підприємства, МВт·год/рік | 328 280 | 328 280 |

| | | |
|--|---------|---------|
| Генерована теплова потужність в 1-ий рік, МВт·год/рік | 280 410 | 357 175 |
| Річна потреба газу, тис м ³ /рік | 126 435 | 96 275 |
| Річний обсяг виробленого газу, тис м ³ /рік | 126 435 | — |
| Річний обсяг нестачі теплової енергії, МВт·год/рік | 35 380 | — |
| Річний обсяг надлишкової електроенергії, МВт·год/рік | 492 615 | 403 345 |

В таблиці 1 наведено результати співставного аналізу технологій на основі використання біогазу та природного газу як палива для ПЕ. Технологія на основі ПГ за меншої потужності установки і відносно меншому споживанні ПГ виробляє більший обсяг теплової енергії, ніж технологія на основі біогазу. Але витрати на постачання ПГ для спалювання в ПЕ, а також низький тариф на продаж надлишкової електроенергії знижує її конкурентоспроможність порівняно з технологією на основі біогазу. Слід зауважити, що біогаз виробляється з цукрового жому, обсяг якого становить 750 тис т/рік.



а)



б)

Рисунок 4 – Річний обсяг виробленої енергії: а) електричної; б) теплової

На рисунку 4 зображено щорічний обсяг вироблення а) електричної та б) теплової енергії протягом життєвого циклу установки на основі біогазу. Такий вигляд графіків зумовлений тим, що продуктивність ПЕ у часі – знижується, відтак їх доводиться періодично замінювати (кожні 5 років). Слід зауважити, що потужність КГУ на основі ПЕ ґрунтується на обсягу виробленого біогазу. Числовий проміжок у 20 років було взято через те, що саме через такий проміжок часу експлуатації КГУ доведеться замінювати багато технологічного обладнання, такого як випрямляч, реактор, трубопровід, насоси.

Висновок. На основі наявних даних про техніко-

економічні показники енергетичного обладнання сучасного технологічного рівня, в роботі запропоновано здійснити реконструкцію інтегрованої системи енергопостачання цукрового заводу з використанням доступної енергетичної сировини – цукрового жому. Проектом реконструкції передбачається часткове заміщення існуючого енергетичного обладнання на сучасну технологію виробництва БГ з його подальшим спалюванням у комірках паливних елементів.

З метою удосконалення системи енергопостачання цукрового заводу, виконано обґрунтування доцільності побудови КГУ на основі паливних елементів (ПЕ) – шляхом

аналізу економічної вигоди від експлуатації нових джерел енергії за економічних умов в Україні, визначеної в реальних грошових одиницях через розрахунки кумулятивних дисконтованих грошових потоків.

Запропоновано проєкт високоефективної КГУ потужністю 67,5 МВт з використанням промислових ПЕ. Варіантні розрахунки техніко-економічних показників виконано із застосування детермінованої економіко-математичної моделі життєвого циклу з урахуванням паливної компоненти.

Використання біогазу на рівні промисловості дозволить скоротити споживання ПГ як дорогого паливно-енергетичного ресурсу, дефіцит котрого добре помітний останнім часом в Україні.

Список використаних джерел

1. Енергозберігаючі відновлювані джерела тепlopостачання: навчальний посібник / Г. С. Ратушняк, В. В. Дзеджула, К. В. Анохіна – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 170 с.

2. Костюк В.О., Близнюк Є.В. Економічна оцінка перспективи використання паливних елементів для енергопостачання локального об'єкта // Збірник тез доповідей II міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференція «енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS'15» – 2015 – С.55–57.

3. Шульженко С.В., Денисов В.А. Конкурентоспроможність паливних елементів відносно традиційних технологій виробництва електричної та теплової енергії// Проблеми загальної енергетики. – 2014. – №3(38). – С.29–35.

4. Закон України Про ринок електричної енергії» Офіц. Текст зі змінами станом на 21.05.2019 — Режим доступу: zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019–19.

References

1. Energy Saving Renewable Heat Sources: A Tutorial / G.S. Ratushniak, V.V. Dzhezhula, K. V. Anokhina - Vinnytsia: VNTU, 2010. – 170 p.

2. Kostyuk V.O., Bliznyuk E.V. Economic Evaluation of the Prospects of Using Fuel Cells for Energy Supply of a Local Facility // Proceedings of the II International Scientific and Technical Training Conference “Energy Management: State and Prospects for Development – PEMS'15” - 2015 - P.55-57.

3. Shulzhenko S.V., Denisov V.A. Competitiveness of fuel cells in relation to traditional technologies of electricity and heat production // Problems of general energy. – 2014. – №3 (38). – P.29–35.

4. Law of Ukraine on Electricity Market » Official. Text with changes as of 21.05.2019 – Access mode: zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019–19.

УДК 621.3

Сущенко О.Є., магістр

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ОСББ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ (ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЛУЗОД)

***Анотація.** У статті показано використання функціональних можливостей автоматизованих систем обліку електроенергії та застосування єдиної системи для вирішення комплексу завдань контролю, обліку і управління енерговикористанням споживачів житлового будинку, що входять до ОСББ та підвищення ефективності їхнього споживання електроенергії.*

***Ключові слова:** локальне устаткування збору та обробки даних (ЛУЗОД), автоматизовані системи комерційного обліку електричної енергії (АСКОЕ), енергоспоживання, об'єднання співвласників багатоквартирного будинку (ОСББ), паливно-енергетичні ресурси (ПЕР).*

***Annotation.** The article shows the use of the functionality of automated electricity metering systems and the use of a unified system for solving the complex problems of control, accounting and management of energy consumption of residential buildings that are part of condominiums and increase the efficiency of their electricity consumption.*

***Key words:** local facilities for collecting and processing data, automated commercial electricity metering, energy consumption, association of co-owners of apartment building, fuel and energy resources.*

Вступ. Встановлення приладів обліку є важливим етапом покращення достовірності процесу обліку ПЕР. Але прилади обліку, розповсюджені по місцево, не дають можливості вести запис та опитування поточних показників і тим самим вести контроль роботи, забезпечити одночасне зчитування показників і проводити обробку отриманих даних.

В наслідок цього, стає актуальною реалізація системи, яка б створила умови для об'єднання в локальні вузли обліку, щоб створити єдиний вимірювально-інформаційний простір для одноразового, безперервного, автоматичного контролю над технологічними процесами вироблення, транспортування та споживання енергоресурсів, а також організації комерційних розрахунків між споживачами і енергопередавальними організаціями.

ЛУЗОД повинна являти собою комплекс технічних, математичних, алгоритмічних і програмних методів і засобів, призначених для комерційного обліку електричної енергії спожитої житловим багатоквартирним будинком. Таким чином автоматизується процес збору (реєстрації), обробки, збереження та передачі даних комерційного обліку електроенергії.

ЛУЗОД створюється для досягнення наступних цілей. Забезпечення комерційного обліку активної електричної енергії та інтегрованої в часі реактивної потужності в кожній точці обліку у відповідності до Правил оптового ринку, інструкції про порядок комерційного обліку електроенергії та Правил користування електричною енергією.

Побудови фактичних добових графіків навантаження під час обліку електроенергії за Правилами оптового ринку.

Забезпечення комерційного обліку електричної енергії на базі сучасних автоматизованих вимірювально-інформаційних систем (ВІС).

Автоматизації процесу збирання (реєстрації), оброблення, збереження, передавання, відтворення та документування даних комерційного обліку електроенергії житловим багатоквартирним будинком.

Передавання до АСКОЕ споживачів електропередавальної організації за запитом даних комерційного обліку за допомогою міжнародного протоколу.

Забезпечення енергозбереження та підвищення ефективності використання ПЕР шляхом достовірного обліку електроспоживання житловим багатоквартирним будинком.

Впровадження ЛУЗОД дозволить досягти наступних результатів:

Підвищення достовірності обліку електроенергії шляхом автоматизованого формування фактичних добових графіків навантаження.

Автоматизації процесу комерційного обліку електроенергії на межі житлового багатоквартирного будинку із електропередавальною компанією - ПРТ на основі оперативної і достовірної інформації, що надається ЛУЗОД.

Автоматизації процесу передавання даних про об'єми споживання електричної енергії до АСКОЕ споживачів електропередавальної організації за запитом даних комерційного обліку за допомогою міжнародного протоколу.

Система ЛУЗОД виконує наступні функції:

- автоматичне вимірювання параметрів електроенергії в точках обліку;
- автоматичний збір інформації від первинних приладів комерційного обліку електроенергії та збереження її в пам'яті комунікаційного модуля;
- автоматичне передавання комерційної інформації в сервери АСКОЕ споживачів електропередавальної організації;
- автоматичне передавання некомерційної інформації від лічильників та комунікаційних модулів;
- синхронізація часу в системі з серверами АСКОЕ електропередавальної організації;
- автоматичну діагностику стану технічних засобів і каналів зв'язку системи.

Функціонування системи. Режим роботи локальної автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії цілодобовий безперервний.

Лічильники постійно вимірюють величини споживання електроенергії електроустановками житлового багатоквартирного будинку, зберігають їх в своїй первинній базі даних та забезпечують модулю доступ до результатів вимірювання через цифровий послідовний інтерфейс PLC лічильників.

За заданим регламентом модем періодично встановлює GPRS з'єднання з мережею оператора мобільного зв'язку, отримує запити інформації від сервера АСКОЕ та у відповідь на них передає серверу інформацію, зібрану від лічильника, після чого розриває GPRS з'єднання.

Вимоги безпеки. Роботи з впровадження ЛУЗОД повинен виконувати персонал, який щорічно проходить перевірку знань з техніки безпеки.

Під час виконання монтажу і пуско-налагоджувальних робіт необхідно суворо дотримуватись всіх вимог, щодо техніки безпеки, які викладено в інструкціях з експлуатації технічних засобів ЛУЗОД, а також вимог, які встановлено Правилами улаштування електроустановок (в подальшому ПУЕ), Правилами технічної експлуатації

електричних станцій і мереж (в подальшому - ПБЕЕСіМ) та Правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів (в подальшому ПБЕЕС). Під час монтажу технічних засобів ЛУЗОД слід суворо дотримуватись вимог ГОСТ 12.3.019-80 і ГОСТ 12.2.091-83.

Під час встановлення і монтажу технічних засобів ЛУЗОД слід уважно вивчити відповідні розділи інструкції з монтажу, пуску, регулюванню, обкатці і експлуатації цих технічних засобів.

Підключення технічних засобів ЛУЗОД, які вимагають заземлення, до електричної мережі без попереднього заземлення категорично забороняється. Встановлювати заземлення на технічні засоби ЛУЗОД необхідно після відключення кабелю живлення від електричної мережі і перевірення на відсутність напруги на елементах цих технічних засобів.

Якщо для резервного живлення технічних засобів ЛУЗОД використовуються пристрої, які містять акумуляторні батареї, під час їхнього використання необхідно дотримуватись вимог п.6.6 ПБЕЕС.

Роботи з монтажу електрولیчильників безпосереднього ввімкнення допускається виконувати за розпорядженням одному працівнику з групою III (ПБЕЕС).

Роботи з монтажу електрولیчильників, підключених до вимірювальних трансформаторів, повинні виконувати за нарядом зі зняттям напруги два працівники, один з яких повинен мати групу з електробезпеки не нижчу за IV, а другий групу з електробезпеки не нижчу за III (ПБЭЭС). За наявності в колах електрولیчильників контактів (блоків), що дозволяють працювати без розмикання кіл, підключених до вторинних обмоток трансформаторів струму, ці роботи можна виконувати за розпорядженням, не знімаючи напруги зі схеми електрولیчильника.

Під час ремонту технічних засобів ЛУЗОД необхідно дотримуватись запобіжних заходів:

всі маніпулювання з вузлами (перевірка ланцюгів, пайка, заміна буферних елементів джерел живлення) виконувати за умови вимкнення напруги мережі живлення; під час ввімкнення технічних засобів ЛУЗОД необхідно застерігатись доторканості до ланцюгів живлення.

Під час ремонту технічних засобів ЛУЗОД необхідно дотримуватись вимог по захисту від статичної електрики.

Опис взаємозв'язків системи ЛУЗОД. Перелік зв'язаних систем: ЛУЗОД багатоповерхових житлових будинків є складовою частиною АСКОЕ будь-якої електропередавальної організації. АСКОЕ складається з серверів, що встановлені в центральному офісі електропередавальної організації, ЛУЗОД споживачів та каналів зв'язку між ними.

Опис зв'язків: ЛУЗОД споживачів зв'язані із серверами АСКОЕ за допомогою комутованих послідовних каналів зв'язку, побудованих на GSM-модемах та мережі оператора мобільного зв'язку.

Опис регламенту зв'язку: Сервери АСКОЕ по черзі запитують інформацію в ЛУЗОД споживачів, отримують їх відповіді і заносять їх в архіви.

Монтаж технічних засобів ЛУЗОД. Під час виконання монтажних робіт необхідно дотримуватись вимог безпеки згідно чинних нормативних документів з енергобезпеки.

В ЛУЗОД багатоповерхових житлових будинків використовуються багатофункціональні електронні лічильники електроенергії, які встановлюються в шафи обліку ШО-0,4 кВ в РУ-0,4 кВ ТП.

Якщо існуючі лічильники електроенергії потребують заміни, то тип нових лічильників, які встановлюються в точці обліку, обов'язково повинні відповідати першочерговому типу лічильників і мають бути запрограмовані таким самим чином.

Монтаж лічильників виконувати згідно їх інструкції з монтажу (паспортом, інструкцією з експлуатації), якою має комплектуватись лічильник.

Монтаж кіл напруги і струму лічильника виконувати дротом перерізом, який забезпечує падіння напруги в колах напруги згідно ПУЕ та опір в колах струму згідно паспорта на ТС, але не менше 2,5 мм².

У разі встановлення лічильників на рухомих частинах комірок підстанцій для підключення кіл напруги і струму та ліній зв'язку використовувати багатожильний дріт.

Монтаж Ліній зв'язку.

Монтаж ліній зв'язку між лічильниками і адаптером, за допомогою яких здійснюється зчитування інформації з лічильників, виконувати кабелем типу S-FTP 5 4x2x0,5.

Прокладання ліній зв'язку виконувати в місцях, які захищені від впливу вологи, агресивного середовища, гризунів. Під час монтажу ліній зв'язку дотримуватись правил пожежо- і вибухобезпеки.

Місця і маршрути прокладання ліній зв'язку визначаються виконавцем монтажних робіт виходячи із діючої схеми комунікації об'єкту автоматизації. Монтаж ліній зв'язку виконувати в кабельних каналах, на естакадах і т.д. Рекомендується лінії зв'язку розміщувати в металевих рукавах або металевій плетінці типу ПМЛ, підключив її в одній точці до заземлюючого контуру. Не допускається прокладати лінії зв'язку поруч з колами управління силовими електропристроями.

З'єднання дротів під час монтажу ліній зв'язку виконувати за допомогою клемних коробок, які забезпечують можливість опломбування з'єднань та перешкоджають доступу до з'єднання без порушення цілісності пломби.

З'єднання ліній зв'язку з виводами лічильників, які розташовано на рухомих частинах комірок підстанції, виконувати багатожильними проводами ефективним перерізом не менш 1,0 мм².

Монтаж комутаційного вузла ЛУЗОД.

Монтаж пристроїв, що входять до складу комутаційного вузла ЛУЗОД, виконувати згідно їхніх інструкцій з монтажу (паспортом, інструкції з експлуатації).

Для встановлення пристрою ЛУЗОД використовувати приміщення, яке задовольняє їхнім робочим умовам застосування.

Під час монтажу пристрої ЛУЗОД встановлювати на горизонтальну поверхню або кріпити до вертикальної панелі (стіни). Припускається розміщувати пристрої ЛУЗОД в спеціальних шафах, забезпечивши в середині шаф їхні робочі умови застосування.

Монтаж кіл електроживлення.

У приміщенні, де встановлені пристрої ЛУЗОД, підготувати електрощит, до якого підвести струм напругою 220 В змінного струму від фідера, вільного від імпульсних навантажень, які можуть створюватись пусковими струмами зварювальних апаратів, двигунів або інших потужних електроустановок. Допускається підключати електрощит до мережі освітлення. Електрощитом може бути будь-який типовий щит, який розрахований на відповідну потужність та обладнаний автоматичним вимикачем.

Підключення розетки до типового електрощита рекомендується виконувати кабелем марки КРПГ, КРПТН, КРПТ, ШБВЛ або аналогічним перерізом не менш 2,5 мм².

Пристрої ЛУЗОД, які вимагають заземлення, повинні бути приєднані до заземлюючого контуру проводом перерізом не менш $4,0 \text{ мм}^2$ з електричним опором не більш $4,0 \text{ Ом}$. Ввімкнення цих пристроїв ЛУЗОД в електромережу без попереднього заземлення забороняється.

Налагодження ЛУЗОД

Пусконаладжувальні роботи виконуються у відповідності з експлуатаційною документацією на ЛУЗОД після завершення монтажних робіт.

Налагодження лічильників електроенергії.

Після монтажу лічильників електроенергії і приєднання їх до електричної мережі (безпосередньо або за допомогою вимірювальних трансформаторів) перевірити вірність підключення, вірність чергування фаз, відповідність падіння напруги в колах трансформаторів напруги вимогам ПУЕ (не більше $0,25\%$) і відповідність електричного опору в колах трансформаторів струму граничним величинам, які наведено в паспорті на трансформатор струму. Після перевірки і усунення невідповідностей лічильники можна вмикати в електричну мережу. Вони готовий до застосування.

Багатофункціональні електронні лічильники електроенергії перед використанням повинні бути запрограмовані згідно вимог електропередавальної організації. Після програмування багатофункціональні електронні лічильники електроенергії готові до застосування.

Налагодження ЛУЗОД.

GSM/GPRS-модеми , які використовуються в ЛУЗОД, перед застосуванням повинні бути запрограмовані. Програмування GSM-модемів здійснюється Виконавцем робіт.

Порядок впровадження ЛУЗОД в експлуатацію

Виконавець, після завершення Сторонами підготовчих робіт, виконує монтажні та пусконаладжувальні роботи і здає ЛУЗОД Замовнику в дослідну експлуатацію.

Замовник видає наказ про впровадження ЛУЗОД в дослідну експлуатацію. В наказі повинні бути призначені відповідальні виконавці з боку Замовника та визначені їхні обов'язки.

Термін і порядок дослідної експлуатації ЛУЗОД визначається Замовником. Мінімальний термін дослідної експлуатації ЛУЗОД - 1 місяць.

Під час дослідної експлуатації ЛУЗОД має бути проведена державна метрологічна атестація (ДМА) ЛУЗОД. Термін проведення ДМА визначається Замовником. У визначений термін Замовник за участю Виконавця подає в органи Держспоживстандарту України відповідний запит на проведення ДМА ЛУЗОД. Виконавець здійснює технічне супроводження ДМА.

По завершенню дослідної експлуатації на підставі позитивних результатів ДМА та приймальних випробувань Замовник приймає ЛУЗОД в промислову експлуатацію. Порядок приймання ЛУЗОД в промислову експлуатацію визначається Замовником.

Відповідальність за використання ЛУЗОД в цілому та її складових від моменту впровадження її в дослідну експлуатацію полягає на Замовника. Відповідальність за роботу спроможність ЛУЗОД в цілому та її складових від моменту впровадження її в дослідну експлуатацію до завершення гарантійного терміну полягає на Виконавця.

Допускається впроваджувати ЛУЗОД в дослідно-промислову експлуатацію терміном на 1 місяць. Під час дослідно-промислової експлуатації повинна бути проведена ДМА ЛУЗОД. В разі, якщо результати дослідно-промислової експлуатації та ДМА позитивні, зауважень обласної електропередавальної компанії не має, ЛУЗОД

автоматично вважається прийнятою в промислову експлуатацію, про що складається відповідний акт.

Порядок контролю і приймання системи

Створення ЛУЗОД повинно виконуватись відповідно до затвердженого календарного плану виконання робіт.

Виконання кожного етапу робіт повинно підтверджуватись відповідним документом.

Метрологічну атестацію ЛУЗОД споживачів повинна виконувати спеціалізована організація, яка має відповідну ліцензію.

Приймання системи в експлуатацію повинна виконувати відомча комісія, створена наказом Головного інженера.

Комісії повинні надаватись наступні документи:

- вимоги по безпеці засобів обчислювальної техніки, використовуваних у складі АРМ за ГОСТ 25861-83 (при наявності АРМ);
- технічне завдання;
- робочий проект;
- експлуатаційна документація на технічні засоби системи.

Відомча комісія повинна провести випробування системи, які підтвердять відповідність системи вимогам технічного завдання, робочого проекту та діючих нормативних документів. Про результати випробувань системи комісія складає відповідний акт, в якому приймається рішення про введення ЛУЗОД в промислову експлуатацію, або про неготовність ЛУЗОД до експлуатації.

Порядок експлуатації ЛУЗОД

Функціонування ЛУЗОД здійснюється в автоматичному режимі під наглядом обслуговуючого персоналу.

Експлуатацію пристроїв, засобів вимірювальної і обчислювальної техніки, які використовуються в ЛУЗОД, здійснювати згідно їхніх інструкцій з експлуатації.

За стійкістю до кліматичних та механічних впливів під час транспортування і в робочому режимі застосування блоки системи відповідають групі 3 ГОСТ 22261.

Значення величин, що впливають на роботу системи ЛУЗОД та припустимі відхилення від них в нормальних і робочих умовах застосування відповідають наведеним в табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри роботи системи ЛУЗОД

| № з/п | Величина, що впливає | Нормальні умови застосування | Робочі умови застосування |
|-------|--|------------------------------|---------------------------|
| 1 | Температура повітря, °С: Лічильники ел.ен.: GSM/GPRS | 20 ± 5 20 ± 5 | -10 - +40 +5 - +40 |
| 2 | Відносна вологість повітря, % | 30-80 | 90 |
| 3 | Атмосферний тиск: кПа (мм.рт.ст.) | 84-106 (630-795) | 84-106,7 (630-795) |
| 4 | Частота напруги, Гц | 50 ± 0,5 | 50 ± 1,0 |
| 5 | Напруга мережі змінного струму, В | 220 ± 4,4 | 220 ± 22 |
| 6 | Коефіцієнт створення кривої напруги | К _{нс} = 0% | К _{нс} ≤ 5% |

Види технічного обслуговування системи, їхня періодичність і трудомісткість повинні відповідати вказаним в табл. 2.

Таблиця 2 – Види технічного обслуговування

| № з/п | Вид технічного обслуговування | Періодичність проведення | Хто обслуговує | Середня норма часу (людино/годин) |
|-------|--|--|---|-----------------------------------|
| 1 | Планове обслуговування: | Щомісячно (протягом робочого дня, зміни) 1 раз на квартал 1 раз на рік | Черговий диспетчер (електрик) Те ж саме Те ж саме | 0,06 |
| | - Щомісячний догляд (припускається проводити за необхідністю); | | | |
| | - Щоквартальний огляд; | | | |
| | - Щорічний огляд | | | 0,12 2 |
| 2 | Позапланове обслуговування | За несправністю: - В гарантійний термін; - Після закінчення гарантійного терміну | Представник виконавця Спеціаліст підприємства | |

Технічне обслуговування пристроїв, які входять до складу ЛУЗОД, проводити у відповідності до вимог їхніх інструкцій з експлуатації.

Персонал, який допущено до експлуатації і технічного обслуговування системи, повинен мати відповідну кваліфікацію і пройти навчання в ході впровадження ЛУЗОД.

Всі блоки ЛУЗОД можуть відновлюватися та підлягають ремонту. Склад і зміст робіт зі створення системи ЛУЗОД представлені в табл. 3.

Таблиця 3 – Склад і зміст робіт зі створення системи

| № з/п | Назва етапу | Виконавець | Термін впровадження | Форма звіту |
|-------|--|--------------------------------|--|---------------------|
| 1 | Обстеження контрольованих об'єктів | Монтажна організація | впродовж 15 днів після підписання договору | |
| 2 | Розроблення «Технічного завдання» | Монтажна організація | впродовж 45 днів після підписання договору | Затверджене ТЗ |
| 3 | Розроблення технічно-робочого проекту | Монтажна організація | впродовж 45 днів після підписання договору | Затверджений проект |
| 4 | Підготовка та програмування лічильників | Замовник, монтажна організація | впродовж 45 днів після підписання договору | Протоколи |
| 5 | Поставка каналотворюючих технічних засобів і системного ПЗ | Замовник, монтажна організація | впродовж 45 днів після підписання договору | Акти, накладні |
| 6 | | | | Акт |

| | | | | |
|----|---|--------------------------------|--|---------------------|
| | Прокладка ліній зв'язку від лічильників до адаптера | Замовник, монтажна організація | впродовж 55 днів після підписання договору | |
| 7 | Підключення лічильників до ліній зв'язку | Замовник, монтажна організація | впродовж 55 днів після підписання договору | Акт |
| 8 | Монтаж комплектів каналотворюючих засобів | Монтажна організація | впродовж 55 днів після підписання договору | |
| 9 | Завантаження та настроювання модулів програмного забезпечення | Монтажна організація | впродовж 60 днів після підписання договору | Акт |
| 10 | Забезпечення та перевірка зв'язку з кожним лічильником системи | Монтажна організація | впродовж 60 днів після підписання договору | Акт |
| 11 | Випробування передачі даних до електропередавальної організації | Монтажна організація | впродовж 60 днів після підписання договору | Акт |
| 12 | Дослідна експлуатація | Замовник, монтажна організація | впродовж 75 днів після підписання договору | Акт |
| 13 | Державна метрологічна атестація | Замовник, монтажна організація | після закінчення дослідної експлуатації | Свідоцтво |
| 14 | Промислова експлуатація | Замовник, монтажна організація | після проведення метрологічної атестації за домовленістю | Акт здачі-приймання |

Споживачі електроенергії та розрахунки навантаження житлового багатоквартирного будинку

Основними споживачами електроенергії житлових будинків є побутові прилади квартир, мережі електроосвітлення та технічні потреби житлового багатоквартирного будинку.

Розрахункове навантаження на групу квартир з однаковим питомим навантаженням визначається згідно п.3.6 та табл. 3.1 ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення» житлових будинків визначається за формулою (1):

$$P_{\text{кв.}} = P_{\text{Пж}} \times N, \quad (1)$$

де $P_{\text{Пж}}$ – питома розрахункова навантаження однієї квартири, кВт/житло;
 N – кількість квартир.

Згідно ДБН В.2.5-23:2010 табл. 3.1 по даному об'єкту - квартири 1-го виду, I рівня електрифікації (квартири в будинках з плитами на природному газі).

Розрахунок максимальних навантажень на шинах трансформаторної підстанції ТП-10/0,4 кВ проведено згідно ДБН В.2.5-23-2010 п. 3.18 за формулою (2):

$$P_{\text{ТП}} = P_{\text{кв.}} + 0,9 \times \Sigma P_{\text{сил.}} \quad (2)$$

де: $P_{\text{кв.}}$ – потужність житлового сектору будинку, кВт;

$P_{\text{сил}}$ – силове навантаження будинку, кВт;

Розрахунки зведено та наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Навантаження житлового багатоквартирного будинку на шинах трансформаторної підстанції ТП-10/0,4 кВ

| № п/п | Назва споживачів | Кількість споживачів | Встановлена потужність споживачів | Встановлена потужність групи споживачів | Коефіцієнт потуги | Коефіцієнт потужності | Коефіцієнт реактивної потужності | Розрахункова потужність | | | Розрахунковий струм |
|--------------------------------------|---|----------------------|-----------------------------------|---|-------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------|--|------------------------------------|---------------------|
| | | N, шт | P_n (Рпиг), кВт | $P_n \cdot N$, кВт | | | | $P_p = P_n \cdot N$, кВт | $Q_p = P_p \cdot \text{tg}\phi$, кВар | $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$, кВА | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Навантаження квартир | | | | | | | | | | | |
| | Квартири 5кВт - 1-ого виду І рівня з пилками на природному газі | 64 | 1,126 | 72,064 | 1,00 | 0,96 | 0,292 | 72,064 | 21,019 | 75,067 | 114,052 |
| Навантаження технічних потреб | | | | | | | | | | | |
| | Домофон | 4 | 0,300 | 1,200 | 1,00 | 0,92 | 0,426 | 1,200 | 0,511 | 1,304 | 5,929 |
| | Сервер | 1 | 1,000 | 1,000 | 1,00 | 0,92 | 0,426 | 1,000 | 0,426 | 1,087 | 4,941 |
| | Розетка щитової | 1 | 1,000 | 1,000 | 1,00 | 0,92 | 0,426 | 1,000 | 0,426 | 1,087 | 4,941 |
| | Електричне опалення щитової | 1 | 0,800 | 0,800 | 1,00 | 1,00 | 0,000 | 0,800 | 0,000 | 0,800 | 3,636 |
| | Всього, технічні потреби | | | | | 0,95 | 0,34 | 4,000 | 1,363 | 4,226 | 6,421 |
| | Всього з урахуванням $K_c=0,9$ | | | | | 0,96 | 0,29 | 75,664 | 22,246 | 78,866 | 119,825 |

Структура ЛУЗОД

ЛУЗОД має властивість цілісності та централізоване керування. За функціональним призначенням ЛУЗОД поділяється на дві функціональні складові – вимірнювальну частину, яка забезпечує формування і зберігання первинних даних, та частину збору та передачу даних. Структурна схема ЛУЗОД представлена на рис. 1.

До серверів ЛУЗОД електропередавальної організації

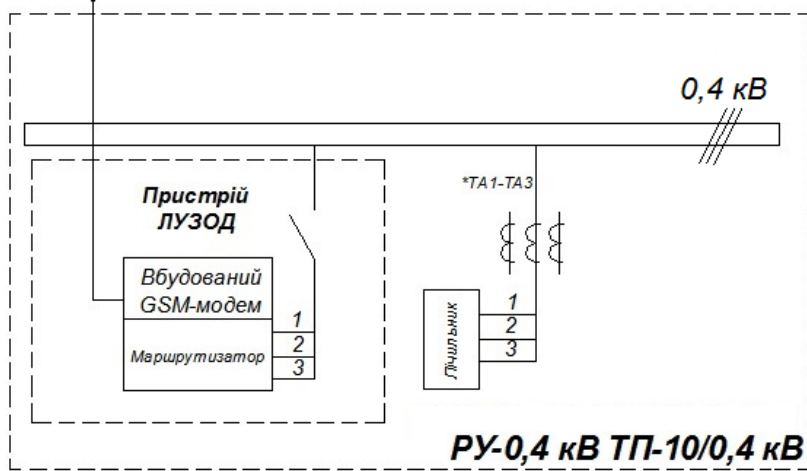


Рисунок 2 – Структурна схема ЛУЗОД

Облік електроенергії в РУ-0,4 кВ трансформаторної підстанції ТП-10/0,4 кВ.

Комерційний облік електроенергії передбачається в РУ-0,4 кВ трансформаторної підстанції ТП-10/0,4 кВ за допомогою установки багатотарифного електронного лічильника трансформаторного включення через трансформатори струму з $K_t = 150/5$ (відповідно до розрахунків в табл. 4). Схема підключення даного лічильника представлена на рис. 2.

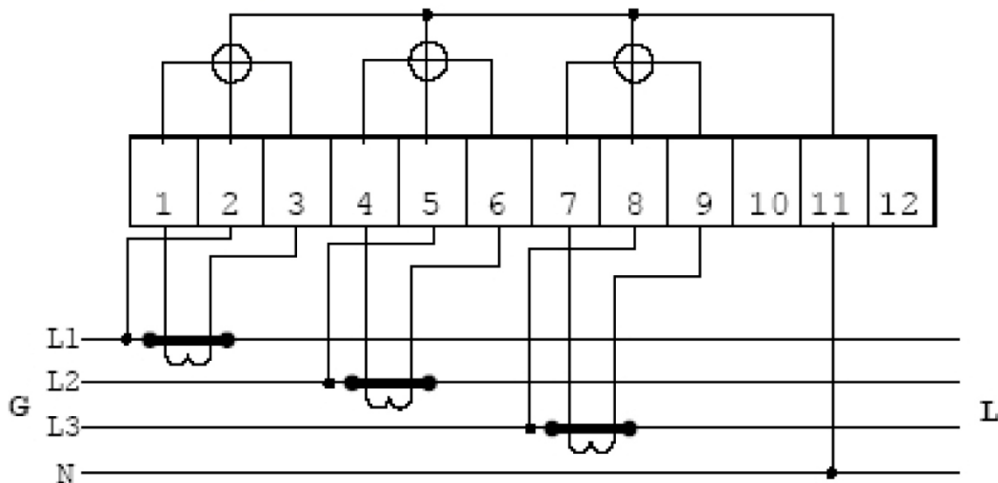


Рисунок 2 – Схема підключення багатотарифного електронного лічильника трансформаторного включення

Облік електроенергії споживачів житлового багатоквартирного будинку.

Облік електроенергії споживачів житлового багатоквартирного будинку передбачений за допомогою установки в ГРЩ-0,4 кВ багатотарифних електронних лічильників.

На вводі до ГРЩ-0,4 кВ встановлюється лічильник трансформаторного включення через трансформатори струму з $K_t = 150/5$ (відповідно до розрахунків в табл. 4). Схема підключення даного лічильника представлена на рис. 2.

Облік технічних потреб житлового багатоквартирного будинку відбувається за рахунок установки 3-фазного багатотарифного електронного лічильника прямого включення (відповідно до розрахунків в табл. 4). Схема підключення даного лічильника представлена на рис. 3.

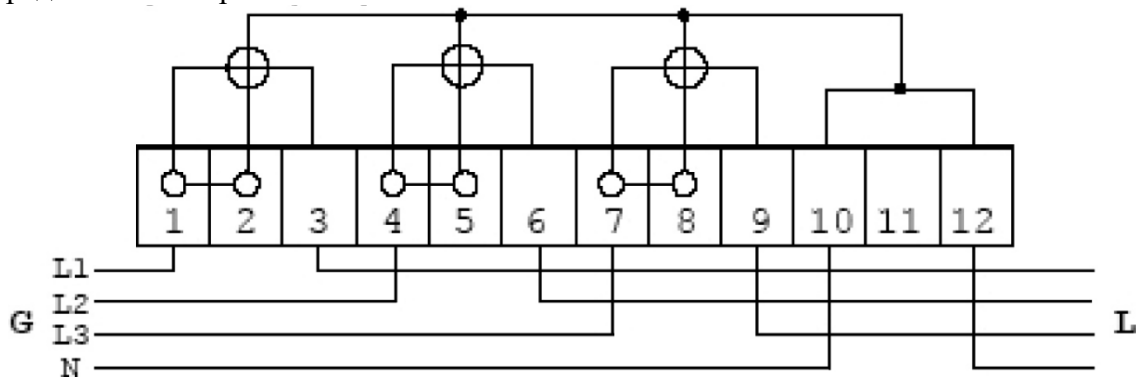


Рисунок 3 - Схема підключення 3-фазного багатотарифного електронного лічильника прямого включення

Об'єкт обстеження – окремо розташована житлова багатоквартирна будівля, що призначена для проживання. Згідно ДБН В.2.5-23:2010, табл. 3.1 по даному об'єкту – квартири 1-го виду, I рівня електрифікації (квартири в будинках з плитами на природному газі) – 5 кВт (64 шт.).

Облік споживачів квартир житлового багатоквартирного будинку відбувається за рахунок установки 1-фазного багатотарифного електронного лічильника прямого включення (відповідно до розрахунків в табл. 4) в поверхових щитах ЩП-0,4 кВ. Схема підключення даного лічильника представлена на рис. 4.

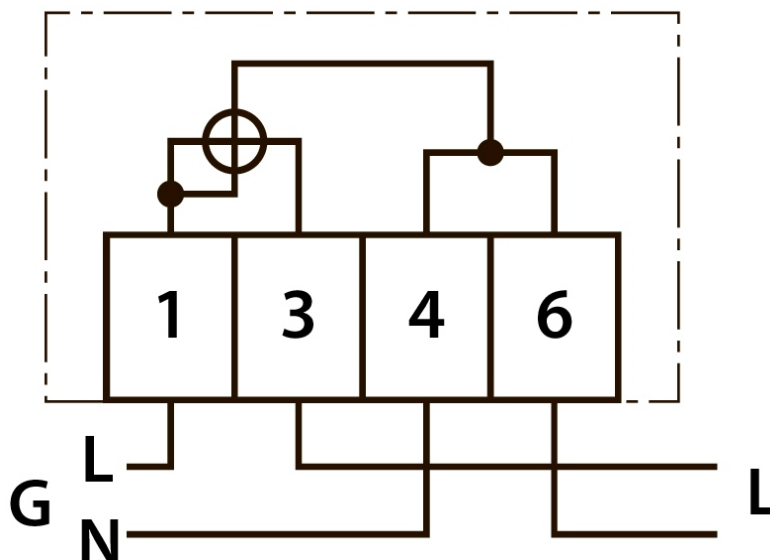


Рисунок 4 - Схема підключення 1-фазного багатотарифного електронного лічильника прямого включення

Залежно від вимог сучасні цифрові лічильники повинні у будь-який момент часу оперативно передавати необхідні дані різними каналами зв'язку на диспетчерські пункти енергопостачальних підприємств для оперативного контролю і економічних розрахунків споживання електроенергії.

Не менш важливу роль грають всілякі сервісні функції, такі як дистанційний доступ до лічильника, до інформації про спожиту енергію і багато інших. Наявність цифрового дисплея, керованого мікроконтролером, дозволяє програмно встановлювати різні режими виведення інформації, наприклад виводити на дисплей інформацію про спожиту енергію за кожен місяць, за різними тарифами тощо.

Завдяки вживанню передових технологій проведення вимірів і використанню мікрокомп'ютерних технологій сучасні високоточні електронні лічильники призначені для проведення вимірів в широкому діапазоні та виконання тарифних функцій.

Впровадження автоматизованих систем контролю і обліку енергоресурсів (АСКОЕ) є стратегічним напрямом підвищення ефективності енергетичного потенціалу країни.

Перелік використаних джерел інформації

1. Концепція створення автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії в умовах енергоринку, затвердженої 17.04.2000.
2. Інструкція про порядок комерційного обліку електроенергії, затверджена Радою оптового ринку електроенергії України від 08.10.1998.
3. Технічні і організаційні вимоги до систем комерційного обліку електроенергії (ГКД 34.35-97, затв. Міненерго України 21.04.1998).
4. Технічні і організаційні вимоги до створення автоматизованих систем обліку електроенергії на об'єктах НЕК "Укренерго" від 29.03.2000.
5. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х.: Видавництво «Форт», 2017. - 760с.

УДК 1631.1

Сорокіна К. І. магістрант
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯМ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ

Анотація. У роботі запропоноване рішення по встановленню припливно-витяжної вентиляції з рекуперацією тепла для зменшення споживання енергоресурсів. Для встановлення нормованого повітрообміну використано метод розрахунку нормованої кількості повітря на одну людину.

Ключові слова: енергоефективність, енергозбереження, система вентиляції та кондиціонування, рекуперація, припливно-витяжна установка з рекуперацією тепла.

Key words: energy efficiency, energy saving, ventilation and air-conditioning system, recuperation, hot-air exhaust with heat recovery.

Вступ. На сьогоднішній день в Україні склалася незадовільна ситуація з питань енергоефективності існуючих будівель. Приблизно 45% кінцевої енергії споживають будинки, що в кілька разів більше ніж в європейських країнах. Саме тому сьогодні гостро стоїть питання з вирішення рівня енергоефективності будівель та енергозбереження в цілому. До 2030 року за проектом Енергетичної стратегії України не передбачено значного зростання споживання первинних енергоресурсів., тому потрібно звернути увагу на раціональне використання традиційних джерел енергії та робити акцент сучасні підходи в енергозабезпеченні з використанням енергоефективних технологій.

Мета статті. Підвищення енергоефективності громадських будівель шляхом використання вентиляційної системи.

Для досягнення поставленої мети в роботі розв'язувались такі наукові задачі:

- проведення аналізу стану енергозабезпечення громадських будівель;
- дослідження характеристик енергоспоживання громадськими будівлями для формування критеріїв використання вентиляційної системи;
- дослідження ефективності вентиляційної системи та кондиціонування для громадських будівель

Об'єкт. Процес енергозабезпечення громадських будівель з використанням вентиляційних систем.

Предмет. Підходи та методи розрахунку щодо вибору системи вентиляції.

Методи дослідження. У даній роботі було використано метод для проведення аналізу розрахунку повітрообміну в приміщеннях для підбору вентиляційного обладнання.

Наукова новизна одержаних результатів. Одержали подальший розвиток підходів до моделювання та аналізу характеристик і режимів роботи систем вентиляції та кондиціонування, що дозволяє підвищити рівень енергоефективності громадських будівель

Матеріал та результати досліджень. Енергозберігаючі технології є найбільш ефективним способом боротьби з наслідками зміни клімату. Енергозбереження також

дозволяє поєднувати переваги від впровадження інтелектуальних рішень для захисту навколишнього середовища з економічною вигодою.

Енергозбереження починається з ефективного виробництва енергії. При цьому ключову роль грають енергозберігаючі технології і рішення з використанням відновлюваних джерел енергії, таких як вітер і вода. Для організації ефективного енергопостачання будь-якого об'єкта необхідно вирішити такі найважливіші завдання як вимір, відображення, оцінка і оптимізація енергетичних потоків [1-2].

Для забезпечення енергоефективності застосовують спеціальні пристрої, які припиняють подачу тепла, вентиляції, електроенергії у відсутності людини. Також підвищення енергоефективності досягається за рахунок використання енергозберігаючих ламп, методів автоматизації і за допомогою архітектурних рішень.

Одним з ефективних способів енергозбереження є використання системи «розумний дім», що здійснює автоматичний контроль інженерних систем будинку (опалення, вентиляція, освітлення) [3].

З кожним роком тарифи на енергоресурси зростають, чим і пояснюється популярність енергоефективних технологій впровадження яких дозволить значно скоротити витрати на комунальні послуги.

На прикладі міської дорослої лікарні СМСЧ №2, яка знаходиться у Миколаївській області, м. Южноукраїнськ, проведемо аналіз споживання енергоресурсів.

Згідно отриманим даним питомі тепловтрати будівлі розподілені та зображені на рисунку 1 наступним чином: 40% - інфільтрація нагрітого повітря; 30% - недостатній опір теплопередачі огорожувальних конструкцій; 30% - нераціональна витрата гарячої води і нерегульоване опалення.

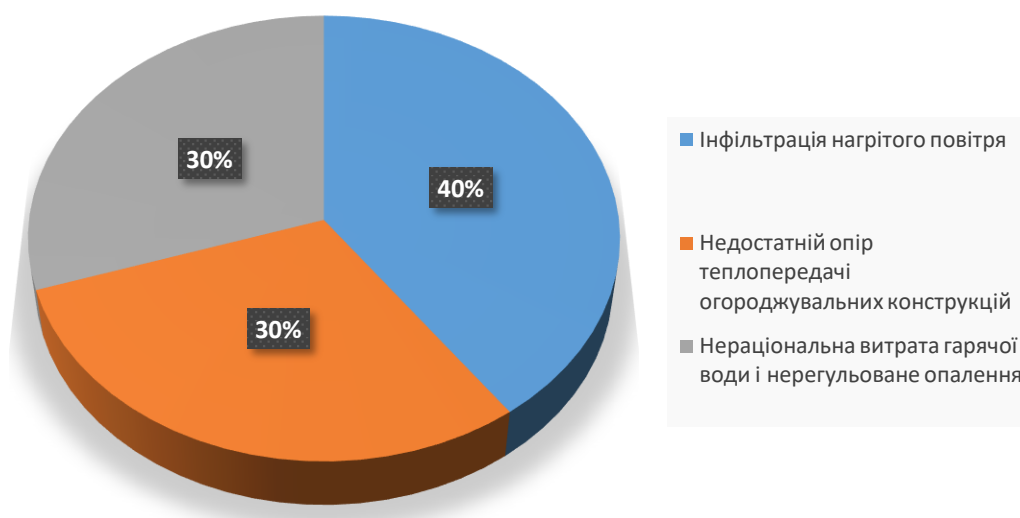


Рис. 1 – Питомі тепловтрати будівлі

Можна виділити наступні причини ірраціональної витрати теплової енергії:

1. Нерегульовані системи природної вентиляції;
2. Відсутність систем вентиляції з рекуперацією тепла.
3. Нещільність сполучення віконних і дверних блоків;
4. Неправильне архітектурно-будівельне рішення при опалюванні сходових блоків;
5. Неякісна теплоізоляція стін, стель підвалів, світлопрозорих огорожень;

6. Недолік приладів обліку і регулювання на системі опалення і гарячого водопостачання;
7. Велика кількість мереж зовнішніх теплотрас і їх недостатня теплоізоляція;

Відповідно до вимог Євросоюзу, з 2020 року в Європі буде дозволено будівництво тільки тих будівель і споруд, які задовольняють вимогам енергоефективності не нижче пасивного будинку.

В Україні проектування і будівництво нових будівель і споруд, а також реконструкція існуючих, виконується на підставі вимог Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» та ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування», та ДСТУ Б EN 15251:2013, які встановлюють вимоги проектування до систем загальнообмінної і аварійної вентиляції, кондиціонування, систем опалення для забезпечення санітарних норм навколишнього середовища та доцільного використання енергетичних ресурсів в ході експлуатації.

У таблиці 2 зображено щорічне споживання енергоресурсів за 2016 та 2018 роки.

Таблиця 2 – Споживання енергоресурсів лікарнею за 2016-2018 рр.

| Показник | Одиниця виміру | по роках | | |
|---|--|----------|----------|----------|
| | | 2016 | 2017 | 2018 |
| Теплова енергія | | | | |
| фактичний обсяг споживання | Гкал. | 353,23 | 275,78 | 291,99 |
| фактичний обсяг споживання | грн. | 472714,8 | 369065,7 | 390759,7 |
| питоме споживання | Гкал. на 1 куб.м. опалювального об'єму | 0,029 | 0,023 | 0,024 |
| Електроенергія | | | | |
| фактичний обсяг споживання | кВт*год. | 84100 | 84600 | 94800 |
| фактичний обсяг споживання | грн. | 151380 | 152280 | 170640 |
| питоме споживання | кВт*год. на м ² | 17,48 | 17,58 | 19,7 |
| Водопостачання та водовідведення | | | | |
| фактичний обсяг споживання | куб.м. | 3320 | 3308 | 3199 |
| фактичний обсяг споживання | грн. | 76061,2 | 75786,2 | 73289,1 |
| питоме споживання | куб.м. на 1 особу | 4,99 | 5,25 | 4,77 |

Склалася тенденція зменшення споживання теплової енергії, показник приросту зменшився на 17,4% в порівнянні з 2016 роком. Але не дивлячись на даний аспект, що зменшуються затрати на опалення будівлі, простежується збільшення затрат на електроенергію та ріст тарифів на всі види ресурсів, що істотно впливає на затрати для функціонування поліклініки, саме тому постає питання щодо енергомодернізації будівлі.

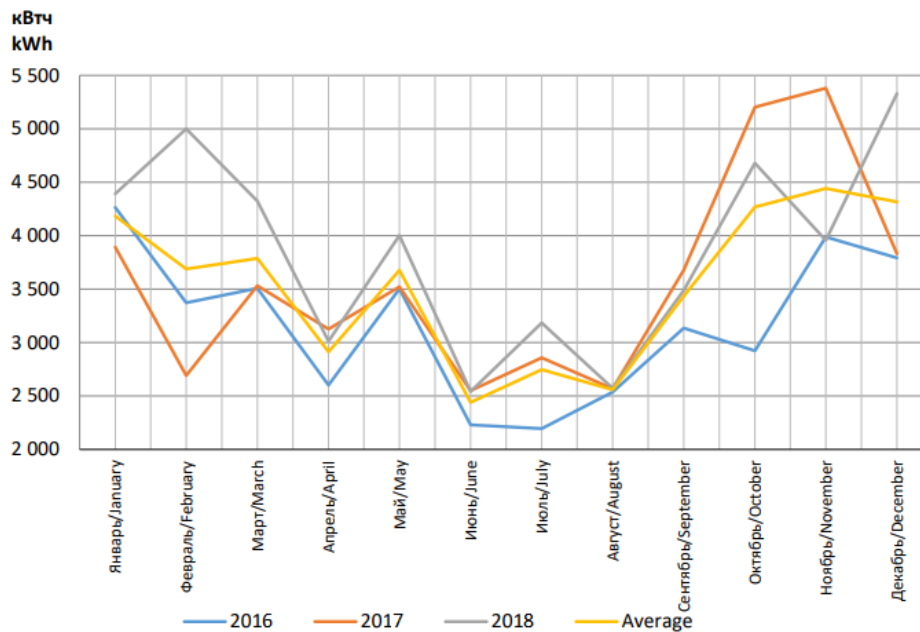


Рис.2 – Споживання електроенергії за 2016-2018 рр.

Також на рисунках 2 та 3 можна простежити динаміку споживання електроенергії та тепла впродовж трьох років в Квт/год та в Гкал. Очевидно, що споживання теплової енергії відсутнє у літній проміжок часу, а в зимовий період має високі показники.

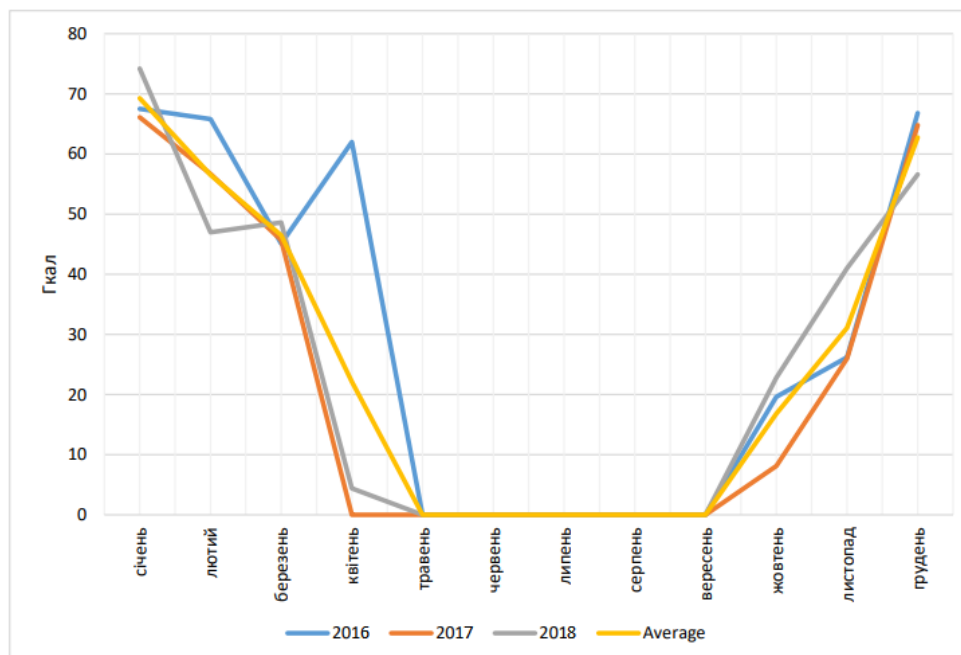


Рис.3 – Споживання теплової енергії за 2016-2018 рр.

Також на рисунках 2 та 3 можна простежити динаміку споживання електроенергії та тепла впродовж трьох років в Квт/год та в Гкал. Очевидно, що споживання теплової енергії відсутнє у літній проміжок часу, а в зимовий період має високі показники.

Згідно ДБН В.2.2-9:2018 системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, у тому числі системи аварійної протидимної вентиляції, повинні проектуватися з додержанням вимог ДБН В.2.6-31, ДБН В.2.5-39, ДБН В.2.5-56, ДБН В.2.5- 67,

ДБН В.2.5-77 та НПАОП 0.00-1.51 а також ДСТУ-Н Б В.2.5-43 та будівельних норм за видами будинків та споруд.

За ДБН В.2.6-31 громадські споруди потрібно проектувати класом енергоефективності не нижче «С». Це у повній мірі означає, що системи вентиляція та кондиціонування повинні також відповідати класу енергоефективності будівлі та відповідати ДСТУ 2339, але рекомендується застосовувати технічне оснащення класу енергоефективності А. Вимоги з енергозбереження щодо систем вентиляції, опалення та кондиціонування слід враховувати згідно ДБН В.2.5-67, у якому сказано, що огорожувальні конструкції споруд і будинків повинні проектуватися так, щоб розрахунок значень приведенного опору теплопередачі, визначенні з врахуванням теплопровідних включень згідно з ДСТУ Б В.2.6-189, набували значень менше ніж нормативні згідно з ДБН В.2.6-67.

Для розрахунку системи вентиляції потрібно визначати продуктивність по повітрю (повітрообмін). Величина повітрообміну залежить від деяких факторів, а саме: кратність повітрообміну, вологовиділення, наявність надлишкових тепловиділень, наявність шкідливих речовин і т.д.

Якість повітря всередині приміщення є функцією багатьох змінних, таких як якість зовнішнього повітря, інтер'єр замкнутих обсягів, конструктивні особливості вентиляційних систем, способи їх управління і технічного обслуговування, наявність джерел забруднення та їх потужність. Стандарт ASHRAE 62.1-2004 містить вимоги щодо проектування систем вентиляції з урахуванням зазначених факторів, що дозволяє забезпечити допустимий рівень якості повітря в приміщеннях.

У повітрі приміщень не повинно бути забруднюючих речовин в концентраціях, що перевищують гранично допустимі значення, тобто впливають на здоров'я людини або викликають дискомфорт. До забруднюючих речовин (шкідливих факторів) слід відносити: гази, пари, аерозолі, мікроорганізми, тютюновий дим, антропоксини, радіонукліди, подразники, що викликають алергічні реакції, неприємні запахи. Вони можуть потрапляти в повітря приміщень із зовнішнім повітрям або від джерел шкідливих виділень, розташованих в самому приміщенні, якими є технологічні процеси й інтер'єр приміщення, будівельні матеріали, покриття поверхонь і компоненти, які супроводжують процеси обробки повітря в системах кондиціонування повітря. У зв'язку з цим Стандарт ASHRAE 62.1-2004 пропонує способи визначення необхідної кількості зовнішнього повітря: на підставі розрахунку питомих норм повітрообміну і на основі розрахунку допустимих концентрацій забруднюючих речовин.

Для кожного житлового приміщення визначається кількість повітря, що подається. Розрахунок зазвичай ведеться відповідно до ДБН В.2.5-67:2013. Оскільки ДБН задає більш жорсткі вимоги, то в розрахунках ми будемо орієнтуватися на цей документ.

Після того, як розраховали повітрообмін за кількістю людей, то потрібно розрахувати повітрообмін за кратністю (даний параметр показує, кількість разів повної заміни повітря у приміщенні протягом однієї години). Для підтримки нормальних умов, потрібно, щоб відбувався хоча б одноразовий повітрообмін [4-5].

Тобто, щоб визначити необхідну витрату повітря нам потрібно розрахувати 2 значення повітрообміну: за кратністю та за кількістю людей, а потім більше значення з отриманих.

Розрахунок повітрообміну за кількістю людей:

$$L = N * L_n, \text{ де} \quad (2)$$

L – необхідна продуктивність припливної вентиляції, м³/год;

N – кількість людей;

L_n – норма витрати повітря на 1 людину;

- В стані спокою – $30\text{м}^3/\text{год}$;
- Типове значення – $60\text{м}^3/\text{год}$

Розрахунок повітрообміну за кратністю:

$$L = N * S * H, \quad (3)$$

L – необхідна продуктивність припливної вентиляції, $\text{м}^3/\text{год}$;

S – площа приміщення, м^2 ;

H – висота приміщення, м;

N – нормована кратність повітрообміну:

- для громадських будівель – від 2 до 3;

Для деяких приміщень з висотою стелі 6м і більше слід використовувати нормативну кратність рівною 6.

Так як існуючий стан з вентиляцією поліклініки є незадовільним, пропоную розрахувати 2 варіанти припливно-витяжної установки з двома різними рекуператорами, а саме з пластинчато-перехресним та роторним рекуператорами.

Для початку потрібно визначити кількість повітря, яке вимагається для забезпечення комфортних умов перебування людей у приміщеннях поліклініки.

Даний заклад відвідують пацієнти з 7.00 до 16.00 години, та середня завантаженість рівна 670 чоловік включаючи медичний персонал.

Тому можна розрахувати повітрообмін за кількістю людей для вибору вентиляційного обладнання:

$$L = N * L_n$$

$$L = 670 * 30 = 20100 \text{ м}^3/\text{год}$$

За допомогою програмного забезпечення CCSI Limited, яке було спеціально розроблено для компаній, які займаються підбором вентиляційних агрегатів для комерційних об'єктів.

У програмі було підібрано установку, яка розрахована на 20 тисяч кубів повітря та загальним статичним опором 632 Па (рис.4).

| Конструкція агрегата | | | |
|--|--------------------------|---------|------|
| Типорозмер агрегата | BL20 | | |
| Обозначение агрегата | | | |
| Количество | 1 | | |
| Сторона доступа | Правая | | |
| Каркас | | | |
| Изоляция | Минеральная вата - 50 мм | | |
| Толщина панели | 46 +/- 2 mm | | |
| Тип Крыши | | | |
| Монтажная рама | Нет | | |
| | 2mm galv steel base | | |
| Длина | | | |
| | 4300 mm | | |
| Ширина | | | |
| | 1630 mm | | |
| Высота | | | |
| | 2360 mm | | |
| Вес, приблизительно +/- 5% | | | |
| | 196кг | | |
| | Приток | Вытяжка | |
| Производительность | 20100 | 20100 | м3/ч |
| Полное статическое давление вентиляторов | 612 | 632 | Па |
| Внешнее статическое давление | 250 | 250 | Па |
| Скорость в сечении | 3.38 | 3.38 | м/с |
| Мощность моторов вентиляторов | 11.00 | 11.00 | кВт |

Рис.4 – Початкові дані підбору установки

Першим був розрахований варіант (рис.5) з використанням пластинчатого рекуператора. Враховуючи розрахункову температуру повітря у зимовий період отримуємо температуру повітря після рекуператора 4.9 C°. Даний рекуператор є ефективним на 64%.

| Пластинчатый теплообменник | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Производитель | | Recuperator | Модель | FZ AL 12 N 1300 N 1 AE NS SM | |
| | | ЗИМА, ПРИТОК | | ЗИМА, ВЫТЯЖКА | |
| Производительность | | 20100 m ³ /h | Производительность | | 20100 m ³ /h |
| Мощность тепловая расчетная | | 181.24 kW | Мощность тепловая расчетная | | 181.24 kW |
| Эффективность | | 64 % | Эффективность | | 64 % |
| Сопротивление по воздуху | | 250 Pa | Сопротивление по воздуху | | 270 Pa |
| На входе | Температура | -22.0°C | На входе | Температура | 20.0°C |
| | Отн. влажность/темп. вл. терм. | 90.0 % / -22.1°C | | Отн. влажность/темп. вл. терм. | 30.0 % / 10.9°C |
| На выходе | Температура | 4.9°C | На выходе | Температура | -2.9°C |
| | Отн. влажность/темп. вл. терм. | 8.6 % / -1.9°C | | Отн. влажность/темп. вл. терм. | 93.9 % / -3.2°C |

Рис.5 – Розрахунок пластинчатого рекуператора

При розрахунку енергоспоживання (рис.6), внутрішній SFP установки встановився на рівні 1176В/(м³/с), що значно перевищує нормовані значення для 2016 року та 2018 року. SFP на один вентилятор - 1600Вт/(м³/с), тобто потрапляє в типові значення SFP4 для припливного вентилятора, але не потрапляє в SFP3 для витяжного вентилятора. Для того щоб зменшити це значення потрібно знизити тиск на елементах установки. Можливо обрати інший пластинчатий рекуператор, який буде більше по розміру. Але кращим вирішенням для підвищення ефективності установки буде заміна типорозміру, тобто обрати не BL20, а BL22, яка розрахована на 22000м³ повітря, що дозволить збільшити розмір рекуператора.

| Энергопотребление | | | | |
|--------------------------------------|--------|---------|------|-------------------------|
| | Приток | Вытяжка | | |
| Удельная мощность вентиляторов (SFP) | 1.58 | 1.60 | 3.18 | кВт/(м ³ /с) |
| SPF Int | 569 | 607 | 1176 | W/(m ³ /s) |
| SPF Int Limit 2016 | 540 | | | W/(m ³ /s) |
| SPF Int Limit 2018 | 460 | | | W/(m ³ /s) |
| SPF Conform | No | | | |

Рис.6 – Розрахунок SFP установки з пластинами

Другий варіант (рис.7) прорахунку з роторним регенератором показав вище ефективність даної установки на 12%.

| Роторный регенератор | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Efficiency at balanced Flow 75.5 % | | | | | |
| Тип | См. приложенный файл | | | | |
| Модель | BA2250x2250-2100H-014-0B000-0000-0 | | | | |
| | | ЗИМА, ПРИТОК | | ЗИМА, ВЫТЯЖКА | |
| Производительность | | 20100 m ³ /h | Производительность | | 20100 m ³ /h |
| Мощность тепловая расчетная | | NaN kW | Мощность тепловая расчетная | | NaN kW |
| Эффективность (явная теплота) | | 76 % | Эффективность (скрытая теплота) | | 86 % |
| Сопротивление по воздуху | | 209 Pa | Сопротивление по воздуху | | 243 Pa |
| На входе | Температура | -22.0°C | На входе | Температура | 21.0°C |
| | Отн. влажность/темп. вл. терм. | 100.0 % / -22.0°C | | Отн. влажность/темп. вл. терм. | 50.0 % / 14.6°C |
| На выходе | Температура | 10.8°C | На выходе | Температура | -11.5°C |
| | Отн. влажность/темп. вл. терм. | 33.24 % / 4.5°C | | Отн. влажность/темп. вл. терм. | 100.00 % / -11.5°C |

Рис.7 – Розрахунок роторного рекуператора

Але рівень внутрішнього SFP також не відповідає нормам для 2016 та 2019 рокам (рис.8).

| Энергопотребление | | | | |
|--------------------------------------|--------|---------|------|-------------------------|
| | Приток | Вытяжка | | |
| Удельная мощность вентиляторов (SFP) | 1.45 | 1.45 | 2.90 | кВт/(м ³ /с) |
| SPF Int | 517 | 517 | 1035 | w/(m ³ /s) |
| SPF Int Limit 2016 | 810 | | | w/(m ³ /s) |
| SPF Int Limit 2018 | 550 | | | w/(m ³ /s) |
| SPF Conform | No | | | |

Рис.8 – Розрахунок SFP установки з ротором

Дані розрахунки показали, що при економії капітальних вкладень ми не отримаємо задовільного результату по показнику SFP, так як потрібно підбирати установку з більшою продуктивністю. В отриманих результатах спостерігаємо значення SFP на рівні задовольняючий категорію SFP3, як для припливного, так і витяжного вентиляторів.

Висновки. Сучасні норми та директиви вимагають належного рівня енергоефективності будівлі, а саме класу «С». Для громадської будівлі можливе скорочення споживання енергоресурсів за рахунок встановлення припливно-витяжної системи вентиляції з рекуперацією тепла. Таким чином можна використовувати вентиляційні установки з роторними регенераторами, які в середньому мають ефективність 75-80%. Зменшення споживання електричної енергії також можливо за рахунок впровадження в систему вентиляції ЕС-вентиляторів, що значно вплине на загальний рівень SFP.

Список використаної літератури

1. Вступ до енергетичного менеджменту : навч. посібник / С. Ф. Артюх, О. П. Лазуренко, К. В. Махотіло, Г. І. Черкашина, Ю. А. Веремійчук; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків : НТУ "ХПІ", 2018. – 200 с. ISBN: 978-617-05-0260-5. URI <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/39011>
2. Веремійчук Ю.А. Аналіз результатів перевірки суб'єктів господарювання наглядовими органами – основа для здійснення енергетичного аудиту/ А.І. Замулко, Ю.А. Веремійчук, М.В. Матвійчук // Енергетика: економіка, технології, екологія. 2016. № 4 С. 32-37 ISSN 1813-5420 (Print).
3. Б. І. Басок, О. М. Лисенко, Ю. А. Веремійчук. Оцінка потенціалу кінцевого енергоспоживання теплової та електричної енергії населенням // Енергетика: економіка, технології, екологія. 2017. № 2 С. 68-75 ISSN 1813-5420 (Print).
4. Рекуперация воздуха: мода или необходимость? / Журнал АВОК «Вентиляция. Отопление. Кондиционирование», № 2, 2015.
5. Липа А. И. Кондиционирование воздуха: теоретические основы / А. И. Липа. – Одесса, ВМВ, 2015. – 607с.

УДК 621.31

Браташ А.А.

Кафедра електропостачання

**АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ДО УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ В РАМКАХ
ДОВГОСТРОКОВИХ І КОРОТКОСТРОКОВИХ ПЕРСПЕКТИВ**

Досліджено основні системи керування попитом на електричну енергію, а саме Demand Side Management. Проаналізовано теперішній стан і подальші перспективи впровадження системи в Україні.

Ключові слова: *Demand Side Management, управління попитом, графік навантаження, електропостачання*

The basic systems of demand management for electricity, namely Demand Side Management, have been investigated. The current state and future prospects of system implementation in Ukraine are analyzed.

Keywords: *Demand Side Management, demand management, load schedule, power supply*

Вступ. Управління попитом – ініціативна форма економічної взаємодії енергопостачальних організацій зі споживачами, що забезпечує взаємовигідне регулювання обсягів і режимів електроспоживання [1].

Сутність управління попитом полягає в цілеспрямованому і планомірному впливі енергокомпанії на обсяги, структуру і режими енергоспоживання в обслуговуваному регіоні. Підвищення ефективності використання енергії споживачами і розвиток генеруючих (мережевих) потужностей компанії розглядаються як взаємодоповнюючі аспекти енергозабезпечення. Зекономлена енергія виступає в якості ресурсу, що заміщує вироблення (передачу) потрібної кількості енергії. В результаті активного формування попиту на енергію і потужність енергокомпанія отримує можливість забезпечити додаткові енергетичні потреби свого регіону з мінімальними витратами [2].

За кордоном передумовою до створення програм управління попитом (ПУП) стала світова енергетична криза 1973 року, яка спричинила за собою зростання цін і дефіцит первинних ресурсів, а отже, і підвищення цін на електроенергію [3]. У 1978 році в США був прийнятий закон про національну політику енергозбереження, за допомогою якого розроблений комплекс заходів з управління попитом (Demand-Side Management /DSM/). До середини 1980-х років програми управління попитом використовувалися практично у всіх штатах, що дозволило знизити потребу в будівництві нових ліній електропередачі.

ПУП припускають залучення інвестицій, щоб підвищити енергоефективність, і політику з метою змусити споживача знизити власні потреби в електроенергії, засновані на фінансові стимули (знижки на енергоефективне обладнання або застосування диференційованих тарифів на електроенергію). Відповідні витрати на організацію і адміністрування програм з управління попитом несуть безпосередньо енергокомпанії або незалежні організації (наприклад, спеціальні фонди енергозбереження, що діють у багатьох країнах світу, або комітети, які здійснюють моніторинг виконання ПУП), які підлягають ліцензуванню і регульовані державою [3].

Метою роботи є аналіз існуючих підходів управління попитом, спрямованих на підвищення ефективності енерговикористання та оцінка їх переваг для подальшої перспективи впровадження в Україні.

Аналіз програм управління попитом в рамках довгострокових і короткострокових перспектив. Існує декілька випробуваних світовою практикою економічних методів управління попитом на електроенергію. У США зіткнулися з необхідністю впровадження управління споживанням під час енергетичних криз 1973 та 1979 років. Тоді уряди багатьох країн взялися за створення програм скорочення енергоспоживання. Одним з перших прикладів стало прийняття Закону про національну політику енергозбереження (National Energy Conservation Policy Act) у 1978 році у США. У відповідь на зростання цін на первинні енергоресурси та їх дефіцит було розроблено ряд заходів, що отримали назву DSM (управління попитом з боку споживача). DSM розвивалося найбільш швидко в Каліфорнії та північно-західній частині США і вже до середини 1980-х поширилося на решту території як засіб зменшення потреби в будівництві нових станцій і мереж. Створене в 1974 році Міжнародне енергетичне агентство (International Energy Agency) у 1993 році почало міжнародну програму з розвитку та просування DSM технологій. На сьогодні ця програма включає 21 країну Європи, Азії, Америки та Австралії [4].

DSM включало ряд заходів, орієнтованих як на загальне зниження рівня споживання, так і на вирівнювання графіка навантаження шляхом зменшення піків, зміщення споживання у часи меншого навантаження енергосистеми, стимулювання попиту в провалах графіка навантаження енергосистеми. Загалом DSM розділяється на два класи підзавдань: методи енергоефективності (Energy efficiency) та управління попитом (Demand response (DR) або Load management (LM) (рис 1.1) [4].



Рис. 1.1. Методи управління попитом на ринку електроенергії

Управління попитом (DR) можна визначити як комплекс заходів, націлених на зміну характеру електроспоживання кінцевими споживачами або у відповідь на зміну вартості електроенергії протягом часу, або завдяки заохочувальних виплат, розробленим для спонукання до зниження споживання під час піків навантаження або в разі виникнення загрози функціонування енергосистеми.

Управління попитом включає два класи задач. Перший клас складають програми, що використовують принцип ціноутворення для впливу на криву споживання (непрямі методи). Другий клас складається з програм, заснованих на добровільній участі споживачів в контурі управління (прямі методи управління).

Програми управління, що використовують принцип ціноутворення, є різноманітні модифікації динамічних тарифів (Dynamic Pricing), коли споживачам пропонуються роздрібні ціни на спожиту енергію, які варіюються в залежності від періоду використання і відображають той факт, що вартість електроенергії і ціни її оптових закупівель різні в часі. До динамічних тарифів відносять диференційовану тарифікацію по часу використання, пікову і тарифікацію реального часу.

До програм щодо добровільної участі можна віднести наступні:

- Безпосереднє управління навантаженням (Direct Load Control) - програма заходів, що дозволяють переривати навантаження споживачів на короткі проміжки часу в момент проходження піків енергосистеми за допомогою прямого впливу оператора системи. Це може здійснюватися шляхом НЕ-посереднього переривання енергопостачання окремих пристроїв або обладнання, споживчих приміщень. Цей вид контролю придатний, як правило, для побутових споживачів в системах обігріву / кондиціонування.

- Зворотня купівля (Demand Buyback) - надає можливість споживачам відмовлятися від споживання електроенергії в обмін на повернення грошей за заздалегідь визначеною ціною. Споживач має можливість вибору часу і ступеня участі у відповідь на запит енергокомпанії.

- Пропозиція ціни (Demand Bidding) - Дозволяє споживачам брати участь в торгівлю електроенергією, яку вони можуть не використовувати, пропонуючи ціну за можливість зміни свого графіка споживання.

- Диспетчеризація аварійної генерації (Dispatchable Standby Generation) - дає можливість диспетчеризації користувальницьких резервних генераторів, підтримуючи їх в синхронній роботі з електророзподільної мережею за допомогою спостереження і керування оператором системи.

- Переривання навантаження (Interruptible Load) - програма, що дозволяє відповідно до контрактних угод перервати навантаження споживачів в періоди сезонного піку споживання шляхом безпосереднього управління або на вимогу оператора системи. Цей вид контролю, як правило, застосуємо до комерційних і промислових споживачів і дозволяє відключати або зрушувати споживання на кілька годин.

- Захист споживачів від відключень (Black Out Protection) - програма зниження навантаження, яка звільняє замовників від ротації відключень в обмін на часткове сікрощення навантаження всьому ланцюгу протягом всіх періодів відключень.

- Зниження споживання за подією (EventDriven Demand Reduction) - заходи зі скорочення попиту потужності в пікові періоди навантаження або зміщення її у внепіковий період.

- Зниження потужності (Predetermined Demand Reduction). Добровільні програми фінансового стимулювання, коли споживачам пропонується скоротити попит заздалегідь в періоди пікового попиту.

- Добровільне зниження навантаження (Voluntary Curtailment). Програми для клієнтів, які добровільно згодні скоротити своє споживання, або "знизити потужність".

- Програми аварійного зниження потужності (Emergency Demand Response Programs) - задіюються в моменти зниження оперативних резервів енергосистеми до рівня, при якому зниження навантаження споживачів необхідно для підтримки короткострокової надійності системи.[4]

Однак на практиці найбільш поширеними стали лише два методи: динамічна тарифікація та добровільне обмеження попиту з боку споживачів.

DSM програми представлено не лише алгоритмами дій нормативно-правового характеру при регулюванні «поведінки» навантаження, а й механізмами прямого доступу до керування навантаженнями на рівні технологічних процесів [4]. Це визначає необхідність точного регулювання енергопроцесу мережі з врахуванням вимог до якості електроенергії, надійності та стабільності електропостачання. В результаті виникає необхідність в оцінці ефективності роботи системи та врахуванні відповідних чинників, що впливають на якість електричної енергії, а саме: спотворення сигналу, пульсації струму на напруги, тощо. Для отримання бажаного рівня ефективності передачі та споживання електричної енергії та зменшення втрат, необхідно виявити чинники, які безпосередньо впливають та процеси, якими ці чинники можна ідентифікувати.

Основний інструментарій програм DSM:

1. Зменшення пікового навантаження. Це програми спрямовані на вирівнювання графіку споживання, шляхом безпосереднього контролю навантаження, відключення обладнання споживачів або введення розосередженої генерації (РГ).

2. Заповнення провалів. Це програми, які заохочують позапікове споживання. Вони спрямована на збільшення власного споживання в зонах загального спаду споживання енергосистеми. Стимулювання споживачів зазвичай здійснюється значно нижчими тарифами.

3. Стратегії енергозбереження. Це програми для сезонного зниження споживання енергії, головним чином, за рахунок ефективного споживання енергії та зменшення втрат.

4. Побудова навантаження. Це програми для управління сезонним збільшенням споживання енергії. В їх основу покладено введення інтелектуальних системи та процесів, більш ефективного обладнання і сучасних джерел енергії для досягнення більшого рівня енергетичної ефективності.

5. Перенесення навантаження. Це програми, з переміщення навантаження з періоду найбільшого споживання в період низького споживання, не змінюючи загальне споживання. Це також можливо з включенням РГ.

6. Гнучке моделювання. Це набір дій і комплексного планування між генеруючими компаніями і споживачами, з врахуванням потреб в даний момент часу. Це партнерство з метою створення моделі обмеження потужності та об'ємів енергоспоживання, що індивідуальний споживач може використовувати в певний час, через установку пристроїв обмеження навантаження. Для ефективного впровадження програми DSM, необхідно виконати наступні кроки [5]:

- аналіз сучасного стану ринку і перспективи його зростання в короткостроковій і довгостроковій перспективі;

- аналіз різних форм енергопостачання;

- аналіз характеристик навантаження;
- розробка та реалізація системних моделей навантаження;
- інформування споживачів та заохочення їх до участі;
- аналіз загальних витрат для участі та розвитку програми.

На сьогодні в Україні відсутні діючі програми з керування попиту на електричну енергію. В сучасних умовах конкуренції на лібералізованих ринках електроенергії розвинутих країн світу, в тому числі і України, споживач отримує право вільного вибору постачальника електроенергії, що сприяє посиленню конкуренції за надання кращих послуг та активізації впровадження інноваційних технологій.

В електроенергетичних системах *demand response* (DR) відноситься, в основному, до тимчасового зниження обсягів електроспоживання, середня тривалість заходів складає 1–4 год та є відповіддю на цінові сигнали ринку електричної енергії чи оператора електричної мережі. Ефект від застосування вимірюється в кВт спожитої потужності (також відноситься до зменшення пікового споживання кВт·год) та зменшенні витрат [7, 8].

Проаналізувавши програми управління попитом в рамках довгострокових і короткострокових перспектив найбільш іноваційним підходом на сьогодні визначається Demand Response.

Керування попитом на електричну енергію (Demand Response) -це зміни споживання електричної енергії кінцевими споживачами відносноїх нормального графіка навантаження у відповідь на зміну ціна на електричну енергію по час або відповідно до стимулюючих виплат, передбаченні щоб знизити споживання в періоди високіх цін на електроенергію на оптовому ринку або коли системна надійність під загрозою [9]

Керування попитом може знижувати ціна на електроенергію на оптовому ринку , що , в свою чергу , призводить до зниження ці на роздрібному ринку Керування попитом отримало широке визнання , як засіб забезпечення надійності на енергопостачання, інтеграції відновлюваних джерел енергії, збільшення конкуренції на ринку електричної енергії і розширення можливостей споживачі. [10]

Для повномасштабного й ефективного використання економічних механізмів управління попитом потрібно створити систему з моніторингу, прогнозування, планування та управління використанням електроенергії як на регіональному, так і на національному рівні. Така система має бути створена з використанням новітніх технологій «інтелектуальних електромереж» та «інтелектуального обліку» в рамках відповідної національної технологічної платформи.

На відміну від DR, програми, пов'язані з DSM, спрямовані на довгострокову перспективу функціонування, і включають зменшення загального рівня енергоспоживання шляхом впровадження заходів з підвищення енергоефективності та енергозбереження. Ефект від застосування вимірюється в кВт·год. (також застосовується для оцінки зменшення пікового споживання в кВт) [11].

Оцінка переваг впровадження програм DSM. Результатом впровадження програм DSM вигоду отримують не лише домогосподарства, підприємства та комунальні структури, але й суспільство в цілому. За сферою дії програми DSM можна поділити на регіональні програми, локальні програми, програми для промислового району та одиничні програми які можуть впроваджуватись безпосередньо на підприємствах в рамках існуючих систем енергетичного менеджменту та планування енергоспоживання.

В табл. 1 наведені основні очікувані результати впровадження програм DSM для різних сфер: економічний ефект від впровадження, стимулювання ринкових перетворень та зростання конкурентоспроможності учасників програм, підвищення енергобезпеки, зменшення негативного впливу діяльності енергетичних систем та комплексів на навколишнє середовище.

Таблиця 1. Основні очікувані результати впровадження програм DSM

| Сфера дії / рівень дії | Регіональний | Локальний | Промисловий район | Підприємств о/ об'єднання | Технологія/ дільниця |
|------------------------|---|--|---|--|---|
| Економічний ефект | Стимулювання економічного розвитку регіону | Стимулювання економічного розвитку на районному рівні | Стимулювання економічного розвитку на місцевому рівні | Зменшення рахунків за спожиту електроенергію | Скорочення витрат на технічне обслуговування |
| Ринкові перетворення | Стимулювання ринкових перетворень | Збільшення конкурентоспроможності місцевих підприємств | Підвищення кредитної привабливості | Стимулювання до управління режимами роботи | Скорочення витрат на заміну устаткування |
| Матеріальний ефект | Створювання довгострокових робочих місць | Зниження потреб в будівництві нових великих об'єктів | Підвищення привабливості РГ та НВДЕ | Додаткові джерела отримання прибутку | Можливості для впровадження нових систем управління |
| Екологічні переваги | Скорочення викидів національних та міжнародних екологічних проблеми | Зниження забруднення повітря на районному рівні | Підвищення комфорту на місцевому рівні | Створення сприятливих умов праці | Нормалізація мікроклімату |
| Енергобезпека | Підсилення національної безпеки шляхом ослаблення залежності від зовнішніх джерел енергії | Підвищення якості та надійності електрозабезпечення | Зростання кількості джерел РГ та ВДЕ | Зниження ризиків пов'язаних з аварійним відключенням | Загальне зменшення витрат |

Очевидно, що при впровадженні механізмів DSM необхідним є проведення оцінювання ефективності керування попитом, яке зазвичай виконується за такими показниками як: коефіцієнт заповнення графіка навантаження ; - сумарна вартість спожитої електричної енергії .

Сучасні DSM ґрунтуються на інтегральному підході до їх реалізації і охоплюють організаційні та технічні заходи для вирішення поставлених завдань [12–14]. При регулюванні необхідно враховувати чотири фактори «базової моделі» енергетичного менеджменту, що дозволяє включити велику кількість відновлювальних джерел енергії в локальні системи та керувані навантаження (табл. 2) [11–15].

Таблиця 2

Фактори впливу енергетичного менеджменту

| № з/п | Фактор | Особливості моделі енергетичного менеджменту |
|-------|------------|--|
| 1 | Пропозиція | Традиційні види генерації та відновлювальні джерела енергії |
| 2 | Попит | Домогосподарства, підприємства та офіси, та зарядні станції для електромобілів, зростання кількості яких очікується в найближчому майбутньому |
| 3 | Зберігання | Для зменшення відхилень від прогнозованого рівня попиту на електроенергію та отримання електроенергії від об'єктів акумулювання електро- та теплової енергії |
| 4 | Контроль | Функції оптимізації шляхом координації трьох факторів через підвищення надійності мережі, якості генерації, керування попитом і надійності постачання |

Висновки:

1. На сьогодні в Україні відсутні діючі програми з керування попитом на електричну енергію. В сучасних умовах конкуренції на лібералізованих ринках електроенергії розвинутих країн світу, в тому числі і України, споживач отримує право вільного вибору постачальника електроенергії, що сприяє посиленню конкуренції за надання кращих послуг та активізації впровадження інноваційних технологій.

2. Сутність управління попитом полягає в цілеспрямованому і планомірному впливі енергокомпанії на обсяги, структуру і режими енергоспоживання в обслуговуваному регіоні. Підвищення ефективності використання енергії споживачами і розвиток генеруючих (мережевих) потужностей компанії розглядаються як взаємодоповнюючі аспекти енергозабезпечення.

3. Виділено основні чотири фактори впливу при побудові системи енергетичного менеджменту, а саме: попит, пропозиція, контроль та зберігання. Наведено особливості побудови системи DSM відповідно до рівня інтеграції системи енергетичного менеджменту.

Література:

1. Гительман Л.Д. Управление спросом на электроэнергию: адаптация зарубежного опыта в России / Л. Д. Гительман // Режим доступа: http://info.e-c-m.ru/magazine/76/eau_76_207.htm

2. Паниковская Т. Ю. Возможности снижения платежей потребителей в условиях оптового рынка электроэнергии/ Т.Ю. Паниковская// Промышленная энергетика. - 2011. - № 11. - С. 10–13.

3. Згуровець О.В. Эффективные методы управления потреблением электрической энергии / О.В. Згуровець, Г.П. Костенко // Проблемы загальної енергетики. – 2007. – №16. – С. 75-80.

4. Лір В. Економічні механізми управління попитом на ринку електроенергії / В. Лір// Економіст. – 2015. - №2. –С. 9 - 13

5. Жуйков, В. Я. Енергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами [Текст] / В. Я. Жуйков, С. П. Денисюк. — К.: ТЕКСТ, 2010. — 264 с.
6. Palensky, P. Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads [Text] / P. Palensky, D. Dietrich // IEEE Transactions on Industrial Informatics.— 2011. — Vol. 7, № 3. — P. 381–388. doi:10.1109/tii.2011.2158841
7. Konstantelos I. Giannelos S. Strbac G., Strategic Valuation of Smart Grid Technology Options in Distribution Networks. IEEE Transactions on Power Systems 32 (2), 2017
8. Денисюк С.П. Дослідження програм з керування попиту на електроенергію та аналіз ефективності їх використання [Текст] / С.П. Денисюк, В.П. Опришко // Technology Audit & Production Reserves. – 2016. – Том 3 (29) – С. 69 – 73. – ISSN 2226-3780
9. National Assessment & Action Plan on Demand Response. *ferc.gov* (1 июля 2016)
10. Explicit Demand Response in Europe - Mapping the Market 2017. Smart Energy Demand Coalition (SEDC) (6 April 2017)
11. Attia HA. Mathematical formulation of the demand side management (DSM) problem and its optimal solution. In: 14th int middle east power syst conf; 2010. p. 953–959.
12. Rahman, S. An efficient load model for analyzing demand sidemanagement impacts [Text] / S. Rahman, Rinaldy // IEEE Transactions on Power Systems. — 1993. — Vol. 8, № 3. — P. 1219–1226. doi:10.1109/59.260874
13. Yang, H. System dynamics model for demand side management [Text] / H. Yang, Y. Zhang, X. Tong // 2006 3rd International Conference on Electrical and Electronics Engineering.— Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2006. — P. 1–4. doi:10.1109/iceee.2006.251854
14. Gabaldon, A. Assessment and simulation of demand-side management potential in urban power distribution networks [Electronic resource] / A. Gabaldon, A. Molina, C. Roldan, J. Fuentes, E. Gomez, I. Ramirez-Rosado, P. Lara, J. Dominguez, E. Garcia-Garrido, E. Tarancon // IEEE Bologna Power Tech Conference Proceedings. — Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2003. — Available at: \www/URL: <http://dx.doi.org/10.1109/ptc.2003.1304784>
11. Mohsenian-Rad, A. Autonomous demand-side management based on game-theoretic energy consumption scheduling for the future smart grid [Text] / A. Mohsenian-Rad, V. Wong, J. Jatskevich, R. Schober, A. Leon-Garcia // IEEE Transactions on Smart Grid. — Vol. 1, № 3. — P. 320–331. doi:10.1109/tsg.2010.2089069
12. Boshell, F. Review of developed demand side management programs including different concepts and their results [Text] / F. Boshell, O. Veloza // 2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America. — Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2008. — P. 1–7. doi:10.1109/tdc-la.2008.4641792
13. De Ridder, F. Four potential business cases for demand side integration [Text] / F. De Ridder, M. Hommelberg, E. Peeters // 2009 6th International Conference on the European Energy Market.— Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2009. — P. 1–6. doi:10.1109/eem.2009.5207197
14. Stadler, M. Integral resource optimization networks and their techno-economic constraints [Text] / M. Stadler, P. Palensky, B. Lorenz, M. Weihs, C. Roesener // International Journal of Distributed Energy Resources. — 2005. — Vol. 1, № 4. — P. 299–319.
15. Saffre, F. Demand-Side Management for the Smart Grid [Text] / F. Saffre, R. Gedge // 2010 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium Workshops. — Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2010. — P. 300–303. doi:10.1109/nomsw.2010.5486558

УДК 332.02+332.1+621.316

Осіпов А.В., магістрант

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПІДПРИЄМСТВА ЗА ДОПОМОГОЮ АСКОЕ

Ключові слова: Smart Metering, кодекс комерційного обліку, інструкція про порядок комерційного обліку електричної енергії, правила користування електричною енергією, дані комерційного обліку, електроенергія, облік, ОРЕ, лібералізація, ринок електричної енергії.

Вступ

В Україні поступово запроваджується лібералізований ринок електричної енергії. В рамках розроблення нормативного забезпечення ринку в грудні 2017 року було прийнято низку нормативних документів, зокрема, Кодекс комерційного обліку електричної енергії [1], який має замінити Інструкцію про порядок комерційного обліку електричної енергії [2] на оптовому ринку та Правила користування електричною енергією [3] на роздрібному ринку в частині вимірювання та обліку електричної енергії і формування даних комерційного обліку з метою проведення розрахунків на ринку.

Мета і завдання досліджень

Метою досліджень є вдосконалення вимог щодо комерційного обліку електричної енергії і формування даних комерційного обліку на різних рівнях розподіленої АСКОЕ в умовах запровадження та функціонування лібералізованого ринку електричної енергії України.

У статті досліджено порядок формування і розвитку нормативної бази забезпечення функціонування ринку електричної енергії України, виконано аналіз нормативних документів щодо комерційного обліку електричної енергії, досліджено нові вимоги і правила впровадження АСКОЕ і формування даних комерційного обліку.

Розподіл ролей

У ККО визначено нових гравців відповідно до рольової моделі ринку, зокрема:

- Адміністратор кодексу (АК)
- Постачальник послуг комерційного обліку (ППКО)
- Оператор даних комерційного обліку (ОПКО)
- Оператор засобів комерційного обліку (ОЗКО)
- Оператор зчитування даних з лічильників (ОЗД)
- Оператор системи передачі (ОСП)
- Оператор системи розподілу (ОСР)
- Оператор електричної мережі (ОЕМ)

Якщо раніше Головний оператор мав вирішувати суперечні питання з ППКО то у ККО [1] був створений Адміністратор Кодексу. АК вносить зміни до кодексу за погодженням Регулятора та переглядає їх, формує тлумачення положень у разі звернення Постачальника послуг комерційного обліку (ППКО).

ККО регламентує повні забор'язання АКО, ППКО, СВКО, електропостачальника, Оператора мережі, сторону приєднану до мережі визначення сторони що відповідає за СВКО та їх обов'язки.

У інструкції [2] запозичена інформація засобів збору даних, у ККО [1] доданий пункт про забезпечення, використання ППКО сумісних – на апаратному та програмному рівні обладнання та процедури зчитування результатів вимірювання та обміну даними комерційного обліку електроенергії.

Додано розділ реєстрації ППКО та ТКО.

З Інструкції [2] запозичені ступені потужності ТКО, дублювання лічильників.

У ККО [1] відповідальність за метрологічну перевірку засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) покладено на власника, раніше в інструкції [2] перевірка здійснювалась органами державного стандарту, та метрологічними підрозділами сторін договору.

Визначення проблеми

Оптовий ринок електричної енергії користується Інструкцією про порядок комерційного обліку електричної енергії [2]. Роздрібний ринок електричної енергії користується правилами про користування електричною енергією [3]. Внаслідок використання різних нормативних документів між учасниками ринку виникають конфліктні ситуації.

Наведу приклади:

1. головний оператор повинен обробити велику кількість первинних даних, але так як вони повинні зніматись з різних лічильників по різному він витрачає велику кількість часу на зведення інформації тому це ставить під питання точність та актуальність цих даних.
2. підприємства користуються різними базами даних з різними версіями (відсутність сумісності) це передує створенню єдиної бази даних.

Кодекс комерційного обліку електричної енергії [1] було розроблено в рамках запровадження Закону України «Про ринок електричної енергії» [4] і мав замінити два нормативних документи (НД): Інструкцію про порядок комерційного обліку електричної енергії [2], якою регламентовано питання комерційного обліку в Оптовому ринку електричної енергії (ОРЕ) України, та Правила користування електричною енергією [3], якими визначено вимоги до комерційного обліку електричної енергії на роздрібному ринку. Ці два документи були поєднані з доданням нових та зміною старих правил.

Актуальність впровадження та надійного застосування автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) з метою підвищення енергоефективності виробництва в умовах зростання цін на енергоносії і змін клімату є найважливішим завданням, яке стоїть, зокрема, перед керівником кожного підприємства. Перший крок на цьому шляху – це скорочення витрат електроенергії за рахунок зниження нераціональних витрат енергії під час її транспортування та використання. Керівнику підприємства, який прийняв рішення про скорочення витрат електроенергії, необхідно мати достовірну інформацію про ефективність використання електроенергії на підприємстві, про основні втрати та їхні причини, одержати кваліфіковане техніко-економічне обґрунтування конкретних першочергових заходів, що дають можливість знизити витрати електроенергії. Саме з цією метою впроваджуються АСКОЕ.

Оскільки забезпечення оперативного дистанційного доступу в автоматизований спосіб до первинних даних обліку, які зберігаються в первинних базах даних (ПБД)

засобів вимірювань, зважаючи на сучасний стан АСКОЕ [6] в Україні, зокрема, в частині їхньої інформаційної взаємодії, сьогодні в загальному випадку практично не реалізовано, це визначено, як один з пріоритетів розвитку АСКОЕ.

Одним із головних завдань в рамках комплексного забезпечення точності, повноти, цілісності, достовірності та актуальності даних обліку є виробіток системного підходу щодо формування ознак якості (достовірності) даних обліку на базі структурованої системи їхньої класифікації та застосування таких ознак під час верифікації та валідації даних комерційного обліку. Розширена в такий спосіб система кодування якості (достовірності) даних обліку відкриє для адміністратора комерційного обліку (АКО), постачальників послуг комерційного обліку (ППКО) та заінтересованих сторін широкі можливості щодо ідентифікації джерел даних обліку, способів їхнього отримання, підтвердження відповідності даних обліку встановленим вимогам та визначення придатності їх для конкретного застосування, а також оцінювання ступеню ймовірного впливу на дані обліку та ранжування їх за пріоритетами.

Висока вартість електроенергії наразі та постійне подорожчання енергоносіїв призвели до того, що необхідно переоцінювати підхід до організації обліку, контролю та управління електроенергією на промислових підприємствах. Споживачі повинні розраховуватися за отриману електроенергію не за допомогою старих приладів, за встановленою потужністю або за договорами, а за допомогою точних засобів вимірювальної техніки. Сучасна торгівля енергією та енергоносіями заснована на використанні АСКОЕ, яка мінімізує «людський фактор» під час збирання, оброблення та передавання даних та підвищує достовірність та об'єктивність обліку електроенергії.

Використовуючи реальні дані існуючого підприємства демонструю роботу системи АСКОЕ за 8 типових днів року для різних сезонів.

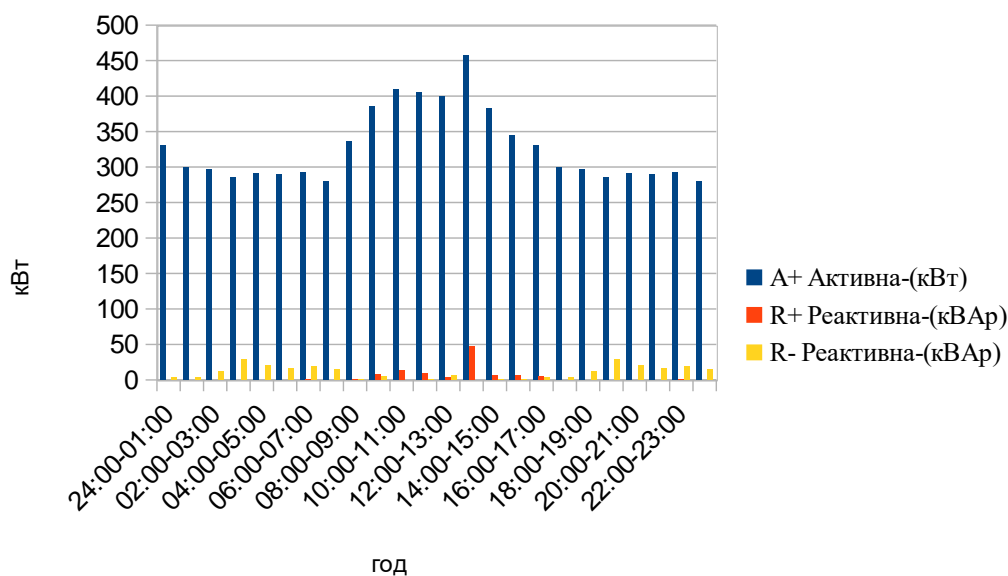


Рис.№ 1 – Профіль споживання підприємством активної та реактивної енергії протягом робочого дня в березні 2018 року.

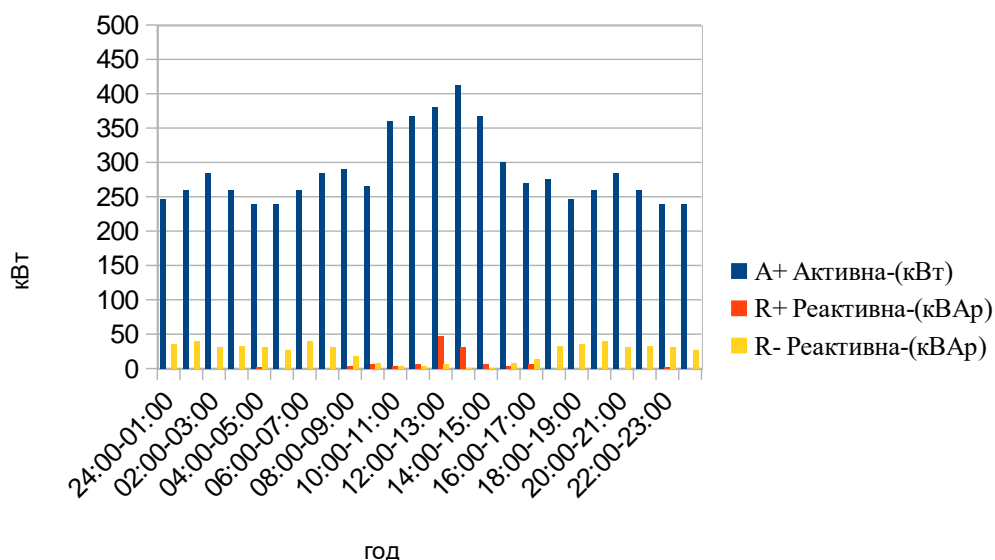


Рис.№2 – Профіль споживання підприємством активної та реактивної енергії протягом вихідного дня в березні 2018 року.

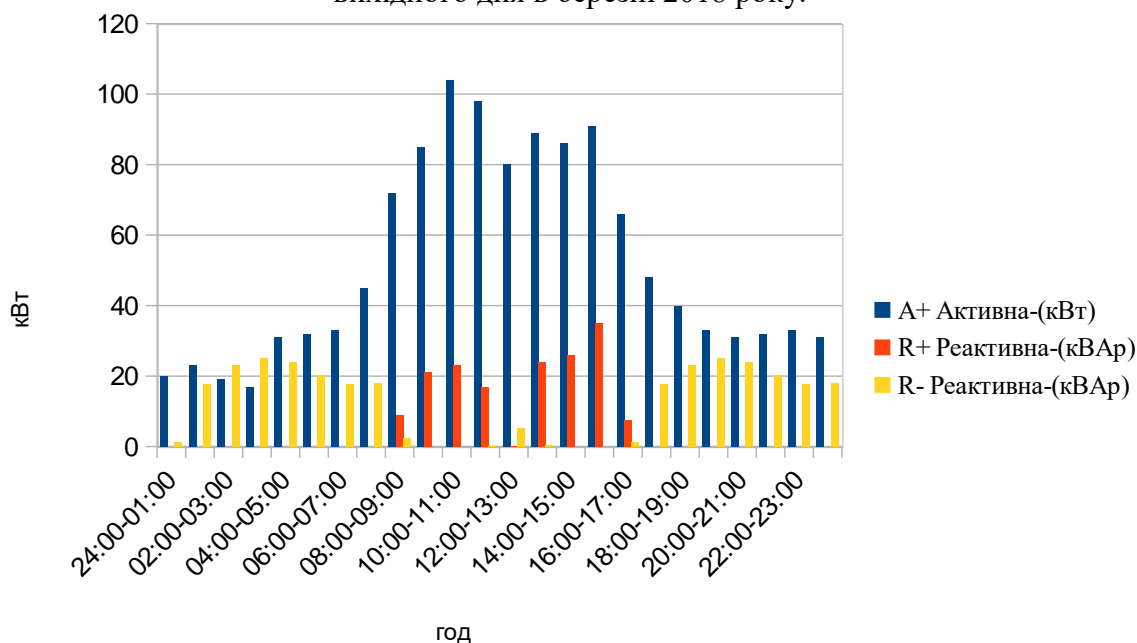


Рис.№3 – Профіль споживання підприємством активної та реактивної енергії протягом робочого дня в липні 2018 року.

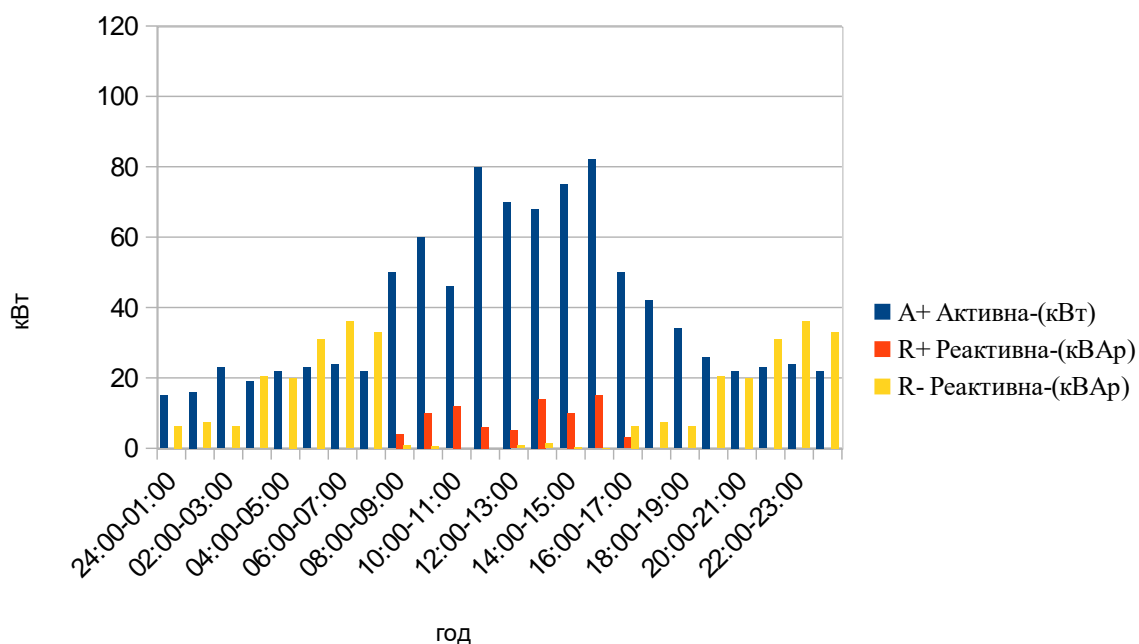


Рис.№4 – Профіль споживання підприємством активної та реактивної енергії протягом вихідного дня в липні 2018 року.

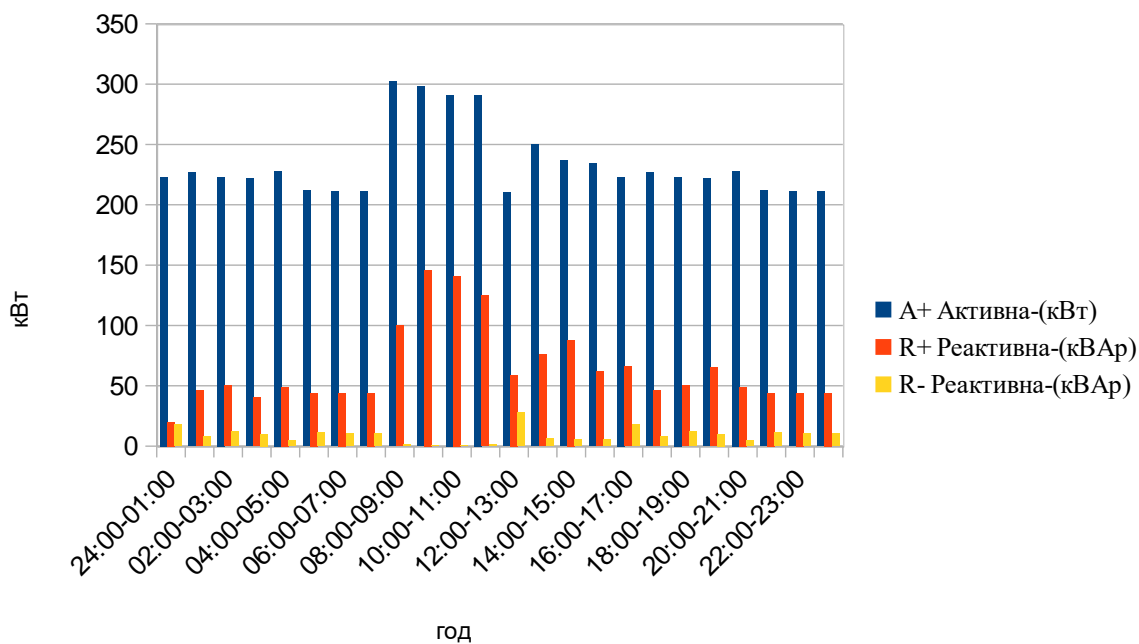


Рис.№5 – Профіль споживання підприємством активної та реактивної енергії протягом робочого дня в жовтні 2018 року.

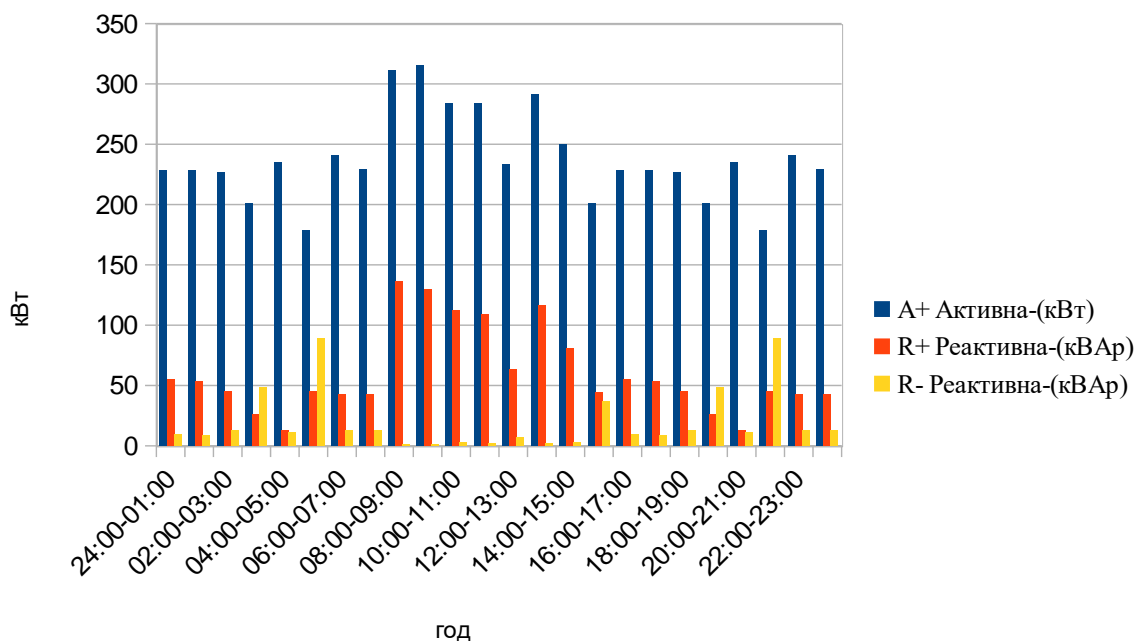


Рис.№6 – Профіль споживання підприємством активної та реактивної енергії протягом вихідного дня в жовтні 2018 року.

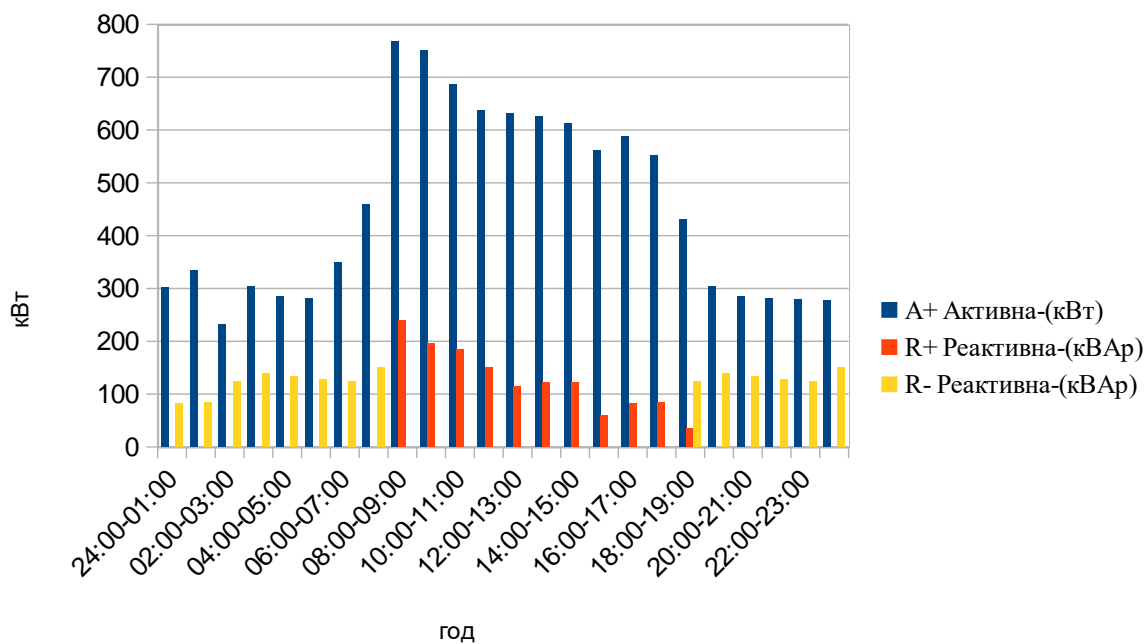


Рис.№7 – Профіль споживання підприємством активної та реактивної енергії протягом робочого дня в грудні 2018 року.

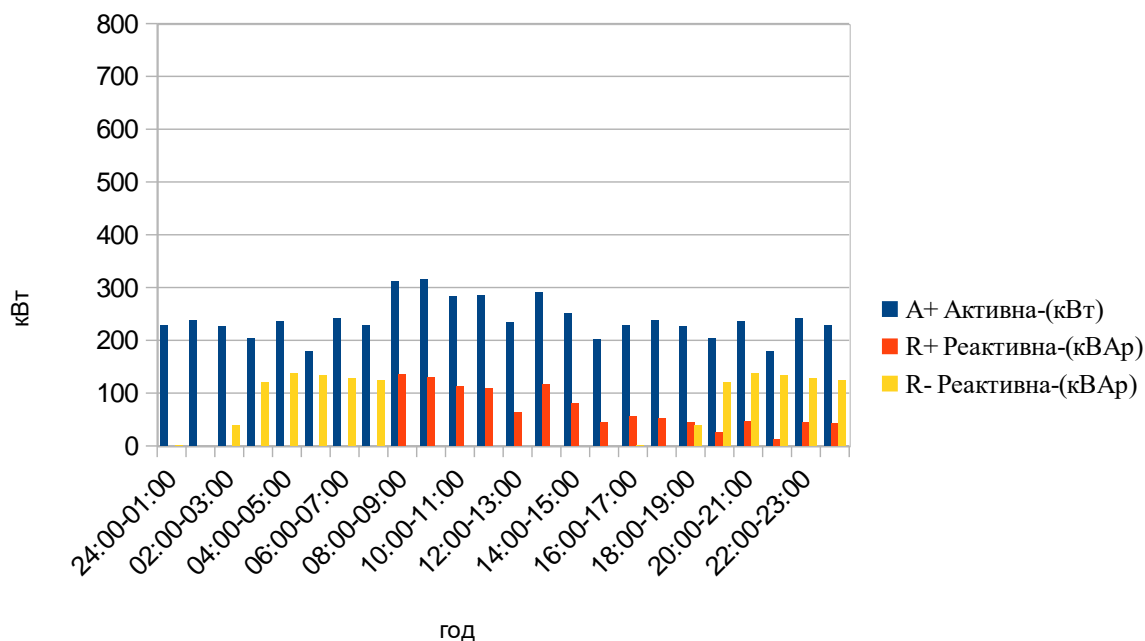


Рис.№8 – Профіль споживання підприємством активної та реактивної енергії протягом вихідного дня в грудні 2018 року.

Розрахунок споживання підприємства можна проаналізувати за такими показниками:

- Середньодобове навантаження підприємства за характерну добу року

$$P_c = \sum_{k=0}^{m-1} \frac{P_k}{m} = 5427 / 24 = 342,937 \text{ (кВт)} \quad (1)$$

- Як відомо, втрати активної електроенергії в мережі пропорційні квадрату електричного навантаження, тому аналізу підлягають також квадратичні графіки навантаження. Одним з показників таких графіків є їхнє середньоквадратичне значення

$$P_{ck} = \sqrt{\sum_{k=0}^{m-1} \frac{P_k^2}{m}} = \sqrt{(1929272 / 24)} = 347,24 \text{ (кВт)} \quad (2)$$

- На основі отриманих значень середньодобового і середньоквадратичного навантаження визначаємо дисперсію D_p і середньоквадратичне відхилення графіка навантаження, значення яких характеризує нерівномірність використання підприємством активної електричної потужності протягом доби

$$D_p = P_{ck}^2 - P_c^2 = 347,24^2 - 342,937^2 = 2969 \text{ (кВт)} \quad (3)$$

$$\sigma_p = \sqrt{(D_p)} = \sqrt{(2969)} = 54,48 \text{ (кВт)} \quad (4)$$

- Час використання максимальної потужності для досліджуваної доби

$$T_{max} = W_{доб} / P_{max} = 5487 / 458 = 11,98 \text{ (год)} \quad (5)$$

- Окрім дисперсії і стандарту нерівномірність графіка навантаження оцінюється за значенням коефіцієнта форми

$$K_\phi = P_{ck} / P_c = 347,24 / 342,937 = 1,012 \quad (6)$$

- Коефіцієнт заповнення графіка навантаження

$$K_s = P_c / P_{max} = 342,937 / 458 = 0,748 \quad (7)$$

- Коефіцієнт максимуму навантаження за досліджувану добу склав:

$$K_{max} = P_{max} / P_c = 458 / 342,937 = 1,338 \quad (8)$$

- а коефіцієнт нерівномірності:

$$K_n = P_{min} / P_{max} = 280 / 458 = 0,613 \quad (9)$$

де $P_{min} = 280$ – мінімальне значення середньогодинного навантаження підприємства протягом досліджуваної доби, кВт. Отримане значення коефіцієнту нерівномірності свідчить про незначний спад навантаження в нічні години доби і є характерним для підприємств із змінним режимом роботи. Коефіцієнт максимуму навантаження підприємства практично рівномірно розподілене в денні години доби.

Отримані значення параметрів характерного для березня місяця 2018 року добового графіка навантаження свідчать про те, що режим електроспоживання близький до оптимального. Дослідження графіка навантаження за характерні дні 2017 року дає результат, близькі до вищенаведених.

На підставі затверджених обсягів споживання розробляються місячні і добові плани споживання електроенергії. Добові плани споживання електроенергії визначаються на підставі місячного плану споживання:

$$W_{доб} = W_{мес} / 31 = 294588 / 31 = 9502 \text{ (кВт/добу)} \quad (10)$$

| Коефіцієнти | P_c | P_{ck} | D_p | σ_p | T_{max} | K_f | K_z | K_{max} | K_n | $W_{доб}$ |
|--------------------|--------|----------|--------|------------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-----------|
| Березень(Вихідний) | 301 | 306,3 | 3218,7 | 56,7 | 11,7 | 1.017 | 0,73 | 1.368 | 0,58 | 9502 |
| Березень(Робочий) | 342,93 | 347,24 | 2969 | 54,48 | 11,98 | 1012 | 748 | 1.339 | 613 | 9502 |
| Липень(Вихідний) | 48,37 | 53,2 | 490 | 22,13 | 9,43 | 1.099 | 0,58 | 1.69 | 0,26 | 2434 |
| Липень(Робочий) | 63,6 | 69 | 716 | 26,75 | 9,78 | 1.095 | 0,61 | 1.63 | 0,29 | 2434 |
| Жовтень(Вихідний) | 246 | 249 | 1485 | 38,53 | 12,46 | 1,01 | 0,79 | 1,28 | 0,56 | 8339 |
| Жовтень(Робочий) | 241,88 | 244 | 1103 | 33,211 | 12,814 | 1,009 | 0,8 | 1,43 | 0,69 | 8339 |
| Грудень(Вихідний) | 246,87 | 249,9 | 1589 | 39,8 | 12,539 | 1,01 | 0,78 | 1,278 | 0,56 | 10235 |
| Грудень(Робочий) | 516,81 | 544 | 287,50 | 169,4 | 10,7 | 1,05 | 0,67 | 1,488 | 0,61 | 10235 |

Таблиця №9 - Розрахунки за липень, жовтень, грудень та березень 2018 року (робочих та вихідних днів)

Округлення для зведення балансу

Округлення інтервальних значень у ККО [1] відбувається за таким принципом. Під час розрахунків застосовується арифметичне округлення. У разі, коли дробова частина розрахованого значення дорівнює або більше 0,5, робиться округлення цього значення до найближчого більшого цілого значення, а у разі, якщо значення менше 0,5 - до найближчого меншого цілого значення. Залишок від округлення додається до наступного неокругленого значення в межах періоду того ж часового ряду даних. Залишок від округлення останнього значення у часовому ряду даних відкидається.

Нові заходи формування даних

З'явилися розділи з: заходів після визначення даних недійсними, формування оціночних даних, профілювання даних комерційного обліку, передачі даних адміністративних розрахунків, формування остаточних даних комерційного обліку.

Створено забезпечення machine-machine interface з автоматизованими системами учасників ринку, та забезпечення АКО human-machine interface.

Терміни зберігання даних

За ККО [1] дані у внутрішній пам'яті лічильника мають зберігатись 1 рік, а у зовнішній 4 роки. Це потрібно на випадок якщо будуть спірні питання між учасниками ринку.

Безпека даних

Додано розділ безпека даних. ППКО та АКО повинні забезпечити обробку персональних даних в відділених від ЗКО системах, які повинні відповідати вимогам національного законодавства та Регламенту (EU) 2016/679.

З'явилося вирішення нештатних ситуацій.

З правил перенесено перевірку та інспекцію вузлів обліку, та виявлення фактів втручання.

Якщо сторону не задовольняє АКО у вирішенні суперечок вона звертається до Регулятора.

Відсутня повірка, ремонт і т.п. для населення за рахунок електропередавальної організації.

Не повноцінне розгортання АСКОЕ

Для забезпечення належного рівня євроінтеграції Україна повинна забезпечити стовідсотковий збір інформації за допомогою Smart Metering. В ККО [1] позицію Smart Metering зайняло АСКОЕ [6]. За допомогою АСКОЕ [6] нормативний документ вважає за потрібне розгортання лише для точок комерційного обліку об'єкта (крім багатоквартирних житлових будинків та населених пунктів) з приєднаною потужністю електроустановок 150 кВт і більше а це вже не можна назвати стовідсотковим розгортанням автоматизованого збору інформації про усі точки обліку. Тобто залишаються кабінети споживачів на сайтах передавальних компаній і відповідальність за збір як і раніше несе споживач. У країнах Європи цим займається передавальна компанія, тобто до збору інформації, повірки і заміни пристроїв збирання даних споживач не має жодного відношення. Якщо людина хоче купувати електроенергію вона підписує контракт з передавальною компанією та закуповує лише електроенергією, та налаштуванням мережі і підключенням не займається.

Smart Metering включає в себе:

3. Автоматизовану систему
4. Автоматичну систему
5. Ручну систему

ККО [1] має лише автоматичну систему і в нас вона має назву автоматизована система комерційного обліку.

Компенсація реактивної енергії

На підприємстві використовують шафи реактивної енергії на основі компонентів фірми ЕТІ, а саме:

- Конденсаторні батареї LPC 50kVAr (400V).

- Та контактори ЕТІ СЕМ 2,5СК.01-230V-50Hz.

Всього на підприємстві присутні три шафи компенсації реактивної енергії. Перша знаходиться у Продуктовому цеху, друга у Дифузії №1, третя у відділені ТЕЦ.

Як можна було помітити на графіках, реактивна енергія генерується ввечері, а посеред дня компенсується засобами компенсації реактивної енергії, це зумовлюється тим, що відсутній регулятор на автоматичних установках.

Висновки

При встановлення системи АСКОЕ [6] кожен міг би стати гравцем на ринку електроенергії, а в умовах конкуренції ціна на ринку знизиться вразі. Для модернізації бізнес процесу потрібно позбутись монополізації галузі та забезпечити інтегрування всіх складових до єдиної повномасштабної розподіленої АСКОЕ [6] ринку електричної енергії на всіх рівнях

Список використаної літератури

1. Про затвердження Кодексу комерційного обліку електричної енергії. НКРЕКП, постанова від 14.03.2018 р. № 311 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.nerc.gov.ua/?id=31799>.
2. Інструкція про порядок комерційного обліку електричної енергії: Додаток 10 до Договору між членами Оптового ринку електричної енергії України [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://profhub.com.ua/wp-content/uploads/2018/09/Instruk_z_oblik.pdf
3. Про затвердження Правил користування електричною енергією. НКРЕКП, постанова від 31.07.1996 № 28 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0417-96>.
4. Закон України про ринок електричної енергії. ВВР, 2017, № 27-28 [електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>
5. Формування інформаційного забезпечення функціонування ринку електричної енергії України / В. Коцар // Енергетика: економіка, технології, екологія . - 2017. - № 4. - С. 29-47 [електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eete_2017_4_4
6. Автоматизовані системи контролю, обліку та управління енерговикористанням [електронне видання] / О. В. Коцар // Навч. посібн. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, — Дніпро: Середняк Т. К., 2017, — 44 с.

УДК 620.9+339.133+005

Стрельчук Р.О.
Кафедра електропостачання**КОМПЛЕКСНИЙ ЕНЕРГОМОНІТОРИНГ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ М. КИЄВА**

У статті обґрунтовано принципи проведення комплексного енергомоніторингу житлової будівлі, визначено основні вимоги на яких базується система енергомоніторингу будівлі, актуальність та переваги проведення енергомоніторингу житлової будівлі.

The article substantiates the principles of complex energy monitoring of a residential building, defines the basic requirements on which the building energy monitoring system is based, the relevance and benefits of conducting energy monitoring of a residential building.

Ключові слова: енергомоніторинг, енергоефективність, автоматизована система енергомоніторингу, житлова будівля.

Вступ. Моніторинг - одна з основних функцій енергетичного менеджменту, спрямована на дотримання норм, правил і режимів енерговикористання, виконання запланованих заходів і дій, дотримання встановлених значень енергетичних показників [1].

Питання проведення енергомоніторингу житлових будівель присвячено багато праць як вітчизняних, так і закордонних вчених. Серед них Шовкалюк Ю.В., Осовська Г.В., Копитова І.В., Чернявський А. В., Котляр Р.С., Комеліна О.В, Щербініна С.А., Павлик А.В., Демченко В. В., Чуприна Х.М., Невмержицький О.В., Дешко В.І., Білоус І.Ю., Данченко О. Б, Войналович А.А., Вяткин М.А., Балабайченко О.І., Закатаєва А.Ф, Титов С.Я [2-15]. Проте, не зважаючи на наявні наукові здобутки, питання проведення енергомоніторингу для житлових будівель не втрачають своєї актуальності.

Мета та завдання. Метою енергетичного енергомоніторингу є орієнтація житлової будівлі на раціональне використання та економію ПЕР.

Матеріал і результати досліджень. Енергомоніторинг є однією з основних функцій енергетичного менеджменту, спрямований на дотримання норм, правил і режимів енерговикористання, виконання запланованих заходів і дій, дотримання встановлених значень енергетичних показників.

Енергомоніторинг слугує гарним інструментом для потреб енергоменеджменту. Завдяки енергомоніторингу, при впровадженні можливих недорогих та безкоштовних заходів, можна досягти близько 10-15 % економії.

Система енергетичного моніторингу базується на наступних вимогах: об'єктивність отриманих даних, незалежність, захист від суб'єктивної інтерпретації збирає або надає інформацію, що досягається чіткістю, визначеністю параметрів, що фіксуються кількісно. В системі моніторингу особлива увага повинна приділятися таким найважливішим складовим, як: організація регулярних потоків інформації про впровадження енергозберігаючих заходів та обсяги фінансування на окремих об'єктах, її аналіз і оцінка.

В загальному випадку енергетичний моніторинг може передбачати вирішення різноманітних задач, які в значній мірі залежать від мети, об'єкту та предмету енергетичного моніторингу [16,17].

Сюди можна віднести:

- моніторинг своєчасності та якості виконання плану реалізації заходів з енергозбереження та програми енергозбереження;
- моніторинг досягнення цільових показників енергоефективності та результативності системи енергетичного менеджменту;
- моніторинг розроблення та/або виконання коригувальних та випереджувальних дій тощо.

Енергомоніторинг в загальному випадку може проводитись :

- в ручному режимі без спеціалізованого програмного забезпечення
- в ручному режимі із застосуванням спеціалізованого програмного забезпечення
- за допомогою автоматизованих систем та спеціалізованого програмного забезпечення.

В даний час під терміном «енергетичний моніторинг» розуміється система спостереження, контролю, оцінки, прогнозу стану енергоефективності об'єкту та інформаційного забезпечення процесу підготовки і прийняття управлінських рішень (рис. 1).

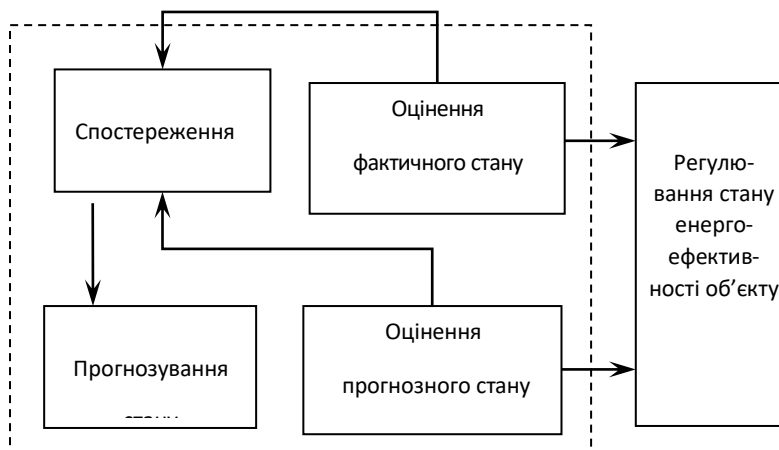


Рис.1 Блок-схема енергетичного моніторингу

За умови використання автоматизованих систем, а також за умови реалізації заходів з підвищення ефективності енергоспоживання на об'єкті максимальна періодичність моніторингу складає 1 день (за виключенням вихідних та святкових днів).

Найбільш доцільним вважаємо впроваджувати систему моніторингу, що передає дані з лічильників в повністю автоматизованому режимі.

За умови впровадження на об'єкті заходів, направлених на підвищення ефективності енергоспоживання вартістю більше ніж 250 тис. грн необхідно передбачати встановлення автоматизованої системи моніторингу енергоспоживання.

Основний інструмент системи енергомоніторингу – діаграма «Енергія - Температура» (ЕТ- діаграма). На горизонтальній осі відкладається «середня зовнішня температура» за добу / тиждень [°C], а вертикальна вісь показує «споживання енергії» на одиницю опалювальної площі за ту саму добу / тиждень [кВт·г/м²]. ЕТ- діаграма включає покази вимірів спожитої енергії і відповідної зовнішньої температури на протязі деякого

проміжку часу. В даному випадку кожне значення відповідає одному тижню. Отримана в результаті вимірів «лінія» називається «ЕТ- крива» (рис.2).

Протягом опалювального періоду витрата енергії зростає з пониженням зовнішньої температури. При зростанні зовнішньої температури витрата енергії зменшується до мінімального рівня міжопалювального сезону. Цей рівень включає споживання енергії з гарячою водою, вентиляторами, освітленням, іншим обладнанням і т.п.

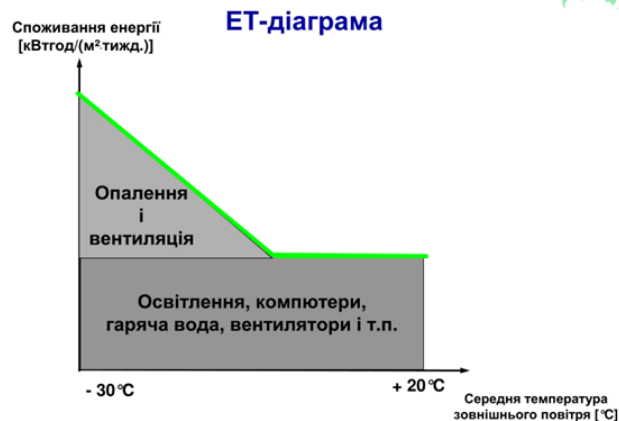


Рис.2 ЕТ- крива

Процедури системи енергомоніторингу, базовані на методології ЕТ- кривої, повинні виконуватись в наступному порядку:

- реєструвати середню зовнішню температуру для відповідного періоду;
- нанести показання енергоспоживання будівлі за добу / тиждень на ЕТ- діаграму.

Відхилення від ЕТ- кривої (рис.3) вказують на несправне обладнання чи неправильну установку параметрів роботи. Слід провести перевірку і виконати необхідний ремонт або налаштування.

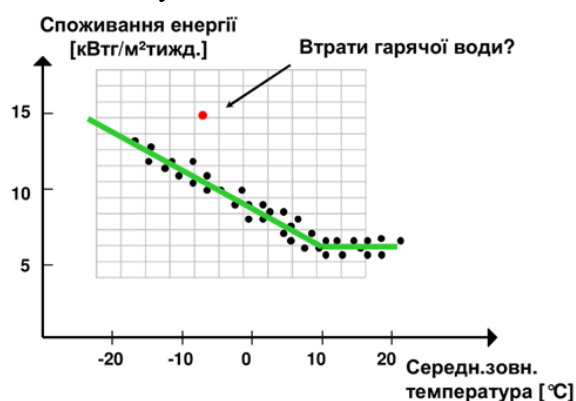


Рис.3 Відхилення ЕТ- кривої

Після проведення аналізу роботи інженерних систем будівлі було виявлено, що автоматична система регулювання індивідуального теплового пункту несправна, в результаті чого не здійснюється зниження температури в нічний час.

Висновки. За результатами проведеного дослідження житлової будівлі було доведено, що у більш широкому розумінні предметом енергетичного моніторингу можна вважати структуру та зміст інформаційних потоків житлової будівлі з погляду ефективності використання всіх видів ПЕР. При цьому ключовими аспектами має бути інформація щодо енерговикористання, впровадження запланованих енергозберігаючих заходів, а також методи та засоби щодо її збирання та аналізування, що, в свою чергу, є основою енергетичного моніторингу.

Після проведення аналізу роботи інженерних систем будівлі було виявлено, що автоматична система регулювання індивідуального теплового пункту несправна, в результаті чого не здійснюється зниження температури в нічний час.

Завдяки щотижневій системі енергомоніторингу ця несправність була виявлена й усунута всього через тиждень. Якщо б у будівлі не проводився щотижневий енергомоніторинг, то несправність могла б бути виявлена тільки при наступних регламентних роботах.

Список використаних джерел

1. Посібник з муніципального енергетичного менеджменту / Є.М.Іншеков, Є.Є.Нікітін, М.В.Тарновський, А.В.Чернявський. – К.: Поліграф плюс, 2014. –238 с. (ISBN 978-966-8977-46-6).

2. Шовкалюк Ю.В. Інструменти і методи для підвищення енергоефективності будівельного фонду // Молодий вчений. – № 1(53). – 2018. – С. 573-577.

3. Підвищення енергоефективності в Україні: зменшення регулювання та стимулювання енергозбереження http://www.ier.com.ua/files/publications/Policy_papers/German_advisory_group/2012/PP_01_2012_ukr.pdf

4. Komelina O.V. Economic-mathematical modeling of the energy efficiency indicators of existing housing stock / O.V. Komelina, S.A. Shcherbinina, K.I. Serdyuk // Економіка і регіон : наук. вісн. ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка / голов. ред. В.О. Онищенко. – Полтава : ПолтНТУ, 2016. – № 5 (60). – С. 111-117.

5. Національний план дій з енергоефективності на період до 2020 року. [Електронний ресурс]: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/n0001824-15>

6. Енергетичні, економічні та екологічні показники енергоефективності. SSN 1813-5420 (Print). Енергетика: економіка, технології, екологія. 2016. № 1

7. Павлик А.В. Оценка энергоэффективности как основа формирования энергонезависимой стратегии http://economyandsociety.in.ua/journal/9_ukr/149.pdf

8. Проектування інформаційної системи розрахунку енергоефективності будівель <http://journals.uran.ua/urss/article/view/60658/56383>

9. Демченко В. В. Методи підвищення енергоефективності будівлі / В. В. Демченко, Х. М. Чуприна, О. В. Невмержицький // Управління розвитком складних систем : зб. наук. пр. – К. : КНУБА, 2013. – № 16. – С. 138–143.

10. Математичні моделі будівель для оцінки енергоспоживання / В. І. Дешко, І. Ю. Білоус // Будівельні конструкції. - 2014. - Вип. 80. - С. 68-72.

11. Енергоефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання при опаленні та охолодженні [Текст]: ДСТУ Б EN ISO 13790:2011.– На заміну ГОСТ 26629.85; чинний з 01.01.2013. – К. : НДІБК, 2011. – 229 с. Математичні моделі будівель для оцінки енергоспоживання / В. І. Дешко, І. Ю. Білоус // Будівельні конструкції. - 2014. - Вип. 80. - С. 68-72.

12. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN: 2249 – 8958, Volume-3, Issue-1, October 2013.

13. Інформаційна система моніторингу енергоефективності будівель http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/24316/2/LPE_2018_Shabdinov_M-Information_system_of_101-102.pdf

14. Богомолів Ю. М. Інформаційні технології в організації будівництва / Ю. М. Богомолів. - Мінськ: ІРФ —Обозрение, 1997. – 240 с.

15. Данченко О. Б. Формалізація інформаційного середовища систем управління проектами будівництва складних енергетичних об'єктів / Данченко О. Б., Лега Ю. Г., Тесля Ю. М., Палагіна О. А., Черниш С. В. // Вісник ЧІТІ. – Черкаси: Графія України, 2001. – №1. – С.118-123.

16. CHERNIAVSKIY A., KOTLYAR R. Energy monitoring as part energy management system municipality // Norwegian Journal of development of the International Science. VOL.2. №5/2017. – P.100-105 (ISSN 3453-9875).

17. Энергетический мониторинг как механизм управления функционирования системы энергосбережения в бюджетной сфере / В.П. Розен, А.В. Чернявский, Е.А. Ячник, А.А. Войналович // Промислова електроенергетика та електротехніка (ПРОМЕЛЕКТРО). - №1. - 2010. - С.54-60.

УДК 621.3

Євдошенко К.О.
кафедра електропостачання**КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАХОДІВ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО СЕКТОРУ**

У статті визначено стан енергоефективності України, зокрема динаміку зміни енергоємності ВВП України, наведено рівень енергоємності порівняно з іншими країнами Європи та світу, дана характеристика енергоефективності регіонів України. Проаналізовано основні причини зниження енергоємності ВВП України. Досліджено енергомісткість житлово-комунального сектору та потенціал енергоефективності у даній сфері. Розглянуто основні чинники, що перешкоджають успішній реалізації органами місцевого самоврядування політики енергоефективності житлової сфери. Досліджено основні причини проблемного стану енергозбереження та енерговикористання в Україні, проаналізовано технічний стан житлового фонду. Розглянуто перспективи вирішення питань енергозбереження та енергоефективності житлово-комунального сектору, основні організаційні та технічні заходи енергозбереження. Проаналізовані реформи у законодавстві щодо енергоефективності. Розглянуто технічні, економічні аспекти впровадження заходів енергоефективності в житлово-комунальному секторі та основні критерії аналізу заходів. Розглянуто програми з енергоефективності житлово-комунального сектору в містах та регіонах України, виділено перспективні напрямки співдіяльності держави, банкових структур та жильців багатопверхових будинків в фінансуванні капітальних ремонтів будівель. Проаналізовано вплив інформаційно-популяризаційних програм на «енергосвідомість». Виявлено методи розрахунку ефективності заходів відповідно до характеристик будинків та перспективи прогнозування енергоспоживання будинків у разі проведення заходів.

Ключові слова: енергоефективність, заходи енергоефективності, енергозбереження.

The article defines the state of energy efficiency of Ukraine, the dynamics of changes in energy intensity of GDP of Ukraine, shows the level of energy intensity in comparison with other countries in Europe and the world, describes the energy efficiency of the regions of Ukraine. Article analyzes the main reasons for the decline in energy intensity of Ukraine's GDP. The article is devoted to the problem of energy intensity of the housing and communal sector and the potential of energy efficiency in this field and, also, to the main factors that hinder the successful implementation of local energy efficiency policies by local governments. The main causes of the problematic state of energy saving and energy use in Ukraine are investigated, the technical condition of the housing stock is analyzed. The main idea of an article is to elaborate on prospects for energy saving and energy efficiency of the housing and communal sector, main organizational and technical measures for energy saving. The reforms in the legislation on energy efficiency are analyzed. The article is devoted to prospects of solving energy saving issues and the energy efficiency in housing and communal sectors, is devoted to the main organizational and technical energy saving measures. The article deals with technical, organizational aspects of implementing the measures of energy efficiency in housing and communal sphere and, also, the main criteria of analyzing these measures. The programs on energy efficiency of the housing and communal sector in cities and regions of Ukraine are considered, the perspectives of cooperation of the state, banking structures and tenants of multi-

storey buildings in financing major repairs of buildings are highlighted. The influence of information and promotion programs on "energy awareness" is analyzed. Article shows methods for calculating the effectiveness of measures in accordance with the characteristics of the houses and the prospects of forecasting the energy consumption.

Key words: energy efficiency, energy saving technologies, energy saving measures.

Вступ. Постановка проблеми. Кризова економічна реалія України обумовлена низкою факторів, серед яких фігурує проблема енергозбереження та енергоефективності. Показник енергомісткості держави утричі перебільшує європейський. Проблеми зростання цін на енергоресурси, збільшення рівня забруднення навколишнього середовища, погіршення рівня надання комунальних послуг вимагають негайного вирішення. В розвинених країнах світу активно реалізується впровадження організаційно-технічних заходів енергоефективності в бюджетній та житлово-комунальних секторах. Реалізація політики енергоефективності ЖКГ в Україні ускладнюється не тільки економічними, фінансовими чинниками, але й технічним-70 % житлового фонду було збудовано до 1970-го року, що не передбачає наявність технологій моніторингу енергоспоживання та енергозбереження. З появою державних програм співфінансування робіт з капітального ремонту житлових будівель активізувалося впровадження методів енергозбереження.

Мета. Підвищення енергоефективності житлово-комунального сектору за рахунок отриманих знань про заходи енергозбереження та критерії аналізу їх ефективності.

Постановка завдання. Проаналізувати основні організаційно-технічні заходи енергоефективності в житлово-комунальному секторі, виділити переваги та недоліки того чи іншого заходу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій Енергоефективність регіонів України досліджено у роботах наступних вчених: Бараннік В.О., Додонов Б., Бойчук Н.Я. Розгляду та аналізу заходів енергоефективності присвячені статті Кицькай Л.І., Приступи М. Правові аспекти впровадження цих заходів визначаються «законом України про енергозбереження», «Енергетичною стратегією України до 2030 року», ДСТУ «Енергозбереження». В роботах сучасних практиків та вчених недостатньо інформації щодо аналізу ефективності заходів енергозбереження.

Виклад основного матеріалу. ***Основні причини проблемного стану енергоефективності житлового сектору.*** Неefективне використання енергетичних ресурсів є причиною енергетичної залежності України, показник «несамостійності» становить близько 51%. Одним із основних показників при визначенні енергоефективності економіки кожної країни є енергомісткість ВВП. В порівнянні з європейським – Україна перевищує значення у 3,12 разів та є найбільш енергомісткою державою в Європі, що видно з графіку статистичного центру Enerdata&worldbank (рисунок 1).

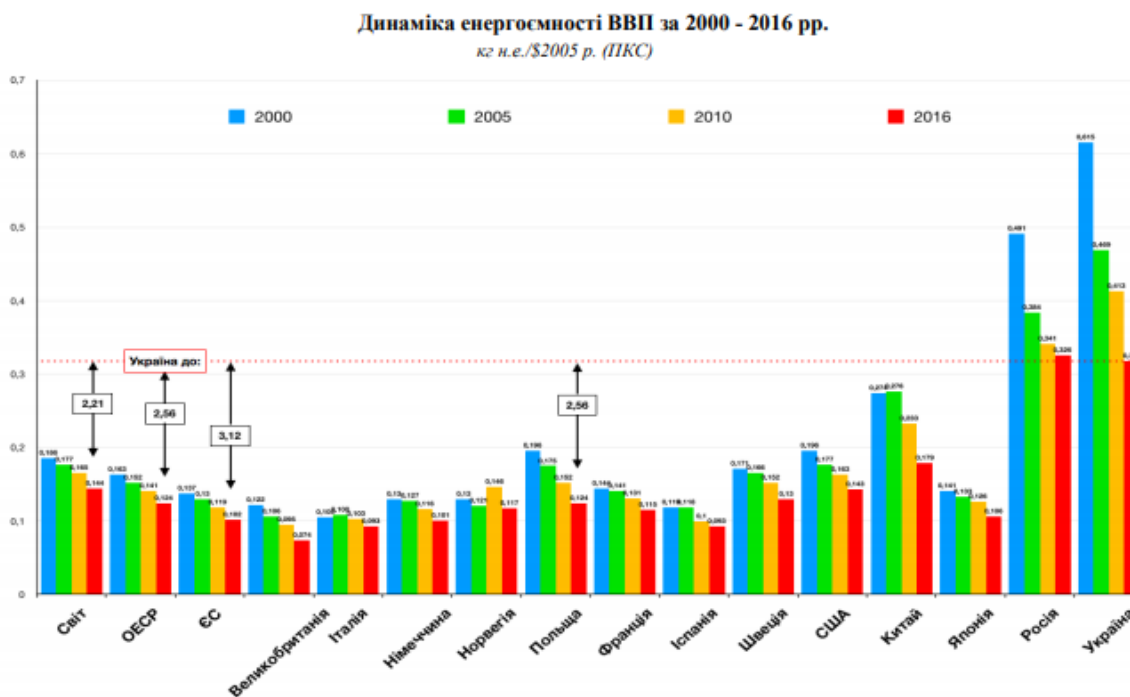


Рисунок 1-рівень енергосможності ВВП в Україні за паритетом купівельної спроможності

Частка споживання енергоресурсів України сектором житлово-комунального господарства становить 44%, тому значний відсоток енергозберігаючого потенціалу припадає саме на ЖКГ, що обумовлений відносно низькою собівартістю та відносно швидкою окупністю[1].

Не дивлячись на те, що енергоефективність житлового сектору є одним із найпріоритетніших напрямків діяльності органів місцевого самоврядування (органи місцевого самоврядування – сільські, селищні, міські, районні ради, відповідно до їх компетенції затверджують місцеві програми енергоефективності; створюють місцеві фонди для фінансової підтримки енергоефективних програм, проектів та заходів; визначають кошти місцевих бюджетів для фінансової підтримки місцевих програм енергоефективності) існують чинники, що перешкоджають реалізації цієї політики: економічні чинники, фінансові, політичні, соціальні, технічні.

До основних політичних причин можна віднести: відсутність пріоритету проблем підвищення енергоефективності; неефективне використання державних коштів; переважає політика економії ресурсів, а не ефективного використання ресурсів. До управлінських причин віднесемо: відсутність аналітиків та управлінців, які могли б скласти план розвитку у поточних умовах; недосконалість моніторингу споживання; відсутність управлінського персоналу, знайомого з сучасними системами управління енергією у містах; відсутність технічного персоналу, який знає технічні та технологічні аспекти споживання енергії під час надання енергосможних послуг, спроможного проводити енергетичний аудит об'єкта[2].

Серед основних правових причин можна виокремити: недоліки системи цивільного та житлового законодавства, що перешкоджають створенню приватного власника багатоквартирних житлових будинків, в яких проживає більш ніж 90% мешканців великих міст; обмеження чинного законодавства на можливості міста щодо розпорядження комунальним майном. Фінансові чинники- відсутність механізму

накопичення бюджетних грошей на впровадження енергоефективних технологій. Серед основних соціальних проблем необхідно виділити відсутність у всіх прошарок населення пріоритету раціонального використання енергосервісів через наявність інших соціально-економічних проблем, які висуваються на перший план.

До технічних перешкод реалізації політики енергоефективності відносяться: зношеність житлового фонду, 70% житлового фонду було збудовано до 1970-го року, що не передбачає наявності механізмів регулювання енерговикористання, недостатність наявності до останнього часу приладів обліку у кінцевого споживача, зношеність будівель, механізмів, обладнання, які входять до складу комунальних об'єктів, слабка обізнаність із ринком сучасного енергозберігаючого обладнання та матеріалів у інженерів-проектантів, здатних внести технологічні зміни у використовувані комунальних об'єктів та систем[2]. Скрутний стан житлового фонду є основним чинником переорієнтування управлінської політики на досягнення енергоефективності ЖКГ шляхом впровадження технічних та організаційних методів

Основні заходи енергоефективності в житлово-комунальному секторі.

Заходи енергоефективності можна поділити на технічно-технологічні та організаційно-правові.

До технічних енергоефективних методів у житлово-комунальній сфері відносяться: використання технологій енергозбереження (теплова ізоляція стін, утеплення/заміна вікон в квартирах та сходових клітках, енергоефективне освітлення, рекуператори тепла вентиляційного повітря); реконструкція систем гарячого водопостачання із використанням відновлювальних джерел енергії; використання альтернативної енергії (сонячні колектори).

До організаційних методів відносяться: інформаційна політика (проведення виставкових заходів, форумів, конференцій); запровадження державних програм із співфінансування робіт з капітального ремонту багатоквартирних будівель.

Серед прикладів інформаційно-популяризаційних заходів треба виділити наступні: II муніципального форуму «Енергоефективна столиця» спільно з КК «Центр комунального сервісу», який відбувся в рамках Європейського тижня місцевої демократії у Міжнародному конгрес-центрі «Український дім», конференції на тему: «Енергозбереження та енергоефективність у галузі жилого-комунального господарства столиці: досягнення та перспективи розвитку» в рамках проведення XIII Міжнародного конгресу «Інституційні та технічні аспекти реформування житлово-комунального господарства» на території Міжнародного виставкового центру.

За останні 4-5 роки в українському правовому полі було розроблено цільові програми енергоефективності, які спрямовані на реалізацію організаційно-технічних заходів, серед них: програма «70/30», комплексна цільова програма підвищення енергоефективності та розвитку житлово-комунальної інфраструктури міста Києва на 2016-2020 роки, **Програма "Теплий дім" щодо виконання капітального ремонту з утеплення зовнішніх стін житлових будинків, у яких створено ОСББ, на 2012-2017 рр. у Кривому Розі, Проект GIZ «Створення енергетичних агенств», а також інші конкурсні програми з реалізації проектів енергозбереження, програми фінансової підтримки від банківських установ населенню для впровадження енергоефективних технологій[3].**

Аналіз заходів енергоефективності. Очевидно, що для будівель різного класу (рисунок 2) енергоефективності той чи інший захід може бути більш або менш ефективним. Щоб проаналізувати ефективність того чи іншого заходу енергоефективності, необхідно сформулювати результати, на які ці заходи спрямовані:

економія енергетичних ресурсів в натуральному та вартісному вигляді, зменшення питомого енергоспоживання, зменшення витрат на комунальні послуги, при тому заходи повинні аналізуватися через вартісну парадигму- собівартість та окупність.

Таблиця 1-класифікація будинків за енергетичною ефективністю

| Класи енергетичної ефективності будинку | Різниця в % розрахункового або фактичного значення питомих тепловитрат, $q_{бу Д}$, від максимально допустимого значення, E_{max} , $((q_{бу Д} - E_{max}) / E_{max}) \cdot 100 \%$ |
|---|--|
| A | Мінус 50 та менше |
| B | Від мінус 49 до мінус 10 |
| C | Від мінус 9 до 0 |
| D | Від 1 до 25 |
| E | Від 26 до 75 |
| F | 76 та більше |

Економічну обумовленість реалізації заходу розраховують по формулі:

$$K_e = \frac{C_{рем.роб.} + C_{енер.зах}}{C_{відн.}} \leq 1 \quad (1)$$

Де K_e -коефіцієнт ефективності, $C_{рем.роб.}$ -вартість проведених робіт, $C_{енер.зах.}$ -вартість проведення заходу, $C_{відн.}$ -відновлюальна вартість будівлі.

Як було зазначено вище, для будинків різних класів той чи інший захід може бути більше або менш ефективним, але в загальному вигляді коефіцієнт ефективності для будинків в залежності від року забудови та етажності можна представити наступними графіками (рисунок 2, рисунок 3):

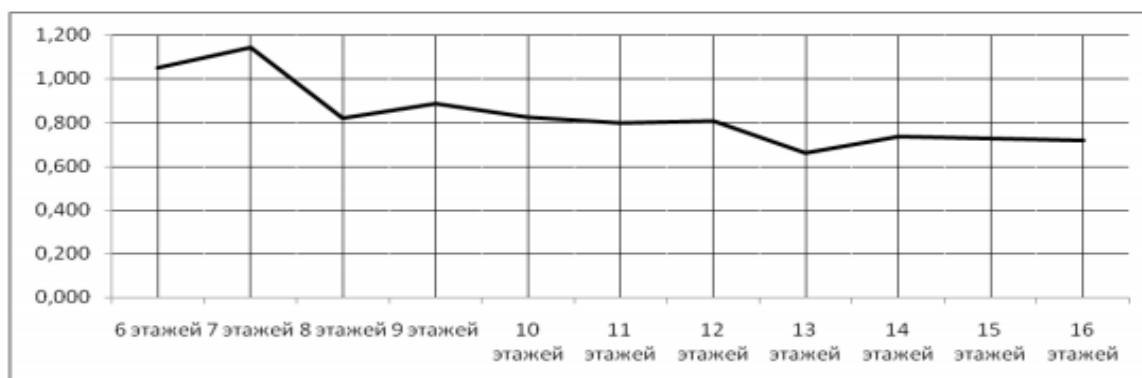


Рисунок 2-коефіцієнт ефективності для будинків різної етажності

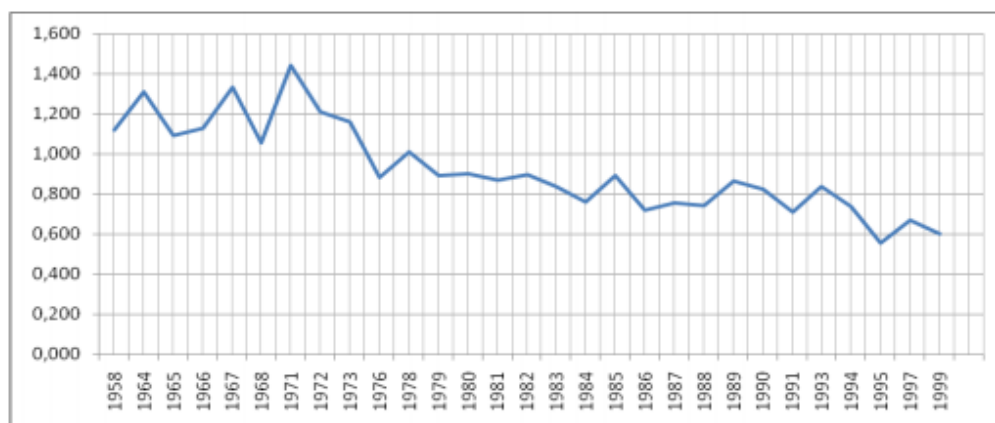


Рисунок 3-коефіцієнт ефективності для будинків різного року забудови

З графіків видно, що заходи енергоефективності в цілому більш ефективні для багатоповерхових будинків з 1995 року забудови (і пізніше)[4].

Для розрахунку періоду окупності використовують формулу:

$$DP = \frac{INVEST}{Et} \quad (2)$$

Де INVEST- капітальна вартість заходу, Et- економія в період часу t.

Багатофакторний аналіз дозволяє обрати найдоцільніший захід енергоефективності (або низку заходів) для певного будинка, що дозволяє у певний строк за наявності певного бюджету досягти необхідного рівня енергоефективності (або підвищити існуючий рівень).

Висновки. Потенціал енергоефективності є одним із головних питань української реальності, адже через низку політичних, економічних, фінансових, соціальних та технічних чинників енергомісткість в Україні утричі перевищує європейські показники. Саме тому одним із пріоритетних напрямків діяльності органів місцевого самоврядування є проведення заходів енергоефективності бюджетної та житлово-комунальної сфери. До технічних енергоефективних методів у житлово-комунальній сфері відносяться: використання технологій енергозбереження (теплова ізоляція стін, утеплення/заміна вікон в квартирах та сходових клітках, енергоефективне освітлення, рекуператори тепла вентиляційного повітря); реконструкція систем гарячого водопостачання із використанням відновлювальних джерел енергії; використання альтернативної енергії (сонячні колектори).

До організаційних методів відносяться: інформаційна політика (проведення виставкових заходів, форумів, конференцій); запровадження державних програм із співфінансування робіт з капітального ремонту багатоквартирних будинків, конкурсні програми з реалізації проектів енергозбереження, програми фінансової підтримки від банківських установ населенню для впровадження енергоефективних технологій.

Для будинків різного класу (що мають різні характеристики: рік забудови, площа, етажність і т.д.) той чи інший захід енергоефективності може бути більш або менш доцільним. Для підбору найбільш ефективного метода розраховують коефіцієнт ефективності, також враховують собівартість заходу та період окупності. Багатофакторний аналіз допомагає не тільки обрати доцільний захід для певного будинку, але й спрогнозувати показник ефективності для будівель того ж типу, року

забудови, етажності, що в свою чергу є важливою складовою реалізації політики енергоефективності в Україні.

Список використаних джерел

1. Степаненко І. І. ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРІ МІСТ УКРАЇНИ [Електронний ресурс] / І. І. Степаненко // Електронний журнал «Ефективна економіка» (З переліку наукових фахових видань України з питань економіки (Наказ Міністерства освіти і науки України від 11.07.2019 № 975). – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=394>.
2. Кицкай Л. І. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ В УКРАЇНІ: АНАЛІЗ, ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ / Л. І. Кицкай. // ІННОВАЦІЙНА ЕКОНОМІКА (Всеукраїнський науково-виробничий журнал). – 2013. – №41. – С. 32–37.
3. Технології енергозбереження [Електронний ресурс] // інформаційний ресурс з питань підвищення енергоефективності у житловому секторі в Україні -Теплий дім. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: http://www.teplydim.com.ua/uk/energy_saving_technologies.htm.
4. Абрамов А. Б. Украина: проблемы энергосбережения и энергоэффективности [Електронний ресурс]/ Абрамов Артем Борисович // Нардеп. – 2016. – Режим доступу: <http://nardep.org.ua/news/19606>
5. Інформація щодо потужності та обсягів виробництва електроенергії об'єктами відновлюваної електроенергетики, які працюють за «зеленим» тарифом (станом на 01.01.2017) [Електронний ресурс] : за даними Державного агентства з енергозбереження та енергоефективності України 2017 р. / Держенергоефективності України.

УДК 620.91:697.1

Мірошниченко В. О.

Кафедра електропостачання

**ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ НА
ОСНОВІ СТАНДАРТУ ISO 50001:2018****Анотація**

Промисловість використовує дуже складні системи, що складаються з обладнання та людських ресурсів, які організовані для задоволення виробничих потреб бізнесу. Ефективні та стійкі програми з енергоефективності в промислових умовах вимагають системного підходу для оптимізації інтегрованого цілого, дотримуючись первинних вимог бізнесу. Компанії, які розглядають енергію як керований ресурс та інтегрують свою енергетичну програму в свою практику управління, мають організаційний контекст для постійного пошуку можливостей для оптимізації їх використання.

Метою стандарту системи енергоменеджменту є надання керівництву промисловим та комерційним об'єктам інструкції щодо інтеграції енергоефективності у свою практику управління, включаючи точну настройку виробничих процесів та підвищення енергоефективності промислових систем. Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) визначила енергетичний менеджмент одним із перших п'яти пріоритетних напрямків розвитку стандартів. Стандарт ISO 50001:2018 створить міжнародні рамки для промислових, комерційних чи інституційних об'єктів або цілих компаній для управління їх енергією, включаючи закупівлі та використання. Стандарт може забезпечити значне, довгострокове підвищення енергоефективності (20 відсотків і більше) в промислових, комерційних та інституційних установах та скоротити викиди парникових газів у всьому світі.

У цьому документі описано схему покрокового впровадження системи енергетичного менеджменту розроблену на основі стандарту ISO 50001:2018.

Ключові слова: енергозбереження, енергоефективність, стандарт, система енергетичного менеджменту, ISO50001:2018

**IMPLEMENTATION OF ENERGY MANAGEMENT SYSTEM BASED ON ISO
50001:2018****Abstract**

Industry utilizes very complex systems, consisting of equipment and their human interface, which are organized to meet the production needs of the business. Effective and sustainable energy efficiency programs in an industrial setting require a systems approach to optimize the integrated whole while meeting primary business requirements. Companies that treat energy as a manageable resource and integrate their energy program into their management practices have an organizational context to continually seek opportunities for optimizing their energy use.

The purpose of an energy management system standard is to provide guidance for industrial and commercial facilities to integrate energy efficiency into their management practices, including fine-tuning production processes and improving the energy efficiency of industrial systems. The International Organization for Standardization (ISO) has identified energy management as one of its top five priorities for standards development. The new ISO 50001 will establish an international framework for industrial, commercial, or institutional

facilities, or entire companies, to manage their energy, including procurement and use. This standard is expected to achieve major, long-term increases in energy efficiency (20% or more) in industrial, commercial, and institutional facilities and to reduce greenhouse gas (GHG) emissions worldwide.

This document describes a step-by-step approach to the adoption and implementation of the energy management system, which are based on ISO 50001:2018

Key words: *energy saving, energy efficiency, standard, energy management system, ISO50001:2018*

Вступ

Мета будь-якого промислового об'єкта - це отримання прибутку за рахунок виробництва товарів та послуг, а не енергоефективності. Незважаючи на те, що протягом останніх кількох років на промислових ринках спостерігаються тенденції до підвищення енергетичної ефективності як інструменту боротьби зі зміною клімату, факт залишається фактом, що першочерговим завданням галузі є отримання прибутків. Нещодавнє відновлення спорів про те, що промисловість не може дозволити собі боротися зі змінами клімату під час нинішнього економічного спаду, фокусує увагу на певному дуалізмі. Енергоефективність демонструє, що це шлях до економії грошей промислових фірм, та одночасно позитивний вплив на продуктивність. Незважаючи на це, енергоефективність досі розглядається як розкіш, яку галузь не може собі дозволити, а не стратегічна інвестиція у майбутню прибутковість.

Це явище неможливо зрозуміти в суто економічному плані, оскільки воно значною мірою є функцією інституційної поведінки. Високі ціни на енергоресурси або обмежене енергопостачання мотивуватимуть промислові об'єкти намагатися забезпечити необхідну кількість енергії для роботи за найнижчою можливою ціною. Але ціна сама по собі не сприятиме покращенню культури корпоративного управління та збільшення потенціалу скорочення енергії та економії витрат, що може бути реалізовано завдяки систематичному прагненню до енергоефективності промисловості. Керівники, як правило, не є інженерами і часто не до кінця розуміють економічні наслідків енергоефективних операцій та практик. Саме ця недостатня обізнаність викликає неспроможність керувати енергоспоживанням з тією ж увагою, з якою, забезпечують якість виробництва, скорочення відходів та витрат на оплату праці.

Щоб бути корисними, програми з енергоефективності повинні залучати промисловість на рівні управління, а також інженерне обладнання. Оскільки прийняття промислових рішень відбувається зверху, невдача в управлінні призводить до втрачених можливостей.

Для побудови контексту буде надано огляд поетапного впровадження системи енергетичного менеджменту на типовому підприємстві. Особлива увага буде приділена існуючим і запланованим зусиллям щодо подолання перешкод впровадження ISO 50001:2018.

Мета та завдання дослідження:

Метою цього дослідження буде комплексний аналіз стандарту ISO 50001:2018 з метою написання поетапного плану його впровадження на підприємстві, враховуючи специфіку, що може бути у різних підприємств даної промисловості. Написаний поетапний план впровадження може бути використаний як додаток до циклу впровадження PDCA (Plan-Do-Check-Act), щоб отримати більш детальний огляд кроків, які необхідні для успішного впровадження Стандарту. Необхідно відмітити, що сценарій

який буде описано нижче є повним, але не вичерпним і при його застосуванні на конкретному об'єкті деякі кроки можуть бути необов'язковими, а деякі обов'язкові кроки можуть бути неописаними. У цілому, метою цього дослідження є отримання вичерпної інструкції до впровадження системи енергетичного менеджменту.

Створення, впровадження та підготовку до сертифікації системи енергетичного менеджменту рекомендуються проводити поетапно.

Матеріал та результати дослідження

В період між 2016 і 2018 роками з метою забезпечення актуальності та застосування стандартів до поточного бізнес-контексту міжнародний стандарт ISO 50001:2011 був переглянутий Технічним комітетом 301, внаслідок чого було прийняте друге видання ISO 50001:2018, яке анулює і замінює перше видання (ISO 50001:2011).

У порівнянні з першим виданням основні зміни торкнулися наступного :

- прийняття вимог ISO до стандартів на системи управління, охоплюючи структуру високого рівня, ідентичний ключовий текст, а також загальні терміни та визначення, щоб забезпечити високий рівень сумісності з іншими стандартами на системи управління;

- більш високий рівень інтеграції з процесами стратегічного управління;

- більш чітку мову та структуру документа;

- більш суворе підкреслення ролі найвищого керівництва;

- прийняття смислового порядку побудови термінів і їх визначень в розділі

3 і уточнення деяких визначень;

- включення нових понять, в тому числі поліпшення енергетичної результативності;

- більша чіткість в питанні виключення будь-яких видів енергії;

- роз'яснення поняття «енергетичний аналіз»;

- введення поняття унормування показників енергоефективності (ПЕЕ) і пов'язаних з ними базовим рівнів енергоспоживання (БРЕ);

- додаткові роз'яснення плану збору енергетичних даних і пов'язаних з цим вимог (раніше - план вимірювання енергії);

- більш чітке викладання тексту, що відноситься до показників енергоефективності (ПЕЕ) та базових рівнів енергоспоживання (БРЕ) з метою забезпечення кращого розуміння цих понять.

Впровадження системи енергетичного менеджменту на основі ISO 50001 передбачає певні ключові елементи, до переліку яких у 2018 році було додано енергетичний контекст, ризики та можливості. Крім того, до структурних змін в редакції 2018 року належить включення структури високого рівня. Це проста та ефективна концепція, яка передбачає використання ідентичного основного тексту, загальних термінів і визначень з метою забезпечення високого рівня сумісності з іншими стандартами на системи управління і на користь організаціям, які вирішують впровадити єдину (так звану «інтегровану») систему управління, яка одночасно відповідає вимогам двох або більше стандартів на системи управління. Як і інші стандарти на системи управління, зокрема ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001 тощо, стандарт ISO 50001 і надалі побудований на основі циклу «Плануй–Виконуй–Перевіряй–Дій».

Процес високого рівня для впровадження системи енергетичного менеджменту на основі ISO 50001:2018 включає наступні складові:

- 1) заручитися лідерством і зобов'язанням з боку вищого керівництва;
- 2) забезпечити наявність відповідних знань і підтримки для досягнення успіху;

- 3) збирати, відстежувати та аналізувати енергетичні дані;
- 4) визначити енергетичний контекст, ризики та можливості;
- 5) визначити сфери суттєвого енерговикористання, пріоритизувати основні джерела енергоспоживання;
- 6) визначити базовий рівень енергоспоживання і показники енергоефективності;
- 7) встановити механізм для постійного поліпшення енергетичної результативності;
- 8) визначити і пріоритизувати можливості для поліпшення енергетичної результативності;
- 9) встановити цілі/ завдання і розробити плани заходів для їхнього досягнення;
- 10) визначити сфери поліпшення через різні джерела: пропозиції працівників, служби інженерних мереж, служби технічного обслуговування, продавці устаткування, стандарти щодо устаткування, а також через різні інструменти енергетичної оцінки, стандарти і посібники;
- 11) після визначення сфер поліпшення, застосувати систематичний підхід (використовуючи такі критерії для прийняття рішень, як окупність (ROI), енергозаощадження, бізнес-цілі тощо) до пріоритизації і фокусування організаційних заходів;
- 12) відслідковувати результативність впровадження заходів, націлених на поліпшення енергетичної результативності;
- 13) демонструвати реальні вимірювані поліпшення;
- 14) впровадити структури для підтримання результатів та керування поліпшенням енергетичної результативності, зокрема, впровадження механізмів для постійного відслідковування енергетичної результативності, визначення і реагування на відхилення.



Рисунок 1 – Теоретичний порядок впровадження (діаграма Ганта) СЕнМ

Для успішного створення, впровадження та підготовки до сертифікації системи енергетичного менеджменту, на основі вимог ISO 50001:2018, зокрема успішного впровадження всіх етапів написаних вище, мною була розроблена покрокова розширена схема впровадження СЕнМ, що включає більш детальний аналіз необхідних кроків разом з їх аналізом та розбиттям на підкроки.

За результатами досліджень було виділено 6 основних кроків (етапів) впровадження системи енергетичного менеджменту:

Етап 1. Підготовчий.

1.1 Визначення організації, яка надає консультаційні послуги з розробки та впровадження системи енергетичного менеджменту, у разі якщо організації вирішує залучити таку. Заключення з нею договору.

1.2 Попереднє обстеження (діагностичний аудит) існуючої системи енергозбереження. Оцінка її відповідності вимогам стандарту ISO 50001:2018.

1.3 Створення Робочої групи, визначення її персонального складу, наділення повноваженнями.

1.4 Розробка календарного плану, графіка робіт по впровадженню системи енергетичного менеджменту.

1.5 Визначення області застосування системи енергетичного менеджменту (визначення межі).

1.6 Призначення Представника вищого керівництва з енергетичного менеджменту (відповідального за впровадження).

1.7 Розробка організаційної структури СЕНМ.

Етап 2. Навчання.

2.1 Навчання основам енергетичного менеджменту членів Робочої групи, керівників структурних підрозділів, ключових співробітників. Мета - вивчення вимог стандарту ISO 50001:2018 і отримання необхідних знань, обізнаності та компетентності.

2.2 Навчання внутрішніх аудиторів системи енергетичного менеджменту. Мета - отримання навичок проведення внутрішніх аудитів. Терміни і місце навчання визначаються Замовником, або внутрішнім регламентом організації.

Етап 3. Структурування процесу планування.

3.1 Розробка енергетичної політики та ознайомлення з нею персоналу підприємства.

3.2 Визначення принципів реалізації СЕНМ, при необхідності.

3.3 Проведення первинного аналізу розподілу і споживання енергетичних ресурсів з використанням результатів попереднього обстеження (аудиту).

3.4 Фіксування енергетичної базової лінії і базового періоду.

3.5 Визначення цільових показників та індикаторів енергоефективності.

3.6 Визначення (коригування) цільових показників.

3.7 Розробка (коригування) Програми енергозбереження та планів щодо її реалізації.

Етап 4. Документування.

4.1 Розробка «Енергетичного керівництва» (не потрібно ISO 50001:2018).

4.2 Розробка Процедури внутрішніх аудитів системи енергетичного менеджменту (не потрібно ISO 50001:2018).

4.3 Розробка Процедури управління документами (не потрібно ISO 50001:2018).

4.4 Розробка Процедури аналізу системи енергетичного менеджменту з боку керівництва (не потрібно ISO 50001:2018).

4.5 Розробка (коригування) документів в частині мотивації і стимулювання персоналу на енергозбереження (не потрібно ISO 50001:2018).

4.6 Розробка Регламенту взаємодії служб і підрозділів в рамках системи енергетичного менеджменту (не потрібно ISO 50001:2018).

4.7 Коригування іншої документації, що відноситься до області застосування системи енергетичного менеджменту (закупівлі, вимірювання, підтримання зв'язків, проектування, навчання і т.д.).

4.8 Інтеграція системи енергетичного менеджменту з іншими системами менеджменту (ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001), якщо є така необхідність.

Етап 5. Функціонування.

5.1 Впровадження розробленої документації системи енергетичного менеджменту.

5.2 Попередня експлуатація системи енергетичного менеджменту (як в цілому, так і кожного з її елементів окремо) з постійним контролем результатів її впровадження. Примітка: Цей етап зазвичай є найбільш трудомістким для аудитора системи. На цьому етапі виявляються і усуваються до 60-70% невідповідностей, про які повідомляється Замовнику.

Етап 6. Заключна оцінка.

6.1 Проведення внутрішніх аудитів системи енергетичного менеджменту або попереднього аудиту на відповідність вимогам стандарту ISO 50001:2018. Усунення виявлених невідповідностей.

6.2 Визначення органу з сертифікації. Оформлення і напрямки заявки на сертифікацію. Проведення сертифікаційного аудиту.

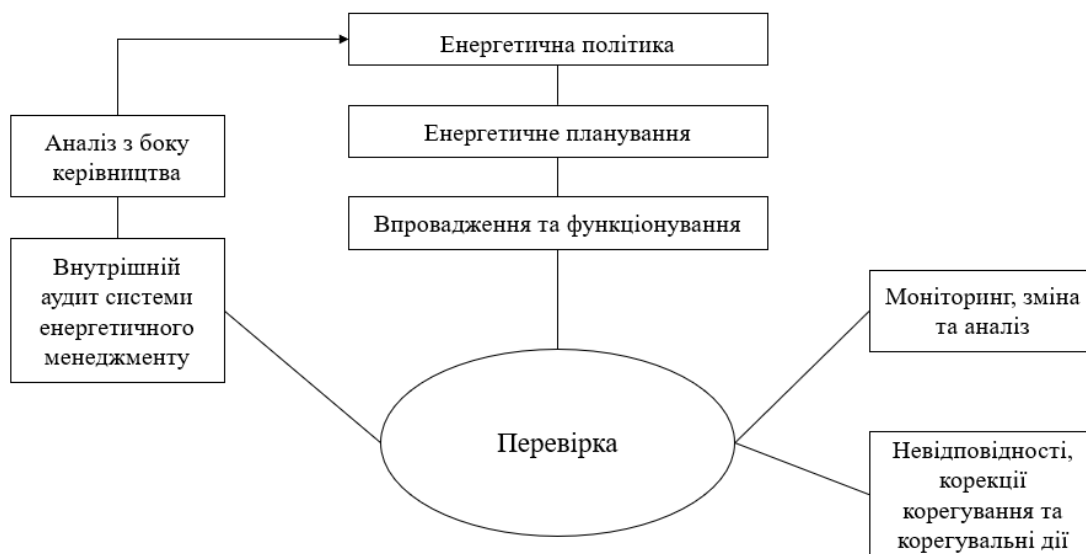


Рисунок 2 – Схема роботи впровадженої системи енергетичного менеджменту

Висновок

Енергетичний менеджмент є одним з основних інструментів для зниження споживання енергії і, тим самим, підвищення ефективності використання енергії на підприємствах. Система енергетичного менеджменту дозволяє контролювати споживання енергії. Це дозволяє порівнювати енергоємності виробництва з іншими підприємствами і точніше оцінювати економічну ефективність можливих проектів з енергозбереження. При цьому успішне використання системи енергетичного менеджменту залежить від ставлення керівництва. Позитивне ставлення керівництва дозволяє отримати значні результати.

Найбільш цікаві для менеджменту сфери - це зміни в поведінкових мотиваціях і організаційні заходи, не пов'язані з матеріальними витратами. Це досить швидко окупні заходи. На думку багатьох фахівців, заощадити на швидко окупних організаційних заходах можна приблизно стільки ж, як на заходах, пов'язаних з капіталовкладеннями. Але такі заходи часто вельми складно побачити і усвідомити.

Наявність інструкції, що приведена вище, дозволить керівництву краще розуміти етапність та структуру впровадження системи енергетичного менеджменту, що дозволить підвищити рівень їх залученості, зацікавленості та сприяння, що є найважливішим елементом у впровадженні СЕнМ. Крім того, наявність такої схеми значно полегшує планування впровадження системи енергетичного менеджменту, дозволяє встановити відповідальних за виконання кожного конкретного пункту та встановити цим відповідальним чіткі показники ефективності для моніторингу та контролю виконання. Більш того, враховуючи все вище перераховане, дана схема зможе збільшити зацікавленість у впровадженні системи енергетичного менеджменту та стати основою для більш поглибленого аналізу що створить комплексний поетапний план впровадження з аналізом ситуацій, можливих труднощів та методів їх подолання. Наявність такого плану значно спростить введення системи енергетичного менеджменту, а його успішне впровадження навіть може стати презумпцією відповідності стандарту ISO 50001:2018.

References

1. ISO 50001:2018 Energy management systems -- Requirements with guidance for use
2. ISO 50001:2011 Energy management systems -- Requirements with guidance for use

УДК 621.311

Кавун І. М.

Кафедра електропостачання
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**ПРИЄДНАННЯ УСТАНОВОК ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ДО МЕРЕЖ
ОПЕРАТОРА СИСТЕМИ РОЗПОДІЛУ З УРАХУВАННЯМ НАДІЙНОСТІ
ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ****Анотація**

В статті розглядається проблема надійності приєднання установок відновлюваної енергетики до мереж оператора системи розподілу. Розглядається та описується стійкість енергосистеми, технічний стан вузлів приєднання. Основна увага сконцентрована на вирішенні проблеми надійності мережі при підключенні нових генеруючих потужностей – сонячних електростанцій. На основі аналізу пропонуються варіанти впливу різних за потужністю сонячних електростанцій на мережу. Увага приділяється на необхідності запропонованих вирішень проблем для енергоефективності системи та безпеки населення.

Ключові слова: об'єкт, електропостачання, аналіз, технічний стан, надійність, відновлювальні джерела живлення, електроенергія, стійкість енергосистеми, надійність енергосистеми, показники.

Abstract

The article deals with the problem of reliability of connection of renewable energy installations to the networks of the distribution system operator. The stability of the power grid and the technical condition of the connection units are considered and described. The main focus is on solving the problem of network reliability when connecting new generating facilities - solar power plants. Based on the analysis, options for the impact of different solar power plants on the grid are proposed. Attention is paid to the need for proposed solutions to the problems of system energy efficiency and the safety of the population.

Keywords: object, power supply, analysis, technical condition, reliability, renewable energy sources, electricity, stability of the grid, reliability of the grid, performance.

Вступ. У світі спостерігається стійка тенденція до розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та поступового заміщення ними традиційної генерації електроенергії. Протягом останніх 4-ох років в Україні спостерігається поступове зростання встановлених потужностей ВДЕ, ось чому є актуальним питання надійності енергозабезпечення споживачів в умовах приєднання до джерел енергії ВДЕ, адже, як відомо, джерела альтернативної енергії працюють не завжди, наприклад, вночі сонячні електростанції не виробляють електричну енергію, вітрові електростанції не працюють у тихий день. Ось чому варто задуматись про надійність та безперебійність електроенергії від природних джерел енергії [2].

На сьогоднішній день найбільш поширеним джерелом електричної енергії, яка виробляється без шкоди довкіллю є електрична енергія згенерована сонячними електростанціями. Однак будівництво та введення в експлуатацію нових СЕС потребує підключень до ОЕС України з урахуванням забезпечення надійності та стійкості вузла енергосистеми так і енергосистеми в цілому.

Надійність енергосистеми є комплексною властивістю й визначається як здатність енергосистеми виконувати функції з виробництва, передачі, розподілу й постачання споживачів електричною енергією в необхідній кількості й нормованій якості шляхом взаємодії генеруючих установок, електричних мереж і електроустановок споживачів, у тому числі: задовольняти у будь-який момент часу (як поточний, так і на перспективу) загальний попит на електроенергію; протистояти збурюванням, викликаним відмовами елементів енергосистеми, включаючи каскадний розвиток аварій і настання форс-мажорних обставин; відновлювати свої функції після їх порушення [1].

Постановка завдання. Визначення стану та надання оцінки об'єднаної енергетичної системи та приєднання нових генеруючих потужностей до існуючих вузлів. Розгляд можливості використання технологій ВДЕ для збільшення надійності електрозабезпечення споживачів.

Матеріал і результат дослідження. Статична стійкість – здатність енергосистем повертатись до усталеного режиму після малих збурень. Запас статичної стійкості для даного режиму роботи енергосистем визначається його близькістю до межі області стійкості, яка може бути зумовлена аперіодичним чи коливальним порушенням стійкості. Запас статичної стійкості характеризується коефіцієнтами запасу з активної потужності в перетинах енергосистеми та з напруги у вузлах навантаження.

Значення коефіцієнта запасу з активної потужності в перетині K_p визначається за формулою:

$$K_p = \frac{P_{pr} - P - \Delta P}{P}$$

де P_{pr} – активна потужність, яка передається через перетин, що розглядається у граничному за статичною стійкістю режимі; P – перетік у перетині в режимі, що розглядається; $P > 0$; ΔP – амплітуда нерегулярних коливань активної потужності в цьому перетині в режимі, який розглядається.

Значення коефіцієнта запасу з напруги K_u у вузлах навантаження визначаються за формулою:

$$K_u = \frac{U - U_{кр}}{U}$$

де U – напруга у вузлі в режимі, який розглядається; $U_{кр}$ – критична напруга в цьому ж вузлі, яка відповідає межі, нижче якої має місце порушення статичної стійкості.

За умовами статичної стійкості енергосистем нормують мінімальні коефіцієнти запасу з активної потужності в перетинах і мінімальні коефіцієнти запасу з напруги у вузлах навантаження. Крім того, встановлюють групи збурень за яких повинні забезпечуватись як динамічна стійкість, так і нормативні запаси статичної стійкості в післяаварійних режимах. При цьому в допустимій області режимів повинна забезпечуватись відсутність саморозхитування. Якщо саморозхитування має місце, то треба вживати заходи щодо усунення його причини, а також оперативно виконати додаткове розвантаження перетину, в якому проявляється саморозхитування, до повного його виключення [5].

Вимоги до стійкості енергосистем можуть забезпечуватись за рахунок:

- посилення електричної мережі;

- зменшення часу відключення КЗ шляхом удосконалення та оптимізації налаштування пристроїв АПВ (наприклад, за рахунок використання адаптивного АПВ, вибору порядку постановки лінії під напругу, зменшення безструмової паузи АПВ) та ін.;

- використання автоматичному запобіганню порушення стійкості (АЗПС);
- зміни режиму роботи енергосистем.

Динамічна стійкість – здатність енергосистеми повертатись до усталеного режиму після різкого збурення (КЗ, відключення будь-якого елементу енергосистеми і ін.).

Розрахункову тривалість КЗ приймають:

- при проектуванні – відповідно до розрахункових значень;
- при експлуатації – за верхньою межею фактичних значень з урахуванням розкиду часу відключення КЗ.

Надійність (безперервність) електропостачання, якість електричної енергії.

Сьогодні НКРЕКП визначено основні показники надійності (безперервності) електропостачання для електророзподільних компаній: індекс середньої тривалості довгих перерв в електропостачанні в системі (SAIDI), індекс середньої частоти довгих перерв в електропостачанні в системі (SAIFI) та розрахунковий обсяг недовідпущеної електроенергії (ENS), а також процедуру збору первинної інформації, її обробки та надання звітності до НКРЕКП з метою моніторингу даних показників. У 2018 році загальний показник SAIDI по Україні знизився на 4,4%. У той же час порівняно з попереднім роком показники SAIDI у 2018 році зросли у 15 електророзподільних компаній [1].

НКРЕКП затверджує цільові показники надійності (безперервності) електропостачання для ліцензіатів, що здійснюють господарську діяльність з розподілу електричної енергії. Цільові індекси SAIDI (з вини компаній – планових без попереджень переривань та переривань, пов'язаних із технологічними порушеннями в електропостачанні) за 2018 рік по кожному ліцензіату встановлено постановою НКРЕКП від 14.06.2018 №392. Динаміку щодо показників SAIDI та ENS за період 2011 - 2018 років наведено на рис. 1 [1].

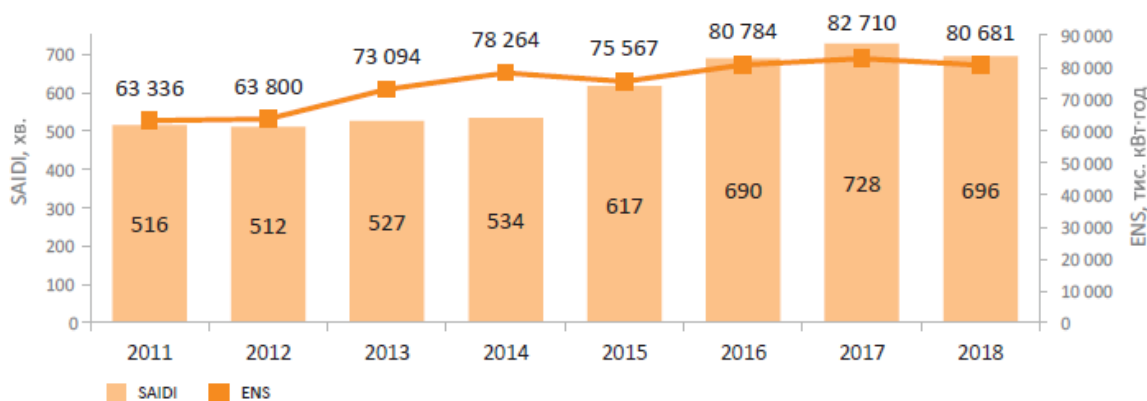


Рисунок 1 – динаміка показників SAIDI та ENS за період 2011 – 2018 роки

Порівняно з країнами ЄС показники SAIDI в Україні є значно вищими. Це обумовлюється в тому числі і тим, що в ЄС здійснюється не лише моніторинг показників надійності електропостачання, а і їх регулювання.

Отже, питання надійності та стійкості ОЕС України мають дуже важливе значення особливо в умовах приєднання різних типів станцій.

Друге проблемне питання це приєднання установок ВДЕ до електричної мережі.

Розвиток ВДЕ та побудова нових СЕС зростає все більше і більше. Стимулювання державою «зеленим тарифом» спонукає до побудови нових потужних сонячних електростанцій та пошуку оптимальних точок приєднання до мережі для видачі потужності.

Як відомо кожне нове приєднання це додаткове навантаження на вузол приєднання – електрична підстанція, але в загальному приєднання установок ВДЕ повинно здійснювати позитивний вплив на мережу. Тож розглянемо проблемні питання з точки зору приєднання.

По-перше, високий тариф для ВЕС і СЕС (яких вже побудовано досить багато) важким тягарем лягає на всю галузь, приводячи до зростання оптової ціни. «Зелена» енергія занадто дорого обходиться ринку в порівнянні з енергією ТЕС і АЕС. Хоча її частка в загальному виробітку нижче 2%, частка в грошових коштах, одержуваних виробниками електроенергії, вже перевищила 8%. Великі виплати «зеленої» генерації неминуче збільшують оптову ринкову ціну електроенергії і лягають на кінцевого споживача.

По-друге, мережева інфраструктура вже вичерпує свої можливості приєднання нової відновлюваної генерації. Про це вже більше ніж рік заявляє оператор магістральних мереж НЕК «Укренерго», про це говорять і оператори розподільчих мереж. Подальше нарощування «зелених» потужностей може привести до розбалансування енергосистеми в ряді регіонів. Якщо говорити про групу компаній VS Energy, то проблема приєднання нових проектів відновлюваної енергетики особливо актуальна для «Херсонобленерго» і «Одесаобленерго», оскільки в регіонах, де працюють ці компанії, інтенсивно будуються нові ВЕС і СЕС [1].

Обидві проблеми можуть бути вирішені заміною «зеленого» тарифу системою аукціонів для нових проектів, яка вже успішно застосовується в багатьох країнах. Тепер такі проекти не будуть автоматично отримувати високий тариф для своєї генерації, їх власники будуть купувати у держави потребу в генеруючих потужностях на аукціонах. Очевидно, що перехід на систему аукціонів сповільнить зростання «зеленої» генерації і обмежить число гравців. Крім того, зміниться їх склад і масштаб нових проектів.

Звичайно, аукціони не розв'яжуть всі питання пов'язані з «зеленою» генерацією. Зокрема, невирішеними залишаються проблеми приєднання нових проектів.

З 2018 року порядок приєднання до електричних мереж системи передачі та систем розподілу регулюється прийнятими НКРЕКП на виконання Закону України «Про ринок електричної енергії» Кодексом системи передачі [4] та Кодексом систем розподілу відповідно [3]. Кодексами також визначаються технічні вимоги до електроустановок при приєднанні до електричних мереж, типові форми технічних умов на приєднання, а також типові форми договорів про приєднання електроустановок до електричних мереж.

Введення в дію та реалізація вимог Кодексу системи передачі прискорить приведення технічних параметрів ОЕС України у відповідність до мінімальних загальних вимог ENTSO-E для подальшої синхронізації ОЕС України з енергосистемою ENTSO-E та сприятиме мінімізації технічних обмежень для роботи ринку електричної енергії, у тому числі щодо використання міждержавних інтерконекторів та експорту/імпорту електричної енергії. Все це, у свою чергу, призведе до підвищення надійності

функціонування ОЕС України та безпеки постачання електричної енергії споживачам.

Розглянемо приєднання реальних СЕС та їх вплив на мережу [6].

Класифікуємо СЕС за потужністю:

- побутові (≤ 30 кВт)
- середні (500 кВт)
- промислові (> 1 МВт)

Проаналізуємо кожен вид цих електростанцій:

Побутові СЕС потужністю до 30 кВт встановлюють для приватних домогосподарств. Приватні домогосподарства використовують вироблену електроенергію для власних потреб, частину накопичують в батареях, і частину віддають в мережу. Як бачимо встановлення побутових СЕС «позитивно» впливає на мережу не створює додаткового навантаження, а навпаки розвантажує підстанцію та лінію електропередач особливо в пікові години роботи.

Середні СЕС встановлюють зазвичай в сільських районах для забезпечення електроенергією невеликих підприємств. Досить широка протяжність ліній електропередач в сільських регіонах та підключення до них споживачів електричної енергії завантажують мережу та погіршують якісні характеристики параметрів електроенергії (спад напруги на кінці лінії). Встановлення сонячної електростанції для забезпечення електроенергією конкретного споживача, має «позитивний» вплив на мережу та зменшення завантаженості ЛЕП.

Промислові СЕС потужністю 1 МВт і більше встановлюють і генерують електроенергію для всіх споживачів, віддаючи всю вироблену електроенергію в мережу. Потужність таких СЕС може сягати сотні МВт і спричиняти негативні впливи на мережу:

- розвантаження одних ЛЕП і в свою чергу завантаження трансформатора в точці приєднання на підстанції та завантаженні інших ЛЕП;
- збільшення перетоків реактивної потужності;
- розбалансування електричної мережі;
- порушення стійкості та надійності вузла приєднання.

Отже, як бачимо, приєднання СЕС до мережі вимагає врахування всіх критеріїв щодо надійності та стійкості вузла та мережі.

Висновки. З результатів теоретичних досліджень та практичних розрахунків щодо впливу ВДЕ на режими роботи електричних мереж встановлено, що через суттєву різницю генерування та сумарного навантаження електричних мереж 110(35) кВ вплив ВДЕ на їх режими практично співмірний з нормативною похибкою вимірювань. Показано, що ВДЕ з встановленою потужністю до 500 кВт практично не впливають на режими роботи таких електричних мереж і не призводять до зміни втрат потужності в них.

Показано, що для електричних мереж 10 кВ через більшу чутливість режиму до зміни потужності генерування ВДЕ, особливо приєднаних в електрично віддалених вузлах, діапазон потужностей генерування станцій, що супроводжується гарантованим позитивним впливом на рівень втрат та відхилення напруги, обмежується значеннями 100–200 кВт залежно від режиму електричних мереж. Для ВДЕ, встановлена потужність яких перевищує 200 кВт, для електричних мереж 10 кВ актуальною є задача оптимізації схем їх приєднання до електромереж. Те ж саме для ВДЕ з встановленою потужністю більше 500 кВт для електричних мереж 110(35) кВ.

Список використаних джерел

1 Звіт НКРЕКП за 2018 рік. Режим доступу
https://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Catalog3/Richnyi_zvit_NKREKP_2018.pdf

2. Паливно-енергетичний комплекс України в контексті глобальних енергетичних перетворень / [Шидловський А. К., Стогній Б. С., Кулик М. М. та ін.] – К. : Українські енциклопедичні знання, 2004. – 468 с.

3. Кодекс системи розподілу. Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0310874-18>

4. Кодекс системи передачі. Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0309874-18>

5. Smail Khennas, Andrew Barnett. Best Practices For Sustainable Development Of Micro Hydro Power In Developing Countries (Final synthesis report). // The Department for International Development, UK, The World Bank. – 2000. – 119 p.

6. Лежнюк П. Д. Оптимальне керування розосередженими джерелами енергії в локальній електричній системі / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, О. А. Ковальчук // Праці Інституту електродинаміки НАН України : збірник наукових праць. Спеціальний випуск, ч. 1. – 2011. – С. 48–55.

Кравченко В. Є.
кафедра електропостачання

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ З ПОБУДОВОЮ СИСТЕМИ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

Анотація

Доповідь на тему «Підвищення рівня енергоефективності житлового будинку з побудовою системи енергоменеджменту» складається з 4-х сторінок тексту. В тексті наведено 1 ілюстрація, та 5 посилань на джерела. Метою доповіді є підвищення рівня енергоефективності житлового будинку. Розробка системи енергетичного менеджменту.

Ключові слова: підвищення енергоефективності, енергетичні ресурси, електрична енергія, теплова енергія, система енергоменеджменту.

The report on "Increasing the level of energy efficiency of a residential building with the construction of an energy management system" consists of 4 pages of text. The text contains 1 illustration and 5 references to sources. The goal of the report is to increase energy efficiency of a residential building. Development of the energy management system.

Keywords: energy efficiency, energy resources, electric energy, thermal energy, energy management system.

Вступ

Протягом останніх десятиліть в розвинутих країнах світу спостерігається істотне зростання ВВП при незначному збільшенні загального споживання енергії та практично незмінному споживанні енергії на душу населення. Так у своїй роботі доценти Карюк А.М., Кошлатий О.Б., Львовська Т.В. та професор Пашинський В.А. приводять статистику, що за даними Enerdata World Bank [1], обсяг світового ВВП протягом 2000-2016 рр. зріс на 77%, а його питома енергомісткість завдяки впровадженню енергоефективних технологій знизилася на 31,5%. Глобальні інвестиції в енергетичну сферу у 2016 р. зросли на 6% відносно 2015 р., але при цьому інвестиції в нафтову і газову сферу скоротилися більш ніж на чверть. Інвестиції в підвищення енергоефективності переважають у будівельному секторі, зокрема в системи обігріву, кондиціонування та освітлення [5]. Міжнародним Енергетичним Агентством [2] відмічено, що найвищих результатів у сфері енергоефективності досягнуто в Європейському Союзі. Подальше зниження енергомісткості ВВП та підвищення енергоефективності будівництва й комунального господарства в країнах ЄС реалізується шляхом планування та реалізації таких заходів:

- визнання енергоефективності найбільш ефективним засобом підвищення енергетичної безпеки, конкурентоспроможності, зниження викидів парникових газів та інших забруднюючих речовин в атмосферу;
- формування єдиної нормативно-правової бази ЄС з розвитку енергетики й підвищення енергоефективності у вигляді Директив ЄС та національних стандартів щодо енергетичних характеристик та енергоспоживання будівель;
- визнання пріоритетності та практична реалізація політики підвищення енергетичної ефективності в житловому секторі, оскільки в країнах ЄС будівлі споживають понад 40% первинних енергоресурсів;

- встановлення незалежної системи контролю якості в будівельному секторі з урахуванням національних особливостей та економічних можливостей;
- зменшення обсягів кінцевого споживання енергії за рахунок посилення вимог стандартів щодо питомого споживання енергії новими будівлями;
- встановлення цільових значень та показників енергетичної ефективності будівель з урахуванням структури споживання первинних енергоресурсів, визначення понять "будинки низького споживання енергії" та "будівля з нульовим енергетичним балансом", обов'язкова реалізація цих вимог при зведенні нових будівель;
- обов'язкове підвищення енергетичної ефективності та використання технологій на основі поновлюваних джерел енергії під час реконструкції існуючих будівель;
- розроблення та впровадження спеціальних вимоги щодо енергетичної ефективності систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря;
- зменшення надходжень енергії до будівель із зовнішніх теплових та електричних мереж за рахунок підвищення теплоізоляції, рекуперації; власного виробітку за допомогою сонячних батарей, колекторів, теплових насосів, вітрогенераторів і безпосереднього сонячного обігріву;

Перед містами України постають різноманітні виклики. Постійно зростаючі витрати на енергоносії при обмежених фінансових ресурсах та занедбаний стан більшості будівель — серед найбільших із них. Перевіреною методом для вирішення обох цих проблем одночасно є енергетичний менеджмент. Він допомагає зменшити тягар вартості енергоносіїв та утримувати будівлі в належному стані для роботи, навчання і проживання. Енергетичний менеджмент — це організаційний процес моніторингу, контролю та оптимізації постачання й використання енергії. Його метою є скорочення витрат на енергію, забезпечення достатнього постачання енергії і надання високоякісних енергетичних послуг, таких як освітлення або опалення. Базуючись на здобутках передових міст, за ініціативи Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України з метою запровадження комплексу інструментів, які створюють нормативно-правові, організаційні, фінансові й адміністративні основи впровадження систем енергоменеджменту на обласному, місцевому рівнях та в окремих бюджетних установах, розроблений проект розпорядження Кабінету Міністрів України "Про План заходів із впровадження систем енергетичного менеджменту в бюджетних установах". Проект розпорядження є важливим кроком щодо забезпечення виконання Плану заходів Національного плану дій з енергоефективності на період до 2020 року, затвердженого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 25.11.2015 № 1228, а також імплементації Директиви Європейського Парламенту і Ради 2012/27/ЄС від 25.10.2012 про енергоефективність. Адже європейський досвід свідчить, що енергетичний менеджмент — це успішний і прибутковий бізнес[4].

Мета та завдання

1) Метою цієї доповіді є визначення чітких стратегій та встановлення ефективних механізмів у сфері енергоспоживання, яке у довгостроковій перспективі забезпечить для житлового будинку ефективне споживання енергоресурсів, а саме:

- 1.1. раціональні видатки бюджетних коштів на придбання енергоресурсів;
- 1.2. оптимізацію структури споживання енергоресурсів;
- 1.3. підвищення ефективності використання всіх видів енергоносіїв;
- 1.4. покращання якості енергетичних послуг та можливостей для їх регулювання;
- 1.5. залучення інвестицій для модернізації систем енергопостачання та стану житлової будівлі;

1.6.впровадження інноваційних рішень із застосуванням новітніх технологій, матеріалів, сировини;

2)Основним завданням доповіді є визначення організаційно-управлінських та технологічних підходів, на основі яких будуть визначені шляхи щодо введення та реалізації системи енергетичного менеджменту для комунальної сфери

Матеріал та результати досліджень

Побудова системи енергетичного менеджменту в умовах житлової будівлі є досить складним питанням. СЕнМ важко реалізувати хоча б тому, що абсолютно кожен мешканець будівлі має чітко розуміти що це таке і навіщо воно необхідно. Максимального ефекту від впровадження СЕнМ можливо досягти лише за чіткої взаємодії між мешканцями будинку та житлово-комунальними структурами, які в свою чергу мають досягти взаємодії зі структурами на рівні міста. Існує безліч методів, для зменшення споживання енергоресурсів, не лише заходи з енергозбереження такі як термомодернізація будівлі або системи теплопостачання, модернізація систем освітлення та вентиляції та багато інших шляхів. Але всі вони можуть мати більший ефект якщо вони є не окремо застосованим заходами, а є невід'ємною частиною системи енергетичного менеджменту. Слід розуміти, що система енергоменеджменту потребує чіткої організації усього процесу, починаючи від залучення кваліфікованих фахівців та закінчуючи додатковою проінформованістю мешканців будівлі. Як побудувати систему енергетичного менеджменту, розглянемо по крокам[5]:

Крок1.Прийняття рішення. Першочерговим етапом до впровадження системи енергетичного менеджменту має бути прийняття політичного рішення про впровадження в органах муніципалітету системи енергетичного менеджменту.

Крок 2.Залучення професійних консультантів. Досить очевидним є той факт, що без залучення досвідчених фахівців на муніципалітетах абсолютно неможливо впровадити систему енергоменеджменту, а тому існує необхідність щодо їх безпосереднього залучення. Саме фаховість є основним критерієм вибору, оскільки саме від професійності, наполегливості та чіткого виконання усіх рекомендацій залежить успішність впровадження даної системи.

Крок3.Визначення складових системи енергетичного менеджменту. Даний крок можна розділити на три складові. До першої складової можна віднести проблему підбору персоналу. Дану проблему можна вирішити двома шляхами. Перший шлях – це навчання спеціалістів на спеціалізованих курсах ВНЗ України та додаткове надбання знань, за допомогою залучення консультантів(див. Крок 2). Це дасть змогу уникнути банальних помилок на початковому періоді. Шлях другий – залучення консалтингових компаній для полегшення навантаження на муніципалітет щодо оплати праці працівників.

До другої складової відноситься побудова системи обліку енергоресурсів та усіх факторів що впливають на ресурсоспоживання. Це важливо, оскільки дає змогу контролювати ресурсовикористання, проводити моніторинг та перевірку ефективності від впроваджених у подальшому заходів з енергозбереження. Найбільшої ефективності та підвищення оперативності при отриманні даних, можна досягнути за допомогою автоматизованих систему контролю та обліку енергоресурсів або АСКОЕ.

До третьої складової відноситься алгоритм прийняття рішень та дій. Для цієї складової необхідно створити певний пакет документів та правильно вписати систему енергоменеджменту в управлінські структури.

Крок 4. Відповідність стандартам ISO 50001. Основою системи енергоменеджменту є згідно до стандарту є цикл Демінга PDCA – Плануй(Plan) – Дій (Do) – Перевірйай (Check) – Вдосконалюй (Act).

Крок 5. Атестація системи енергоменеджменту. Атестацію слід проводити незалежним органом міжнародної стандартизації ISO для уникнення похибок та помилок організаційного характеру.

Крок 6. Безперервність функціонування. Безперервність має бути закріплена рішенням міської ради та наказом по комунальному підприємству. Також необхідна щомісячна звітність енергоменеджера на сесіях у міській раді та щорічний звіт енергоаудиторської компанії про стан системи енергоменеджменту.

В загальному вигляді принцип побудови системи енергоменеджменту можна зобразити наступним чином:

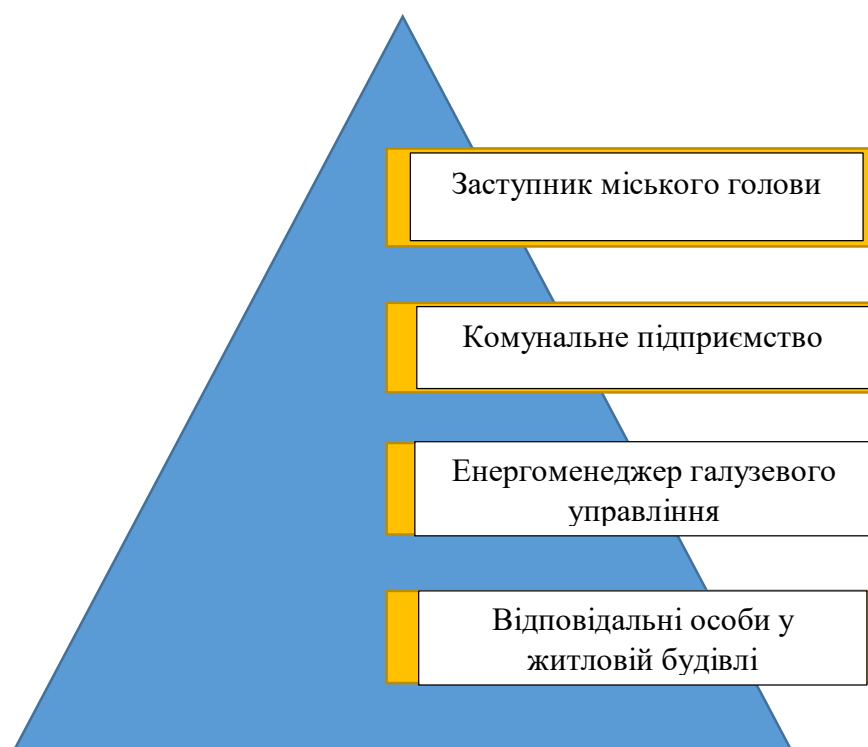


Рис.1 – Принцип побудови системи енергоменеджменту житлової будівлі

Висновок

Управління споживанням енергії розглядається не тільки як інструмент для зменшення обсягів енергоспоживання та витратків на оплату енергоносіїв бюджетними установами та закладами, що утримуються за кошти місцевих бюджетів, але й як шлях до підвищення якості комунальних послуг, комфортності перебування у будівлях. Оптимізуючи енергетичні потоки на місцях можна економити 15-30% споживання енергетичних ресурсів.

Застосування постійної перевірки та внутрішнього аудиту сприятиме формуванню позитивного іміджу території, яка демонструє постійне дотримання нормативно-правових вимог у галузі енергоефективності, захисту навколишнього середовища, економії природних ресурсів, зниження екологічних ризиків та ризиків пов'язаних з енергопостачанням і енергоспоживанням.

Перелік використаних джерел

1. Global Energy Statistical Yearbook / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.enerdata.net/publications/world-energy-statistics-supply-and-demand.html>
2. Карюк А.М. Шляхи підвищення енергоефективності будівель в країнах ЄС та в Україні / А.М. Карюк , О.Б. Кошлатий, Т.В. Львовська, В.А. Пашинський // Technology, Engineering and Science – 2018 : зб. наук. праць за матер. I Міжнар. наук.-практ. конф, Лондон, 24 – 25 верес. 2018 р. – Полтава : ПолтНТУ, 2018. – С. 19-21/[Електронний ресурс] – Режим доступу:<http://reposit.pntu.edu.ua/handle/PoltNTU/5077>
3. World Energy Investment 2017 / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.iea.org/publications/wei2017/>
4. Енергетичний менеджмент у містах у рамках співпраці з Німеччиною GIZ/ [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://eeim.org.ua/wp-content/uploads/2013/11/2017-Energy-Management-in-Municipalities_UKR.pdf
5. Посібник муніципального енергетичного менеджменту / [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://aea.org.ua/wp-content/uploads/em/AEA_energy-management.pdf

УДК 620.91:697.1

Березняк А. А.
Кафедра електропостачання**ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТИПОВИХ
ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ ОСВІТИ**

У статті розглянута проблема покращення енергоефективності закладів освіти. Досліджено методи оцінки та групування заходів з енергозбереження для подальшого групування їх в систему типових заходів з енергозбереження.

Ключові слова: енергоефективність, енергозбереження, заходи з енергозбереження, типові заходи, потенціал, навчальний заклад

**RESEARCH INTO THE POSSIBILITY OF IMPLEMENTING TYPICAL
ENERGY CONSERVATION MEASURES FOR EDUCATIONAL INSTITUTIONS**

The article deals with the problem of improving the energy efficiency of educational institutions. The methods of estimation and grouping of energy saving measures for further usage in implementation of energy management system.

Keywords: energy efficiency, energy saving, energy conservation measures, typical measures, potential, educational institution

Вступ Проблема енергоефективного використання енергії серед закладів освіти та комунальних споруджень є досліджуваною на протязі останніх років, наприклад, в роботах Павленко Н.М., також потенціал енергоефективного споживання в учбових закладах розглядала у своїй роботі Гончаренко І.М. Варто зазначити, що ця проблема впливає на розвиток енергетичної та економічної системи України в цілому, що зазначено в статті Морова С.В., Гошева Г.О. Сьогодні формування системи енергоефективних заходів в галузі освіти здійснюється не планомірно, та зазвичай носить характер часткових не узгоджених рішень в окремих її елементах, що значною мірою спричинено складністю вирішуваних управлінських завдань, неповнотою та недостовірністю інформації про енергетичні та експлуатаційні показники підвідомчих об'єктів. Запровадження системи енергоменеджменту здебільшого займає багато часу.

Мета та завдання. Для досягнення мети поставлені та вирішені такі завдання:

1. Огляд стану енергоефективності шкіл та ДНЗ України та виявлення основних проблем, що стоять на шляху формування енергоефективних середніх та молодших закладів освіти.

2. Аналіз існуючих способів підвищення рівня енергоефективності освітніх закладів України. Основними причинами завищених витрат енергоносіїв у бюджетних закладах є:

- недостатній моніторинг відповідних осіб за витратою енергоносіїв;
- не запроваджені енергетичні паспорти установ;
- не повірені/не працюючі/відсутні лічильники використання теплової енергії та води;
- не правильно працююча існуюча система освітлення, тобто без автоматизації та з неправильним використанням, розташуванням джерел світла;
- відсутність автоматизації регулювання систем опалення гарячого водопостачання й вентиляції;

- великі тепловтрати через будівельні конструкції і вікна.

Матеріал та результати дослідження. Шляхами вирішення питань, пов'язаних з нераціональним енерговикористанням в галузі освіти є розробка нових й удосконалення існуючих методів оцінювання рівня енергоефективності, проведення енергетичних обстежень будівель, побудова системи управління ефективністю енергоспоживаючих об'єктів, розробка та реалізація дієвої програми з підвищення енергоефективності.

Результат дослідження. Всі заходи економії енергії, енергозбереження, підвищення енергоефективності відрізняються численною кількістю специфічних характеристик,

зокрема, технічними та технологічними особливостями, терміном окупності, рівнем економії

енергії, особливостями експлуатації, необхідними для впровадження та використання ресурсами,

габаритами і т.д. Тому, для того щоб вибрати оптимальний набір заходів, необхідно провести

оцінювання доцільності їх впровадження. Одним з найпоширеніших методів такого оцінювання є метод найменшої вартості. Він полягає у проведенні аналізу всіх можливих способів досягнення мети (в даному випадку, всіх можливих заходів з енергозбереження) і встановлення послідовності їх впровадження в порядку від найдешевших до найдорожчих.

Проте такий аналіз не дає повної оцінки заходів, як і розглянуті вище технічні підходи, які базуються на економії енергії в натуральних одиницях, оскільки поруч із вартістю заходів, важливими є також такі характеристики заходів як джерело виробленої енергії, зменшення викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище, складність впровадження тощо. Тому, для оцінювання доцільності впровадження заходів з енергозбереження в закладах освіти пропонується використовувати комплексний аналіз, що поєднує наступні методи аналізу:

1) HML (high, medium, low value – висока, середня, низька вартість впровадження). Цей аналіз призначений розділяти заходи на заходи високої, середньої та низької вартості, в залежності від витрат на їх реалізацію;

2) VED (vital, essential, desirable – критично необхідні заходи, важливі заходи, бажані до виконання). Цей аналіз застосовується при поділі заходів з енергозбереження за рівнем важливості для суб'єкта, який планує їх запровадити;

3) SDE (scarce, difficult, easytoget – дефіцитні, важко доступні, легко доступні заходи) – застосовується для поділу заходів за рівнем складності їх реалізації.

Використовуючи цю методологію та взявши до розгляду 5 закладів освіти ми можемо проаналізувати та визначити типові заходи, які надалі допоможуть значно покращити систему енергоменджменту для шкіл та ДЗО.

Висновки. Проведені дослідження показали, що на формування списку доцільних до реалізації заходів з енергозбереження впливає низка критеріїв, які можна згрупувати в три групи: відносна економія енергії, яку принесуть заходи після їх реалізації, складність впровадження заходів та відносні витрати на реалізацію цих заходів. Очевидно, для різних суб'єктів, які планують запровадити заходи з енергозбереження, пріоритетними є різні цілі – зменшення витрат енергії в натуральних одиницях, зменшення викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище, зменшення фінансових витрат на енергію тощо. Тому, після формування списку доцільних до реалізації заходів з енергозбереження доцільно сформулювати також рейтинговий список

заходів, який би враховував пріоритетність різних критеріїв вибору цих заходів для нашого суб'єкта дослідження. Окрім того, необхідно узгодити послідовність запровадження заходів з енергозбереження, оскільки певні заходи не можуть бути реалізовані без реалізації інших, а реалізація інших може передбачати руйнування результатів вже впроваджених заходів. Подальші дослідження будуть присвячені формуванню рейтингового списку заходів з енергозбереження для врахування пріоритетних цілей окремих суб'єктів, а також формуванню календарного плану запровадження заходів з енергозбереження.

Список використаної літератури

1. Павленко Н.М. Фінансові механізми підвищення енергоефективності вищих навчальних закладів освіти
2. Бориченко О.В. Основи енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності
3. Гончаренко І.М. Реалізація потенціалу енергоефективності як напрям підвищення енергобезпеки вищих навчальних закладів.
4. В.І. Дешко, О.М. Шевченко Концептуальна модель управління управління процесами енергоспоживання та енергозбереження об'єктів галузі освіти.

УДК 621.3

М.О. Дубограй, магістр
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського»

АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГАЗОВИХ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК

У статті розглянуто особливості роботи установок з газифікації вугілля та когенераційних установок.

Представлено енергетичні, технологічні, економічні та екологічні показники енергоефективності роботи когенераційних установок.

Запропоновано базову когенераційну систему з газифікатором вугілля та когенераційною установкою. Змодельовано процеси газифікації вугілля та технологічні процеси в когенераційному циклі для відображення технологічних параметрів роботи когенераційної системи. Наведено результати моделювання двох типів енергетичних блоків когенераційних установок.

Ключові слова: газифікація вугілля, когенераційна установка, система електропостачання, енергоефективність, електроенергетична система.

Вступ

На сьогоднішній день відбувається стрімке поширення технологій розосередженої генерації та альтернативних джерел енергії. Одним із варіантів впровадження даних технологій є використання газифікаторів вугілля з подальшим використанням в якості палива для газових когенераційних установок на шахтних вугледобувних підприємствах [7].

Поняття "когенерація" (від англ. "Cogeneration" або "CHP - Cogeneration Heating Power"), "когенераційна установка" з'явилися порівняно недавно і обумовлено це розвитком нових технологій в енергетиці, що характеризуються більш високою термодинамічною і енергетичною ефективністю [3-6].

В комбінації газифікатора вугілля та когенераційної установки можливо досягти значного ефекту з енергозбереження та енергоефективності використання енергоресурсів. Зарубіжними вченими вже було вивчено питання газифікації деревини, як енергоресурсу для подальшого виробництва електроенергії, але в умовах нашої країни доцільніше підійти до питання використання газу, що отриманий внаслідок газифікації вугілля, для використання когенераційними установками. Саме тому вивчення питання аналізу енергоефективності газових когенераційних установок є важливою науковою та практичною задачею.

Метою роботи є дослідження систем газифікації вугілля та газових когенераційних установок і подальший аналіз енергоефективності впровадження комплексу когенераційної системи в підприємства вугільної промисловості.

Для цього необхідно вирішити наступні задачі: дослідження принципу технології газифікації вугілля; аналіз когенераційних технологій, що використовують газ як базовий енергоресурс; змодельувати базову когенераційну систему.

Особливості технології газифікації вугілля

Хімічний процес згоряння вугілля (газифікація) - високотемпературний процес взаємодії вуглецю палива з окиснювачами, що проводиться з метою отримання горючих газів (H_2 , CO , CH_4). Як окиснювачі, які іноді називають газифікуючими агентами,

використовують кисень (або збагачений їм повітря), водяна пара, діоксиду вуглецю або суміші зазначених речовин. Залежно від співвідношення вихідних реагентів, температури, тривалості реакції та інших факторів можна отримувати газові суміші різного хімічного складу. На рис.1 показані способи газифікації вугілля [1].

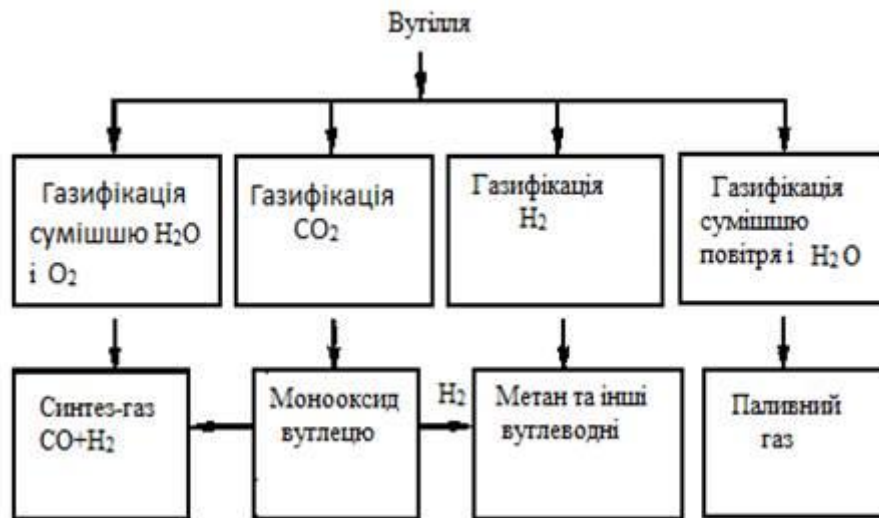


Рисунок 1 – Способи газифікації вугілля

У зв'язку з тим, що системи газифікації вугілля і когенераційні установки використовують різні технологічні процеси, різноманітні комбінації когенераційних установок, різний хімічний склад вугілля і сорбентів для газифікації процесу, і різні цінові характеристики обладнання, розрахунки таких систем розробляються за окремими техніко – економічними обґрунтуваннями замовників. На рис. 2 показано приклад парогазової установки з внутрішньою газифікацією [2].

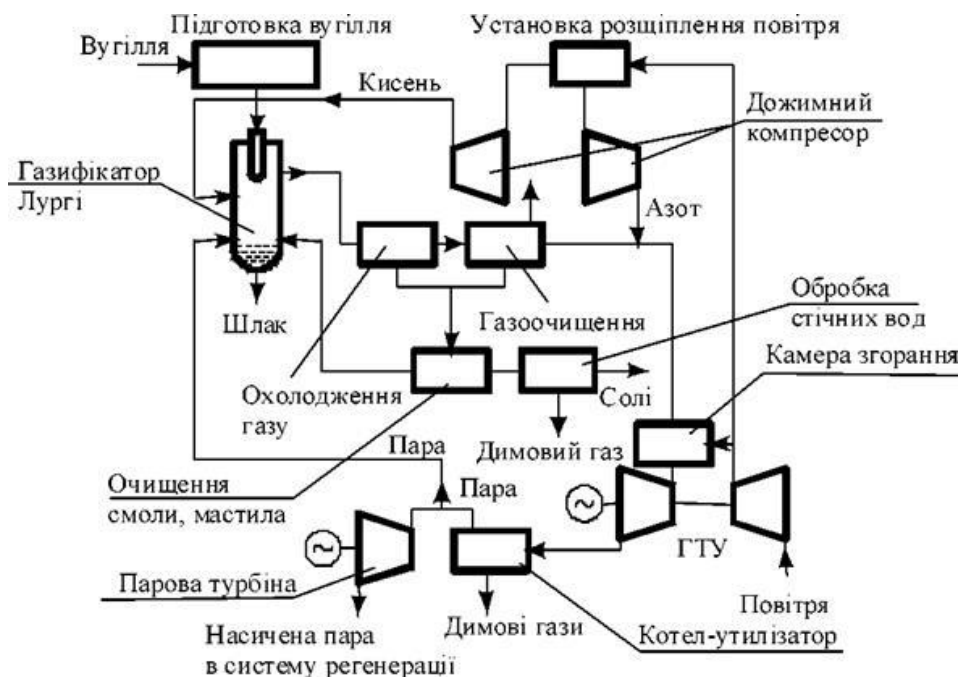


Рисунок 2 – Приклад парогазової установки з внутрішньоцикловою газифікацією

Для моделювання процесу газифікації вугілля та технологічних процесів в когенераційній установці було використано програмне забезпечення AspenPlus [8], рекомендоване NETL - Національною Лабораторією Енергетичних Технологій Департаменту Енергетики Сполучених Штатів. Інтегрована модель управління (ІЕСМ) комплексним моделюванням, розроблена Університетом Карнегі - Меллона в якості інструменту для оцінки технічних характеристик, вартості та екологічної ефективності технології вироблення електроенергії з різних видів викопного палива.

Показники енергоефективності газових когенераційних установок

До складу економічних показників когенераційної установки, що виробляє електричну і теплову енергію, входить наявність ринку збуту теплової та електричної енергії по задовольняє споживача тарифами.

При визначенні цих показників виникають труднощі, зумовлені тим, що досить непросто розділити паливо, яке використовується на вироблення різних видів енергії [5]. В цьому випадку можна розглянути оцінки і можливості системи показників паливної ефективності експлуатаційних режимів когенераційних установок, запропонованих в [4].

Основні показники ефективності когенераційних установок представлені на рис. 3. Для кожної конкретної установки набір показників ефективності буде свій, і він може визначатися за допомогою енергетичного аудиту [6].



Рисунок 3 – Основні показники ефективності когенераційних установок

До основних показників енергетичної ефективності можна віднести електричний, теплової та ексергетичний ККД установок, які визначаються відповідно з формул (1) -

(3), коефіцієнт використання теплоти палива, який головним чином визначає інтегральну енергоефективність установки, формула (4). Методика визначення ексергетичного ККД когенераційних установок представлена в роботі [6].

$$\eta_{el} = \frac{N_{el}}{BQ_P^H} \quad (2.1)$$

$$\eta_T = \frac{N_T}{BQ_P^H} \quad (2.2)$$

$$\eta_{ex} = \frac{E''}{E'} \quad (2.3)$$

$$\eta_T = \frac{N_{el} + N_T}{BQ_P^H} \quad (2.4)$$

Базова модель когенераційної системи

За базову когенераційну систему прийнято - Sorbent Energy Transfer System (SETS) - енергетичний цикл, який поєднує виробництво хімічних циклів риформінгу та комбінованого циклу електростанції [9].

Стисле повітря надходить у реактор окислення. Газ, що виходить з реактора надходить в камеру згорання. Газ, що виходить з камери згорання, додатковий водень (видаляють з паливного газу) реагує з рештою кисню з потоку повітря, щоб досягти бажаної температури на вході в турбіну. Газовий потік покидає камеру згорання проходить через газову турбіну, яка генерує електрику. Частина цієї електроенергії використовується для живлення повітряного компресора. Газовий потік залишивши камеру згорання проходить через парогенератор рекуперації тепла. Генератор з рекуперацією тепла пара утворює пару, яка йде через парову турбіну, щоб генерувати додаткову електроенергію.

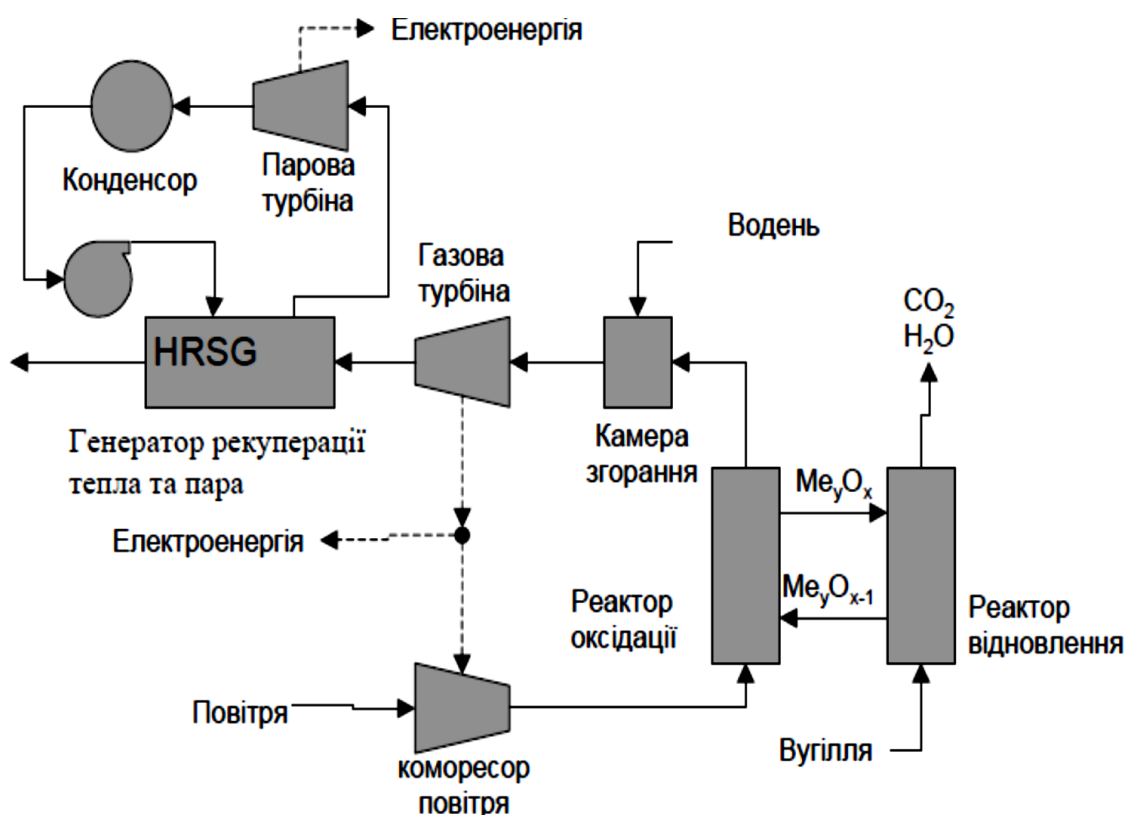


Рисунок 4 – Енергетичний цикл когенераційної системи, який поєднує виробництво хімічних циклів риформінгу та комбінованого циклу електростанції.

В результаті моделювання когенераційної системи з газифікатором вугілля було отримано технічні параметри установок для двох типів енергоблоків 6,2 МВт та 2,6 МВт, що показані в табл. 1.

В подальшому процесі моделювання можливо визначити найоптимальніший варіант комбінації газифікаційної установки та когенераційної установки як єдиної системи виробництва теплової та електричної енергії для підприємств вугільної промисловості.

Таблиця 1– Вихідні дані енергоблоку потужністю 6.2 МВт та 2.6 МВт .

| 6.2 MW | | 2.6 MW | |
|-------------------------------|--------|-------------------------------|--------|
| Cold Gas Efficiency | 74.7% | Cold Gas Efficiency | 74. |
| Gas Turbine Power Production | 6.2 MW | Gas Turbine Power Production | 2.6 MW |
| HRSG Power Production | 11.1 | HRSG Power Production | 4.0 |
| Oxygen Compressor Requirement | 0.4 MW | Oxygen Compressor Requirement | 0.1 MW |
| Air Distillation | 0.9 | Air Distillation Requirement | 0.4 |
| Net Power Production | 17.3 | Net Power Production | 6.6 |
| Cycle Efficiency | 26.6% | Cycle Efficiency | 25. |

Висновки

1. В роботі відображено принципи газифікації вугілля як первинного технологічного процесу в циклі виробництва теплової та електричної енергії когенераційними установками.

2. Досліджено особливості роботи газових когенераційних установок та наведено показники оцінки енергоефективності даних установок.

3. Запропоновано базову когенераційну систему та застосовано програмне забезпечення для моделювання роботи газових когенераційних установок. Результати моделювання дозволяють оцінити енергоефективність застосування газифікаторів вугілля та когенераційних установок в вугледобувних підприємствах.

Список використаної літератури:

1. Тарасенко П.В., Білодід В.Д. Газифікаційні комплекси як джерела енергопостачання комунальної енергетики / Праці Ін-ту електродинаміки НАН України / Зб. Наук. Пр. : Спец. Вип. – Київ: ІЕД НАН України, 2006. – С. 14-16.

2. Федосєєв С.Д., Чернишов А.Б. Напівкоксування та зазифікація твердого палива. – М. : Недра. 1960. – 326 с.

3. Ковальов Е.Т., Шульга І.В. Аналіз перспективних для України технологій виробництва з вугілля аналогів продуктів переробки нафти і природного газу // Углекхим. журн. – 2007. – №1-2. – с. 37-43.

4. Фіалко Н.М., Степанова А.И., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В. Основні напрямки розвитку технологій комбінованого виробництва теплової та електричної енергії / Тези ІV Міжнародної конференції "Проблеми промислової теплотехніки", 26-30 вересня 2005 року, Київ. - 2005. - С. 40-41.

5. Клименко В.М. Проблеми когенераційних технологій в Україні // Промислова теплотехніка. - 2001. - Т. 23, № 4; 5. - С. 106-110.

6. Андрущенко А. І., Семенов Б.А. Система показників для оцінки паливної ефективності експлуатаційних режимів ТЕЦ //Промислова енергетика. - 2005. - № 12. - С. 2-7.

7. Праховник А.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий/ Праховник А.В., Розен В.П., Дегтярев В.В. – М.: Недра. – 1985. – 232 с.

8. Zachary Hoffman. The Department of Chemical Engineering. B.S., Louisiana State University. 2005.

9. Major environmental aspects of gasification – based power generation technologies. U.S. Department of Energy (DOE), the National Energy Technology Laboratory. Final report 2002. Jay Ratafia, Brown Lynn Manfredo, Jeffrey Hoffmann, Massood Ramezan.

УДК 621.311.153

Кузнєцов К. А.
кафедра електропостачання
ІЕЕ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

АНАЛІЗ РОБОТИ РІЗНИХ ТИПІВ ГЕНЕРАТОРІВ У АВТОНОМНІЙ СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕУ

Анотація. *Був проведений аналіз умов підключення та роботи генераторів з точки зору надійності, що використовуються у системах автономного електропостачання з вітроенергетичними установками.*

Ключові слова: *синхронний генератор, асинхронний генератор, генератор змінного струму з магнітним збудженням, ударний струм, зрівняльний струм*

Abstract. *An assessment conditions of connection and operation of generators from the point of view of reliability used in autonomous power supply systems with wind power plants.*

Keywords. *synchronous generator, asynchronous generator, alternator with magnetic excitation, shock current, equalizing current*

Вступ. З кожним роком доля вітрової генерації у складі енергосистем багатьох країн збільшується, зростає кількість автономних систем електропостачання з використання вітрових електроустановок (ВЕУ). Але генерація електроенергії ВЕУ має за собою низку проблем, зумовлених нестабільністю первинної енергії, які впливають на надійність енергосистеми.

Генератор є одним з найважливіших елементом ВЕУ. Крім свого основного призначення, генератору необхідно виконувати функції по стабілізації регулювання параметрів, що характеризують якість електричної енергії, а також надійність роботи усієї установки. Тому вибір оптимального типу генератора є основною умовою тривалої експлуатації ВЕУ.

Мета та завдання . Аналіз використовуваних видів генераторів вітроенергетичних установках з точки зору підвищення рівня надійності електропостачання.

Матеріал та результат дослідження. Основною умовою тривалої експлуатації ВЕУ є наявність в її конструкції надійного генератора. На сьогоднішній день поширені генератори наступних типів: постійного струму паралельного збудження; постійного струму змішаного збудження; синхронні; асинхронні. Останні три види є найбільш поширеними [1].

Генератор постійного струму паралельного збудження. При паралельній роботі генераторів постійного струму повинні виконуватися такі умови: 1) при включенні генератора на паралельну роботу з іншим генератором не повинно виникати стрибків струму, здатних викликати порушення в роботі самих генераторів і підключених до них споживачів; 2) загальне навантаження повинна розподілятися між паралельно працюючими генераторами по можливості рівномірно, пропорційно їх номінальної потужності, в іншому випадку окремі генератори можуть виявитися перевантаженими. Принципова схема паралельної роботи двох генераторів паралельного збудження приведена на рисунку 1.

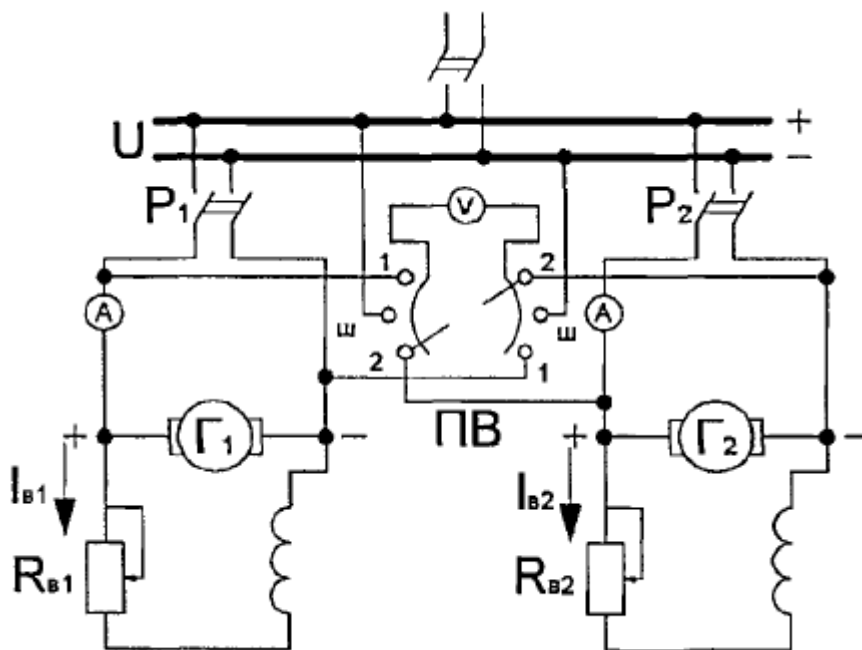


Рис.1 Схема паралельної роботи генераторів паралельного збудження.

Припустимо, що генератор Γ_1 працює з деяким навантаженням, створюючи на шинах напругу U , а генератор Γ_2 вводиться в роботу.

Щоб підключити до цих же шин генератор Γ_2 необхідно дотриматися наступних умов:

- Позитивний (+) і негативний (-) затискачі генератора Γ_2 повинні бути з'єднані з однойменними затискачами шин працюючого генератора;
- ЕРС генератора Γ_2 повинна бути дорівнює напрузі U ;

При дотриманні цих умов при підключенні генератора Γ_2 до шин за допомогою рубильника P_2 не виникає стрибка значення струму і цей генератор після включення буде працювати без навантаження в режимі холостого ходу.

Рівномірний розподіл навантаження між паралельно працюючими генераторами залежить також від ступеня збігу їх зовнішніх характеристик. Нехай, наприклад, зовнішні характеристики двох генераторів однакової потужності мають вигляд кривих 1 і 2 (рисунок 2). Припустимо, що обидва генератора включені паралельно при холостому ході (напруга на шинах U_0). Припустимо далі, що при включенні номінальної навантаження $2I_H$ при шинах встановлюється номінальна напруга U_H (однакове для обох генераторах). При цьому, напрузі за зовнішніми характеристиками відповідають струми навантаження генераторів I_1 і I_2 . Як видно, перший генератор, який має більш "м'яку" характеристику, буде недовантажений ($I_1 < I_H$), а другий – настільки ж перевантажений ($I_2 > I_H$).

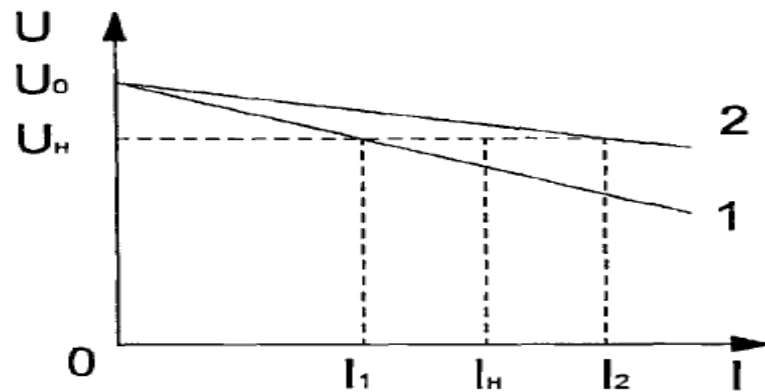


Рис.2 Зовнішні характеристики генераторів

Таким чином, до вказаних вище двом умовам включення генераторів на паралельну роботу додається ще третя: збіг відносних зовнішніх характеристик генераторів. Якщо потужності паралельно працюючих генераторів неоднакові, то правильніше говорити про розподіл навантаження між ними, представляючи їх зовнішні характеристики в відносних одиницях:

$$U = f\left(\frac{I}{I_H}\right)$$

Якщо розраховані таким чином зовнішні характеристики генераторів збігаються, то розподіл навантаження між ними відбувається пропорційно їх номінальним потужностям, тобто найкращим чином.

Генератор змішаного збудження. Принципова схема паралельної роботи генераторів змішаного збудження приведена на рисунку 3 а. Особливістю цієї схеми є наявність зрівняльної лінії, за допомогою якої з'єднуються однойменні затискачі генераторів 1 і 2, до яких підключені обмотки. Зрівняльний провід дозволяє забезпечити стійку паралельну роботу генераторів, виключаючи коливальний процес. На рисунку 3 б схема паралельної роботи представлена в спрощеному вигляді (не показані паралельні обмотки збудження). Як видно з рисунка, обидві послідовні обмотки завдяки зрівняльному проволу включені паралельно.

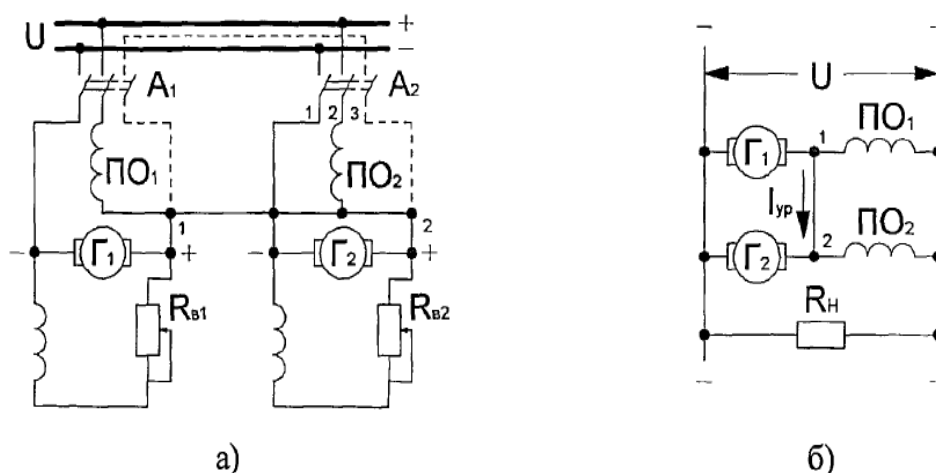


Рис.3 Схема паралельної роботи генераторів змішаного збудження

Якщо з якої-небудь причини ЕРС E_{a1} генератора Г1 стане більшим за ЕРС E_{a2} генератора Г2, то в електричному колі між якорями виникне зрівняльний струм, величина якого визначається виразом:

$$I_{\text{ур}} = \frac{E_{a1} - E_{a2}}{2 \cdot R_a}$$

Цей зрівняльний струм не буде протікати через послідовні обмотки, і так як опір цих обмоток однаковий, то струми в них будуть рівними. Ця рівність струмів в послідовних обмотках буде зберігатися при будь-якому навантаженні генераторів. Якщо паралельно працюють генератори неоднакової потужності, то опір їх послідовних обмоток будуть різні. Тому струми в послідовних обмотках цих генераторів будуть розподілятися обернено пропорційно їх опорам. Однак в будь-якому випадку, якщо по якійсь причині збільшиться струм в послідовній обмотці одного генератора, то в тій же мірі він збільшиться і в послідовній обмотці іншого генератора. Відповідно до цього водночас збільшаться ЕРС і струми навантаження обох генераторів і коливальний процес не відбудеться. У цих умовах паралельна робота генераторів змішаного збудження стає достатньо стійкою.

Зрівняльний струм, що протікає між якорями, сприяє вирівнюванню потенціалів на однойменних затискачах генераторів. Як видно з рисунка 3 б зрівняльний струм в генераторі з більшою ЕРС складається з навантажувальним струмом, а в генераторі з меншою ЕРС віднімається з навантажувального струму. Завдяки цьому в першому випадку падіння напруги в ланцюзі якоря $I_a R_a$ зростає, а в другому - зменшується. Тому напруга на затискачах генератора з більшою ЕРС знижується, а напруга генератора з меншою ЕРС, навпаки, підвищується, тобто відбувається згадане вище вирівнювання потенціалів в точках 1 і 2 приєднаних кінців зрівняльної лінії до однойменних затискачів генераторів.

Синхронний генератор. При розгляді процесів в синхронних генераторах при роботі з мережею та з іншими генераторами першочергову роль мають питання включення на паралельну роботу та регулювання його активної і реактивної потужностей. При цьому, як правило, передбачається, що потужність мережі набагато більша потужності генератора, а напруга U_M і частота f_M мережі постійні. При включенні синхронного генератора на паралельну роботу повинні виконуватися чотири умови, які називаються умовами точної синхронізації :

- 1) діючі значення фазних ЕРС генератора $E_{0\phi}$ повинні бути рівні чинним значенням фазних напруг мережі, $E_{0\phi} = E_M$;
- 2) частота ЕРС генератора Г повинна дорівнювати частоті мережі f_M тобто $f_G = f_M$;
- 3) ЕРС генератора E_G і напруга мережі U_M повинні мати зсув по фазі, що дорівнює 180° ;
- 4) генератор і мережа повинні мати однаковий порядок чергування фаз.

При дотриманні цих умов генератори включаються в мережу практично без стрибків значень струму. Практично, при синхронізації спочатку встановлюють номінальну частоту обертання синхронного генератора, що забезпечує приблизну рівність частот f_G і f_M , а потім, регулюючи струм збудження генератора, домагаються рівності $E_{0G} = U_{0M}$. Фазовий зсув між ними, а також порядок чергування фаз перевіряють ламповими або стрілочними Синхроскопами, однак найчастіше синхронізація здійснюється за допомогою автоматичних приладів без участі обслуговуючого персоналу.

Важкі наслідки для синхронного генератора можуть бути пов'язані з короткими замиканнями на шинах, супроводжуються потужними перехідними процесами з

великими ударними струмами $I_y = (10 - 20) I_n$, електродинамічними і термічними навантаженнями на обмотках і вузлах кріплення.

Додатковою особливістю паралельної роботи ВЕУ з синхронним генератором на мережу є постійно діючий пульсуючий момент вітротурбіни, що пов'язано з непостійністю вітрового потоку і, як наслідок - пульсації струму і складових потужностей. Система регулювання кута установки лопатей, маючи досить високу постійну часу, працює з запізненням і синхронна машина знаходиться в стані перехідного процесу із коливаннями кута і навантаження. У зв'язку з цим створюється напружений режим для демпферної системи ротора [2].

При значних поривах вітру створюється небезпека випадання синхронного генератора із синхронізму з мережею і переходу його в асинхронний режим, що створить додаткові передумови для руйнування демпферної обмотки.

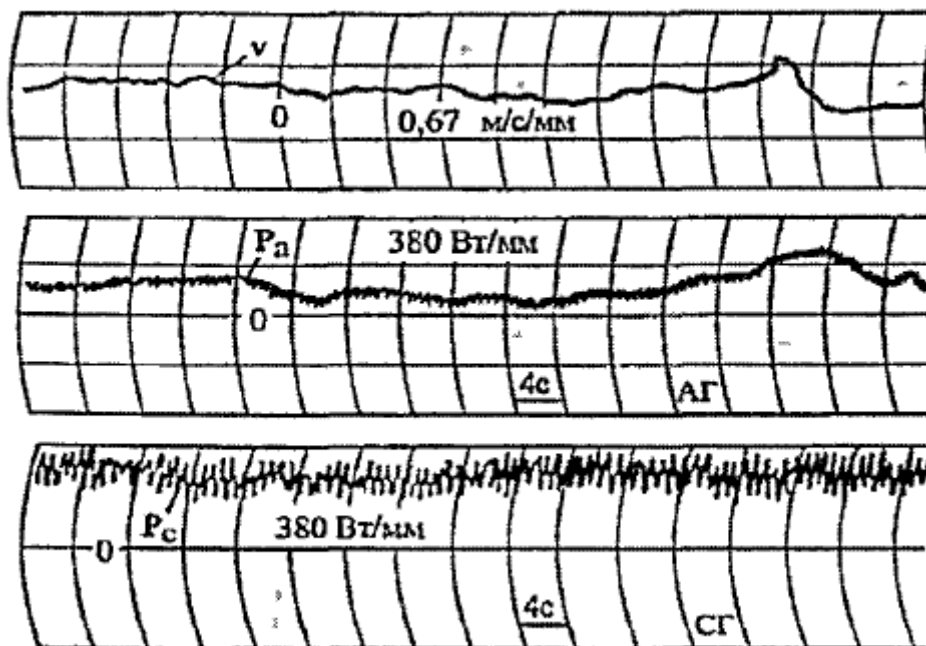


Рис.4 Регістрограми режиму паралельної роботи з мережею при поривчастим вітром з синхронним та асинхронним генераторами

Всі ці обставини в сукупності знижують надійність роботи синхронного генератора, терміни його безаварійної експлуатації, нерідко призводять до розплавлення і руйнування демпферної обмотки і аварії синхронного генератора.

Асинхронний генератор. Загальними перевагами паралельної роботи асинхронного генератора є [4]:

- Асинхронний генератор вимагає менш жорстких умови включення на паралельну роботу з мережею або з іншими асинхронними або синхронними генераторами, може бути включений навіть при значній різниці в частотах обертання асинхронного генератора і "узагальненого" синхронного генератора мережі. По суті асинхронний генератор виключає проблему синхронізації з мережею і випадання із синхронізму;
- Асинхронний генератор не вимагає захисту від коротких замикань, так як в цьому режимі он негайно втрачає збудження (саморозбуджується);

- Асинхронний генератор забезпечує найкращу якість вихідної напруги;
- При паралельній роботі з мережею відпадає необхідність в системі самозбудження і регулювання напруги.

На рис 4 показані реєстрограми паралельної роботи з мережею ВЕУ малої потужності серії АВЕУ-6-4 з варіантами асинхронного і синхронного генераторів. Поряд з синхронним генератором серії СГВ-4 випробуваний асинхронний генератор потужністю 4,5 кВт з короткозамкнутим ротором. Порівняння кривих електричної потужності показує, що в приблизно однакових умовах при поривчастому вітру рівень пульсації потужності P_a асинхронного генератора значно менший, ніж потужність P_c синхронного генератора. В роботі [5] відзначається, що потужність P_a асинхронного генератора містить тільки низькочастотні складові, пов'язані з повільними змінами швидкості вітру. Максимальні відхилення потужності P_a мали місце лише при тривалому перевищенні цієї швидкості і відповідали зміни в перехідному процесі ковзання асинхронного генератора. Включення АВЕУ-6-4 з асинхронним генератором на паралельну роботу з мережею було можливим практично при будь-яких вітрових умовах, тоді як включення синхронного генератора при поривчастому вітру виявлялося ускладненим. Це пояснюється особливостями фізичних взаємодій при включенні і паралельну роботу в мережі асинхронного і синхронного генераторів.

Ротор синхронного генератора і ротор "узагальненого" синхронного генератора потужної мережі мають однакову просторову орієнтацію, тобто синхронізовані, і в процесі паралельної роботи зміщення осі розглянутого синхронного генератора відбувається в невеликих межах кута θ , що визначається величиною навантаження синхронного генератора. При $\theta > \pi / 2$ синхронний генератор випадає із синхронізму.

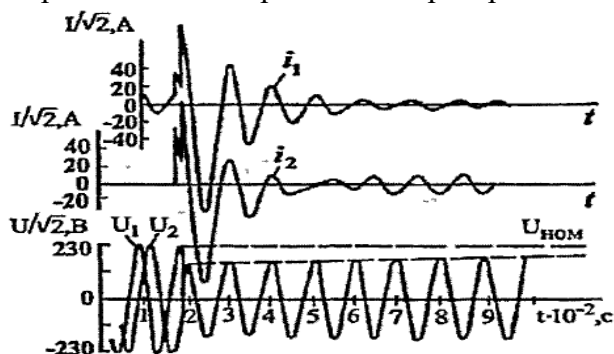


Рис.5 Осцилограми струмів при включенні асинхронного генератора на паралельну роботу

На рисунку 5 показані осцилограми зміни струмів навантаження і напруги при синхронізації двох асинхронних генераторів однакової потужності. Кут неузгодженості фаз генераторів перед їх включенням на паралельну роботу склав приблизно 100° , при цьому амплітуди перехідних струмів обох асинхронних генераторів не перевищують значення $(5 - 6) \cdot I_n$. При подібній ситуації у синхронного генератора максимальний зрівняльний струм досягає $(20 - 30) \cdot I_n$ і становить небезпеку для обмоток якоря і демпферних обмоток роторів.

На характеристиках асинхронних генераторів, що працюють в ВЕУ, істотним чином позначається режим управління вітроколесом. Наприклад, із застосуванням відцентрового регулятора швидкості, що впливає на систему гідроприводу лопатей, виявляється помітне хитання регулятора, що ускладнює паралельну роботу ВЕУ з мережею (експеримент на ВЕУ 100 кВт в Коста-Хонд, Великобританія).

Висновки. У кожного типу генератора є свої переваги та недоліки. При паралельній роботі з іншим генератором або з мережею найбільш простий для налаштування до роботи та надійний можна вважати асинхронний генератор через відсутню необхідність до синхронізму, а також завдяки саморозбудженню під час короткого замикання. У синхронного генератора висока надійність роботи та відносно невелика ціна, але даний тип дуже чутливий до випадку від синхронізму через поривчатий вітер, який спричинює пульсації струму та коливання потужностей. Генератор змішаного збудження має високий показник надійності при паралельній роботі з іншим генератором через урівнюючий провід який регулює пульсації струму при невеликій можливості регулюванні його роботи.

Список використаної літератури

1. Б.В. Лукутін, І.О. Муравлев. Система електропостачання с ветровими и солнечными электростанциями // Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 115 ст.
2. Кудря С. О. Вітроенергетика / Степан Олександрович Кудря // Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії / Степан Олександрович Кудря. – Київ: НТУУ "КПІ" ВПІ ВПК "Політехніка", 2012.
3. И.М. Павленко, С.Ф. Степанов. Особенности электрогенерирующих систем ветроэлектростанций // Вестник СГТУ, выпуск №2, 2012.
4. Бояр-Созонович С.П. Специальные применения асинхронных генераторов // Электротехника, 1992. - №6/7. - 2-4 с.
5. Рогозин А.А. Сравнительный анализ условий работы асинхронных и синхронных ветроэлектрических генераторов в энергосистеме / Рогозин А.А., Пинегин А.Л. // Электричество, 1996. - №2. - С. 16-23.

References

1. B.V. Lukutin, I.O. Muravlev. Power supply system with wind and solar power plants // Tomsk Polytechnic University Publishing House, 2015. – p. 128 .
2. Kudrya SA Wind power / Stepan Kudrya // Non-traditional and renewable energy sources / Stepan Kudrya. - Kiev: NTUU "KPI" VPI VPK "Polytechnic", 2012. - P. 63, 65, 68.
3. I.M. Pavlenko, S.F. Stepanov. Features of the power generating systems of wind farms // Bulletin of SGTU, issue No. 2, 2012.
4. Rogozin A.A. A comparative analysis of the operating conditions of asynchronous and synchronous wind electric generators in the power system / Rogozin A.A., Pinegin A.L. // Electricity, 1996 .-- No. 2. - p 16-23.

УДК 621.311

Белосветов Т.В.

Кафедра електропостачання

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ДЛЯ ВЕРИФІКАЦІЇ ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ РАЙОНУ МІСТА

Анотація: У статті розглянуто методи короткострокового прогнозування графіків електричного навантаження. Реалізовано прогноз графіка електричного навантаження промислового підприємства за допомогою нейронної мережі. Застосовано отриманий прогноз для верифікації графіка електричного навантаження промислового підприємства.

Ключові слова: Розподільні мережі, графіки електричних навантажень, короткострокове прогнозування, нейронні мережі, верифікація даних

Abstract: The methods of short-term forecasting of electric load schedules are considered in the article. The forecast of the schedule of electric load of the industrial enterprise by means of a neural network is realized. The obtained forecast is applied for verification of the schedule of electric load of an industrial enterprise.

Keywords: Distribution networks, electrical load schedules, short-term forecasting, neural networks, data verification

Вступ. Прогнозування графіків навантаження енергосистеми є важливим завданням стратегічного управління режимами енергосистем. На основі прогнозу навантажень визначають кількість і потужність генеруючих джерел, що працюють в базовому і піковому режимі, склад основного технологічного устаткування, параметри характерних режимів. За прогнозом навантажень також знаходять оптимальні режими енергосистеми, вибирають склад працюючого устаткування і розподіляють резерви, розглядають заявки на ремонт обладнання і дають відповідний дозвіл на його проведення. Прогнозування електричного навантаження забезпечує основну вихідну інформацію для прийняття рішень при управлінні електроенергетичними системами в процесі планування їх нормальних електричних режимів.

Верифікація даних є важливою і актуальною. Верифікація первинних даних повинна виконуватися завжди, незалежно від способу отримання даних: за розкладом (заданому інтервалу опитування приладів обліку) або через вебсервіс.

Мета та завдання. Метою статті є перевірка можливості застосування короткострокового прогнозу графіків електричного навантаження для верифікації графіків навантажень в розподільних мережах району міста.

Матеріал і результати досліджень. Короткостроковий прогноз навантаження може використовуватися для вирішення наступних завдань [1]:

- балансування попиту та пропозиції;
- підтримка торгівлі енергією;
- ринкова діяльність (призначення ціни на електроенергію);
- робоча оптимізація мережі;
- регулювання попиту;
- прогнозування пікового попиту;
- управління попитом;

- балансування навантаження і запобігання перевантаження;
- виявлення збоїв і аномалій;
- скорочення (вирівнювання) піків.

Моделі короткострокового прогнозу переважно засновані на недавніх (за останній день або тиждень) відомостях про енергоспоживання.

Для короткострокових прогнозів часто створюється великий обсяг викликів прогнозів (запитів на обслуговування), так як вони викликаються кожену годину, а в деяких випадках і частіше.

В даний час існує досить велика кількість методів короткострокового прогнозування електроспоживання [2] які використовуються.

На рисунку 1 запропоновано їх класифікацію. Всі відомі методи прогнозування електроспоживання пропонується розділити на три групи:

- Фактографічні методи;
- Експертні методи;
- Гібридні методи.

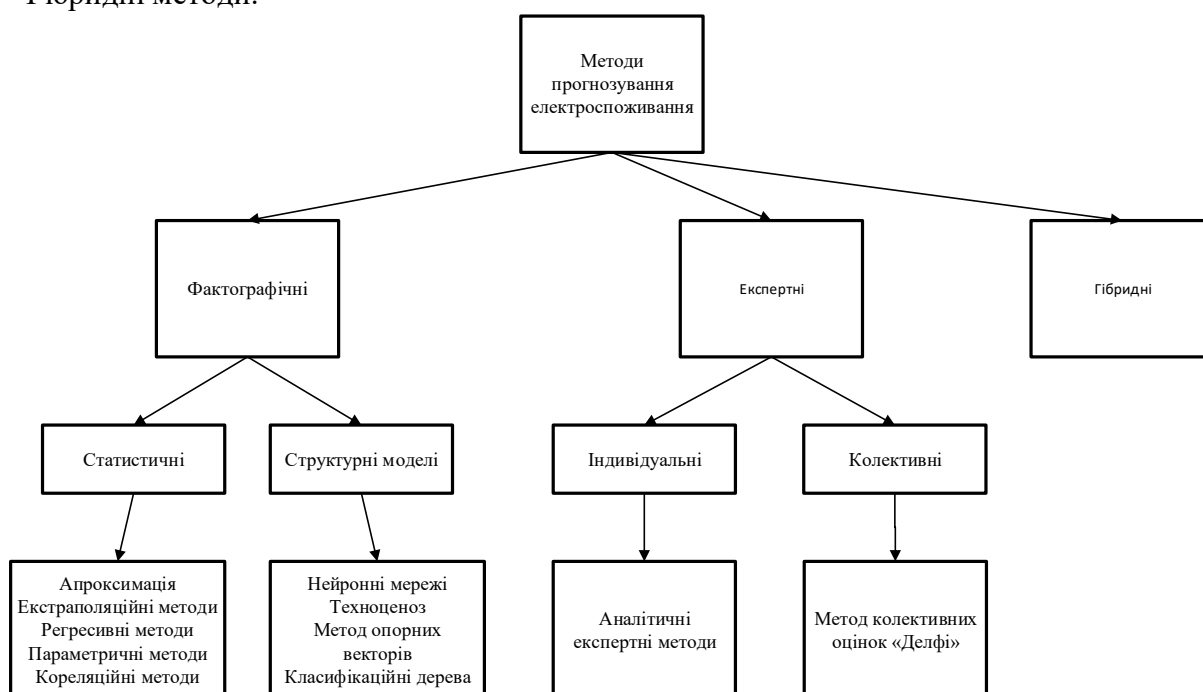


Рисунок 1 – Класифікація методів короткострокового прогнозування електроспоживання

Фактографічні методи базуються на фактичному інформаційному матеріалі про минуле та сьогодення в розвитку об'єкта прогнозування в часі. Це найбільш поширена група методів, які використовуються при побудові прогностичних моделей, оскільки, експерт, в більшості випадків, має в своєму розпорядженні ретроспективні дані про електроспоживання об'єкта прогнозування.

Експертні (інтуїтивні) методи засновані на знаннях фахівців - експертів про об'єкт прогнозування і узагальненні їх думок про розвиток (поведінку) об'єкта в майбутньому. Часто, при побудові прогнозних моделей електроспоживання, кінцеве рішення залишається за експертом, при цьому, його досвід і знання можуть відрізнятися від результатів побудови прогнозної моделі, з використанням методів, що відносяться до інших груп прогнозів. Експертні методи поділяються за кількістю експертів, які

приймають рішення, при цьому група експертів аналізує результати прогнозу на основі безлічі суб'єктивних суджень [3].

Група «Гібридні методи» включає в себе методи зі змішаною інформаційною основою, в яких в якості первинної інформації, поряд з експертною, використовується і фактографічна. Ця група методів з'явилися відносно недавно і є набором методів, заснованих на комбінаціях методів інших представлених вище груп. Передумовами до розвитку цього різновиду методів став розвиток інформаційних технологій і обчислювальних систем, на яких складні розрахунки, із заданим значенням точності, виконуються за відносно невеликий проміжок часу.

Гібридні методи, за рахунок синергетичного ефекту забезпечують необхідну точність і об'єднують в своєму складі методи різних груп. Гібридні методи особливо актуальні в даний час з появою інформаційно-аналітичних систем, що дозволяють обробляти великі масиви інформації.

Як метод прогнозування було обрано застосування нейронної мережі.

Нейронна мережа – це великий розподілений паралельний процесор, який складається з елементарних одиниць обробки інформації, які накопичують експериментальні знання і надають їх для подальшої обробки.

Нейрон складається з елементів трьох типів: помножувачів, суматора і нелінійного перетворювача. помножувачі здійснюють зв'язок між нейронами і множать вхідний сигнал на число, яке характеризує силу зв'язку. Суматор виконує додавання сигналів, які надходять по синаптичним зв'язкам від інших нейронів і зовнішніх вхідних сигналів. Нелінійний перетворювач реалізує нелінійну функцію одного аргументу - виходу суматора. Ця функція називається функцією активації або передавальною функцією нейрона[4].

Математична модель нейрону наведено на рисунку 2.

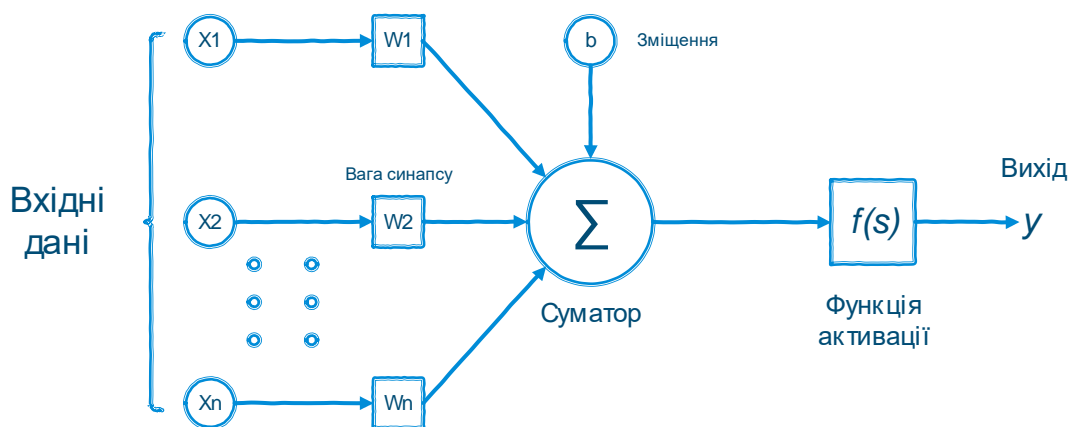


Рисунок 2 - математична модель нейрону[4]

На практиці найчастіше застосовуються нейронні мережі типу багат шаровий перцептрон з одним прихованим шаром нейронів і двома шарами вагових коефіцієнтів (саме тому багат шаровий). Мережі такого типу називають мережами прямого розповсюдження сигналу, через відсутність зворотніх зв'язків між нейронами.

Прогнозування за допомогою багат шарового перцептрону включає в себе чотири етапи:

- 1) формування вектору вхідних даних;
- 2) вибір кількості прихованих нейронів та вигляду активаційних функцій тощо;
- 3) «навчання» моделі (оптимізація вагових коефіцієнтів);
- 4) прогнозування та оцінка точності прогнозу.

На першому етапі на основі наявних даних про електричне навантаження, для прогнозування погодинного значення потужності на добу вперед доцільно сформулювати такий вектор вхідних даних[5]:

- для врахування тижневої циклічності графіка навантаження використовуються значення потужності, віддалені в часі від точки прогнозу на 168, 169, 170 год;
- значення потужності, віддалені від прогнозного на 24, 25, 26 год (тобто останні відомі значення потужності в момент здійснення прогнозу);
- для підкреслення типу дня використовуються значення потужності, віддалені в часі на 48, 49, 50 год.

Часто експерту доступна інформація про температуру навколишнього середовища з 3-х годинною дискретністю. Для врахування інерційності впливу температури на електричне навантаження доцільно використати декілька значень, що передують прогнозній годині t , а саме за 9, 12, 15, 18 годин.

Для врахування календарних факторів слід використати два додаткових нейрони D та H , які відповідають номеру доби в тижні (від 1 до 7) та номеру години доби (від 1 до 24).

Таким чином, вхідний шар включає 15 нейронів.

Навчання виконується за допомогою такого популярного алгоритму як алгоритм зворотного розповсюдження помилки. Цей алгоритм заснований на корекції помилок[4].

Навчання методом зворотного розповсюдження помилки припускає два проходи по всім шарам мережі: прямий і зворотній проходи. При прямому проході дані подаються на сенсорні вузли мережі, після чого розповсюджуються по мережі від шару до шару. В результаті генерується набір вихідних сигналів, який і фактично являється реакцією мережі на вхідні дані. Під час прямого проходу всі вагові коефіцієнти фіксовані. Під час зворотного проходу всі вагові коефіцієнти налаштовуються відповідно до правила корекції помилок, а саме: фактичний вихід мережі віднімається від бажаної відповіді, в результаті чого формується сигнал помилка. Цей сигнал як наслідок розповсюджується по мережі в напрямку, зворотному до напрямку синаптичних зв'язків. Вагові коефіцієнти налаштовуються з метою максимального наближення вихідного сигналу до бажаного[4].

Під точністю розуміють середнє відхилення прогнозних значень від фактичних і на практиці найчастіше оцінюють за показником середньої абсолютної похибки у відсотках (mean absolute percentage error – MAPE):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\delta_i|,$$

де n - загальна кількість годин в тестовій вибірці, на якій оцінюється точність.

Ідентифікація аномалій проводиться згідно з критерієм Чебишева. Добова періодичність процесу усувається шляхом окремого аналізу навантаження кожної з 24-х ($V_j = 1 \dots 24$) годин доби на інтервалі передісторії, що досліджується[6]:

$$\left| P_i^j \right| \leq \overline{P^j} + k \cdot s,$$

де P_i^j - значення електричного навантаження за j -ту годину;

$\overline{P^j}$ - середнє значення;

s – середньоквадратичне відхилення вибірки електричного навантаження на всьому інтервалі передісторії за j -ту годину;

k – коефіцієнт, що залежить від виду розподілу вибірки:

$$k = \begin{cases} 1,96, & \text{якщо закон розподілу вибірки нормальний;} \\ 2,82, & \text{якщо закон розподілу вибірки унімодальний;} \\ 4,24, & \text{якщо закон розподілу вибірки довільний.} \end{cases}$$

У якості вихідних даних використовуються дані про електричне навантаження за серпень 2019р. тризмінного промислового підприємства у місті Києві.

Графіки навантаження робочого і вихідного дня зображені на рисунку 3.

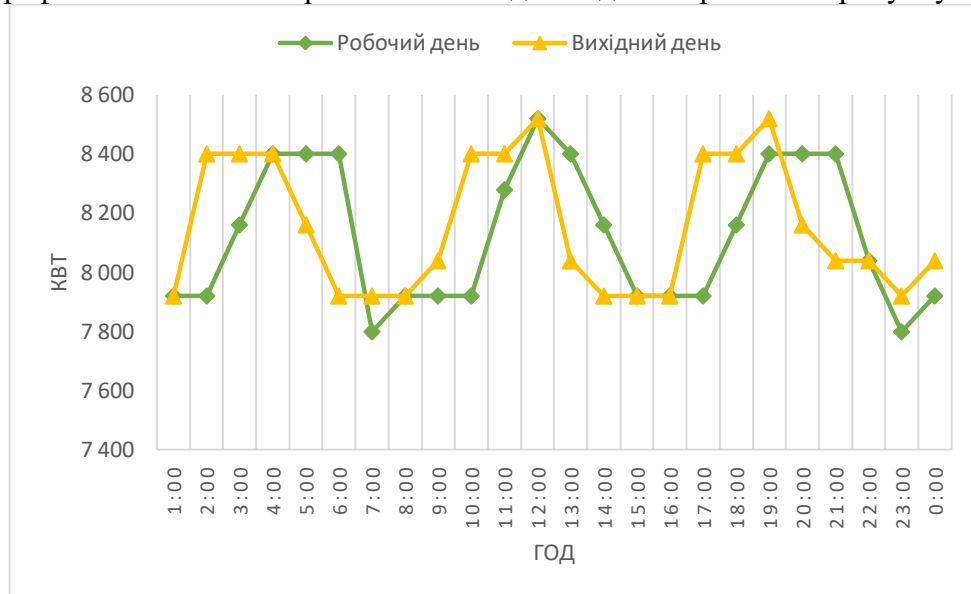


Рисунок 3 – Графіки електричного навантаження для робочого і вихідного дня

Для реалізації нейронної мережі було обрано мову програмування Python та її бібліотеки.

Результати прогнозу наведені на рисунку 4.



Рисунок 4 – Результати прогнозування

В результаті прогнозу отримали значення MAPE 4%, це досить висока точність. Далі було розраховано межу аномалії, і показано на рисунку 5.

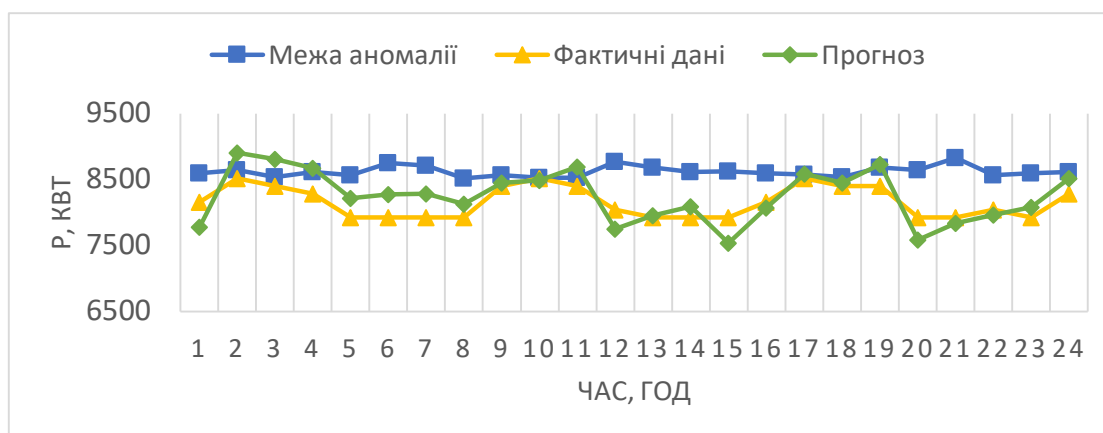


Рисунок 5 - Застосування короткострокового прогнозування для верифікації

Як видно з рисунку 5 майже на всьому інтервалі прогнозні дані не є аномальними, проте є декілька значень які виходять за межу аномалії, у цього можуть бути наступні причини:

- Мала кількість даних для оцінки;
- Недостатня точність прогнозу;
- Інший закон розподілу для графіку навантаження.

Висновки. Було проведено огляд методів короткострокового прогнозування, на основі цього для прогнозування було вирішено обрати як засіб прогнозування нейронну мережу. Як результат було отримано прогноз з похибкою 4%.

Для верифікації даних було застосовано критерій Чебишева, і показано, що в більшості випадків короткострокове прогнозування за допомогою нейронної мережі дозволяє верифікувати графіки електричних навантажень району міста.

Список використаної літератури

1. Зуева В.Н., Никитина Ю.Ю. Анализ методов прогнозирования графиков нагрузки электрооборудования / В.Н. Зуева, Ю.Ю. Никитина // Сборник докладов победителей и лауреатов XXII студенческой научной конференции АМТИ 2016. С. 119-122.
2. Грицай, А.С. Классификация методов краткосрочного прогнозирования электропотребления для субъектов ОРЭМ / А. С. Грицай, Д. А.Тюньков // Актуальные вопросы энергетики: материалы Всерос. науч. конф. студентов, магистрантов, аспирантов. – Омск, 2016. – С. 41–45.
3. Васильев Д.А., Колоколов М.В. Модели автоматизированного прогнозирования электрических нагрузок промышленных предприятий / Д.А. Васильев, М.В. Колоколов // УБС. 2011.–№34. – С.254–266.
4. Хайкин, Саймон, Нейронные сети: полный курс, 2-е издание – 1104с.
5. В. О. Артемчук, Т. Р. Білан, І. В. Блінов та ін. //Теоретичні та прикладні основи економічного, екологічного та технологічного функціонування об'єктів енергетики – Київ, 2017. – 312 с.
6. Черненко П.О., Мартинюк О.В., Мірошник В.О., Заславський А.І. Достовіризація вихідної інформації про електричне навантаження енергоємних підприємств // Вісн. Вінницького політехн. ін-ту. – 2015. – № 2. – С. 25–31.

УДК 621.3

Д.М. Цап, магістр
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ЗАХИСТУ ВІД ДУГОВОГО КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В РОЗПОДІЛЬЧИХ ПРИСТРОЯХ КОРПУСНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Вступ

В даний час на підстанціях енергосистем і промислових підприємств експлуатується велика кількість комплектних розподільних пристроїв внутрішньої і зовнішньої установки. Однією з причин пошкоджень КРП є внутрішні КЗ, супроводжувані електричною дугою. При цьому багато КРП не обладнані спеціальним захистом від дугових КЗ. Про актуальність даної проблеми свідчать численні публікації, обговорення питань вдосконалення релейного захисту, на науково-технічних нарадах і конференціях.

Метою роботи аналіз способів захисту розподільчих пристроїв корпусної конструкції від дугового короткого замикання

Об'єкт роботи дугове коротке замикання в розподільчих пристроях корпусної конструкції

Предмет роботи способи захисту від дугового короткого замикання в розподільчих пристроях корпусної конструкції

Викладення основного матеріалу Успішне вирішення завдання розробки пристроїв захисту осередків КРП від дугових КЗ в значній мірі залежить від вибору принципу їх дії. Вибір оптимального рішення слід здійснити на основі класифікації способів виявлення дугових КЗ. Поява електричної дуги при КЗ супроводжується зміною параметрів і характеристик електричної мережі, істотним підвищенням температури, тиску, електропровідності і теплового (світлового) випромінювання в місці дугового КЗ. Зазначені ознаки можуть лежати в основі способів ідентифікації електричної дуги, які можна умовно розділити на дві групи (рис. 1).

До першої групи доцільно віднести способи, засновані на контролі параметрів і характеристик електричної мережі з дугою: спектрального складу струму або напруги, модулів і аргументів фазних і симетричних складових струмів і напруг, рівнів не симетрії струмів або напруг, опорів або вольт-амперних характеристик короткозамкнутого ланцюга. Недоліком даного способу є те, що контрольовані ознаки можуть спостерігатися не тільки при внутрішніх дугових КЗ, а й при зовнішніх КЗ, а також в експлуатаційних режимах роботи мережі. Це ускладнює розпізнавання внутрішнього пошкодження, тобто не дозволяє виконати селективний захист з високою швидкістю.

До другої групи можна віднести методи, засновані на контролі параметрів електричної дуги і супутніх їй явищ: температури, тиску, електричної провідності навколишнього середовища (ступеня іонізації газів), випромінювання, оптичних властивостей середовища, електромагнітного випромінювання. Замкнутий обсяг простору частин КРП, який локалізує місце дугового КЗ, дозволяє спростити їх контроль. На роботу пристроїв цієї групи

практично не роблять вплив експлуатаційні режими роботи мережі

Порівняльний аналіз способів виявлення дугових замикань у відсіках КРП.

Аналіз способів, заснованих на контролі температури, густини заряджених частинок показав, що вони можуть бути застосовані при невеликих (до 10 см) відстанях між датчиками і стовпом дуги. Для того, щоб забезпечити високу чутливість і швидкодію пристроїв, що реалізують ці методи, необхідно використовувати велику кількість датчиків, розташованих уздовж ошиновки КРП. Установка датчиків в безпосередній близькості від ймовірного місця КЗ пред'являє досить жорсткі умови до їх термічної стійкості. Контроль збільшення тиску має обмеження по чутливості, як через можливе дроселювання газів через нещільності відсіків, так і через кінцеву чутливість датчиків тиску. Енергетична освітленість E (потужність потоку теплового випромінювання, що припадає на одиницю поверхні, зокрема оптичного датчика) обернено пропорційна квадрату відстані до джерела. унаслідок великої потужності випромінювання дуги, що виникає в відсіках КРП, освітленість всередині відсіків КРП досягає значень від одиниць до сотень тисяч люкс (рис. 5.2). Зниження чутливості захисту через можливе затінення оптичних датчиків може бути компенсовано установкою додаткових датчиків на взаємно-перпендикулярних площинах відсіків КРП. До того ж багаторазові відбиття світлового потоку від стінок відсіку практично виключають затемнені місця. Результати порівняльного аналізу (табл. 1) дозволяють зробити попередній висновок, що для побудови захисту відсіків КРП від КЗ, що супроводжуються електричною дугою, найбільш перспективним для даного рівня розвитку техніки є спосіб, заснований на вимірюванні потужності теплового (світлового) випромінювання. На підставі виконаного вище порівняльного аналізу способів виявлення дугових КЗ у відсіках КРП можна зробити висновок, що найбільш переважними є способи, засновані на контролі потужності світлового випромінювання дугового КЗ [258]. Для уточнення чутливості і завадостійкості захистів, які контролюють освітленість всередині відсіків КРУ(Н) вимагається проведення дослідження світлових полів і їх електромагнітної сумісності з встановленим електричним обладнанням, що і буде виконано нижче.

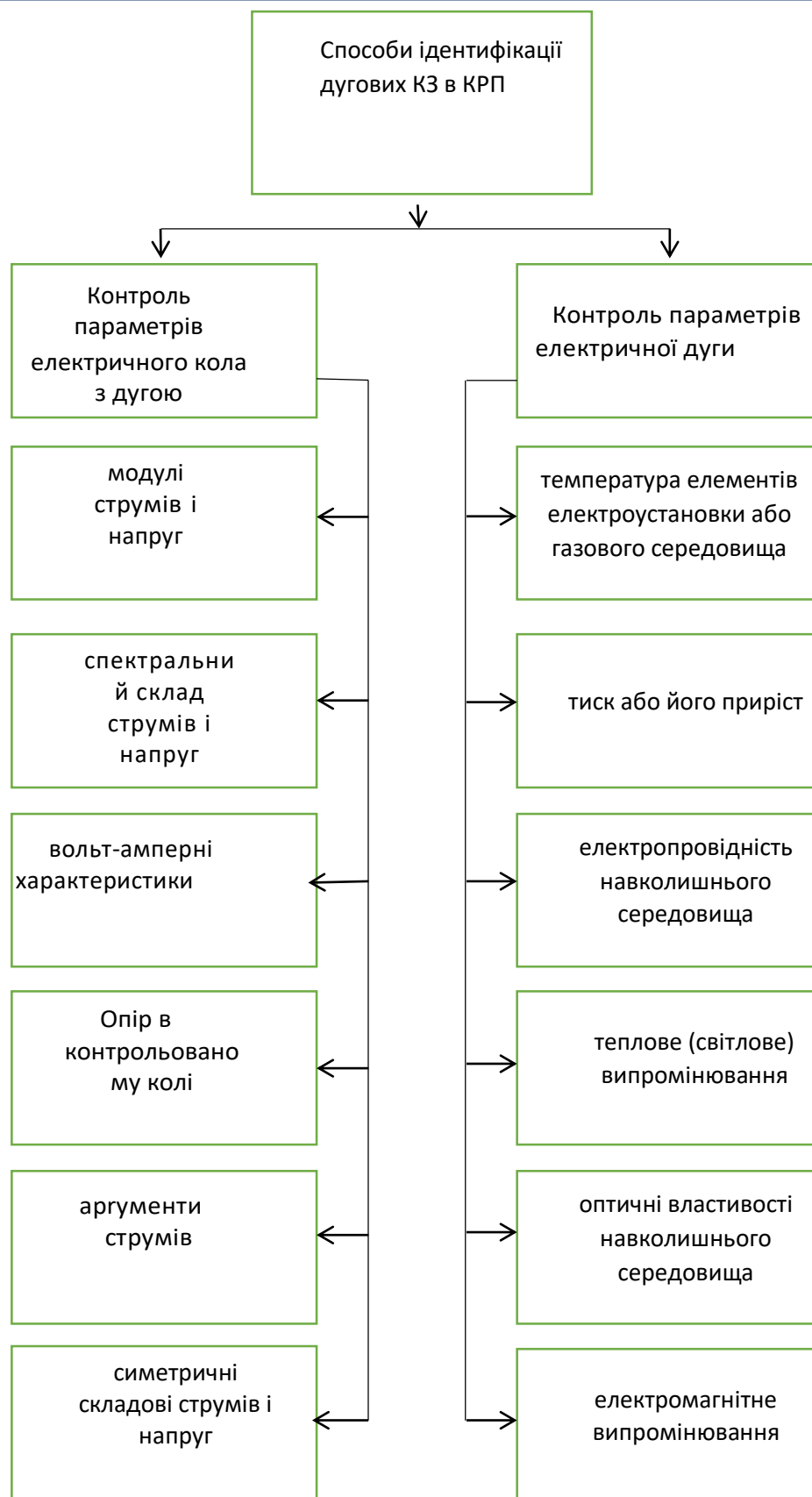


Рис. 1. Способи ідентифікації дугових КЗ в КРП

Таблиця 1. Основні властивості дугового захисту

| Контрольований параметр | Основні властивості захисту | | | Примітка |
|---|-----------------------------|------------|----------------|--|
| | Швидкодія | чутливість | елективність | |
| Струм (напруга) | низьке | високе | забезпечується | Для виключення неселективної дії при зовнішніх КЗ потрібно узгодження за часом з МТЗ ліній, що відходять |
| Струми всіх з'єднаних секцій(логічний захист шин) | низьке | високе | забезпечується | Наявність «мертвої» зони за трансформаторами струму, відмова при наявності підживлення від високовольтних електродвигунів |
| Тиск (його збільшення) | низьке | високе | забезпечується | Чутливість забезпечується при струмах КЗ більше 3,5 кА |
| Провідність середовища відсіку | низьке | високе | забезпечується | Чутливість різко знижується при віддаленні від стовпа буги |
| температура | низьке | високе | забезпечується | Швидкодія обмежена інерційністю датчиків. Установка великої кількості |
| Світловий потік(освітленість) | низьке | високе | забезпечується | Потрібна установка 2-3 фотодатчиків у відсіках сильно заповнених приладами які мають значні лінійні розміри. Забезпечується селективний вияв зони пошкодження за винятком виконання розподільного оптичного датчика на основі волоконно-оптичної лінії у виді петлі. При використанні фототиристорів відсутня можливість створити функцію функціонального і тестового контролю |

Висновок

Удосконалення релейного дугового захисту доцільно проводити на основі запропонованої класифікації з урахуванням інформаційних ознак, що характеризують дугове коротке замикання. Основними інформаційними ознаками, що дозволяє

виконати захист з абсолютною селективністю, є: параметри електричної дуги і явища їй супутні, а саме температура і провідність навколишнього середовища, теплове (світлове) випромінювання, тиск (збільшення тиску), оптичні властивості середовища. Додатковими ознаками можуть виступати параметри ланцюга з дугою: струм і напруга (гармонійний склад, аргументи і модулі, симетричні складові), опору, вольт-амперні характеристики стовпа дуги

Список літератури

1. Федосєєв А.М. Релейний захист електричних систем: Підручник для вузів.- М.: Енергія, 1976.-560 с.
2. Федосєєв А.М. Релейний захист електричних систем: Навчальний посібник для вузів. -М.: Вища школа, 1984.-520 с.
3. Федосєєв А.М., Федосєєв М.А. Релейний захист електричних систем: Підручник для вузів.- М.: Вища школа, 1992.- 528 с.
4. Економічна ефективність релейного комплексного захисту електродвигунів напругою понад 1000 вольт /С.Л. Кужеков, А.В. Коваленка, Є.П. Варфоломєєв і ін. // Изв. вузів.- Енергетика. -1987.- N210.- С. 29- 33.
5. Принцип інформаційного досконалості релейного захисту / Ю.Я.Лямець, Є.Б. Єфімов, Г.С. Нудельман, Я. Законьшек // Електротехніка.- 2001. N22. -З. 30-34.
6. розпознаєма ушкоджень електропередачі. Ч1. Розпознаємость місця пошкодження! Ю.Я. Лямець, Г.С. Нудельман, А.О. Павлов, Є.Б. Єфімов, Я. Законьшек // Електричество.- 2001.- N22.- С.16-23.

УДК 621.311

Подольнець А. В.
Кафедра електропостачання**ВПЛИВ ДЖЕРЕЛ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ НА РОБОТУ
КОМУТАЦІЙНО-ЗАХИСНОГО ОБЛАДНАННЯ**

Анотація: Завдяки деяким факторам частка розподіленої генерації в системах електропостачання збільшується. Більшість видів джерел розподіленої генерації мають невелику потужність та підключені до мережі середньої напруги. Розподілена генерація змінює режими роботи мережі за декількома факторами: рівень напруги, величина струму короткого замикання та уставки релейного захисту. В статті увага зосереджується на впливі малих ТЕЦ на релейний захист мереж середньої напруги.

Ключові слова: системи електропостачання, повітряна лінія, розподільна мережа, реклоузери, джерела розосередженої генерації, струми короткого замикання, релейний захист.

Annotation: Due to several reasons Distributed Generation, DG, is increasing. Most of the DG units are small in size and connected to medium voltage grids (MV-grids). DG units change the operation of MV-grids on several aspects such as voltage control, fault current level and protection. This paper focuses on the effect of small CHP units on the protection of MV-cable grids.

Key words: power systems, overhead line, distribution system, medium voltage system, reclosers, dispersed generation, fault currents, protection.

Вступ. До недавнього часу електроенергетичні системи характеризувалися централізованим виробництвом електричної енергії, високовольтними мережами для передачі електричної енергії та мережами низької напруги для її розподілу. Традиційно до розподільної мережі не було підключено жодних джерел розосередженої генерації, однак це змінюється починаючи з минулого десятиліття. В даний час до розподільної мережі підключені різні типи джерел малої генерації, більш відомих як розподілена генерація. Завдяки цілям скорочення CO₂ багато дрібних джерел, інтегрованих у розподільну мережу, є відновлюваними джерелами енергії, наприклад, вітрогенератори, невеликі гідроелектричні панелі, також високоефективні не поновлювані джерела енергії, такі як газотурбінні установки.

Підключення джерел розподіленої генерації не тільки змінює напрямки перетоку навантаження в розподільній мережі, але й може вплинути на струми короткого замикання. Більшість захисних приладів розподільної мережі налаштовані на спрацювання при виявленні струму короткого замикання або струму, який перевищує номінальний робочий струм мережі. Саме через те що джерела розосередженої генерації впливають на внесок мережі до струму короткого замикання, комутаційно-захисне обладнання мережі може працювати некоректно. Про це повідомляється [1], проте в даній статті ця проблема розглянута досить поверхово. Представлений огляд усіх можливих проблем захисту та їх класифікація.

Мета та завдання дослідження: Метою дослідження є огляд та класифікація всіх можливих проблем з релейним захистом в повітряних лініях з джерелами розосередженої генерації.

Матеріал і результат досліджень.

Останнім часом кількість джерел розосередженої генерації швидко збільшується разом з впливом на режими роботи розподільної мережі. Питання захисту можуть стати одним з найбільших технічних бар'єрів для широкомасштабної інтеграції розподіленої генерації в розподільні мережі. Проводиться широке дослідження для вирішення можливих проблем захисту в розподільних мережах, включаючи розподілену генерацію. Можуть з'явитись наступні проблеми в роботі комутаційно-захисного обладнання:

- Осліплення захисту;
- Помилкове спрацювання;
- Неузгодженість роботи запобіжника та реклоузера;
- Несинхронізоване спрацювання реклоузера;
- Повторне включення.

Ці проблеми сильно залежать від системи захисту і, отже, від типу розподільної мережі. Осліплення захисту та помилкове спрацювання - проблеми захисту, які можуть траплятися в розподільних мережах, побудованих з кабелів, а також повітряних ліній, тоді як проблеми координації запобіжника та реклоузера і проблеми з повторним включенням з'являються лише в розподільних мережах, які складаються з повітряних ліній. Загалом зазначені проблеми захисту можна розділити на дві категорії:

1. Проблеми з виявленням несправностей
2. Проблеми селективності.

Осліплення захисту

Внесок мережі в загальний струм короткого замикання зменшується через внесок розподіленої генерації. Завдяки цьому скороченню можливо, що коротке замикання залишається непоміченим, оскільки внесок мережі в струм короткого замикання ніколи не досягає струму спрацювання реле. Реле струму та реклоузери розраховані на виявлення аномального струму. Отже, всі захисні системи, засновані на цих захисних пристроях, можуть зазнати несправності через зменшений внесок мережі. Це явище називається осліпленням захисту та належить до першої категорії проблем захисту.

У [2] дистанційний захист застосовується для збільшення кількості розподіленої генерації, підключеної до розподільної мережі. Дистанційний захист – це поділ мережі на зони, включаючи фідер до якого зона відноситься. Перша зона охоплює приблизно 85% довжини лінії, тоді як зони 2 і 3 використовуються для решти довжини лінії та як резервний захист для подальших дистанційних захистів. Аварійні ситуації в зоні 2 і 3 усуваються з затримкою, щоб досягти селективності з наступними дистанційними захистами. Цей тип захисту діє більш-менш незалежно від величини струму короткого замикання. Однак через зменшений внесок мережі, опір, розрахований до місця короткого замикання, збільшиться і викличе не спрацювання захисту. Порушення, які зазвичай усуваються в зоні 1, можуть бути усунені в зоні 2, зі збільшенням часу спрацювання захисту. Серйозність цієї проблеми залежить від локальної потужності короткого замикання, співвідношення X/R розподільчої мережі та розміру генератора, що є ключовими параметрами.

Можна зробити висновок, що розподілена генерація з відповідним внеском у струм короткого замикання безпосередньо впливає на чутливість комутаційно-захисного обладнання і, отже, на надійність системи релейного захисту.

Помилкове спрацювання

Помилкове спрацювання можливе, коли генератор, встановлений на фідері, сприяє виникненню несправності в сусідній лінії, підключеній до тієї ж підстанції. Вклад генератора в струм короткого замикання може перевищувати струм спрацювання

струмового захисту, що може призвести до відключення фідеру до якого підключений генератор, а не на якому виникла несправність до того як спрацює захист на фідері в якому виникла несправність. Цей механізм можна віднести до категорії проблем селективності. На рисунку 1 схематично показано принцип дії помилкового спрацювання.

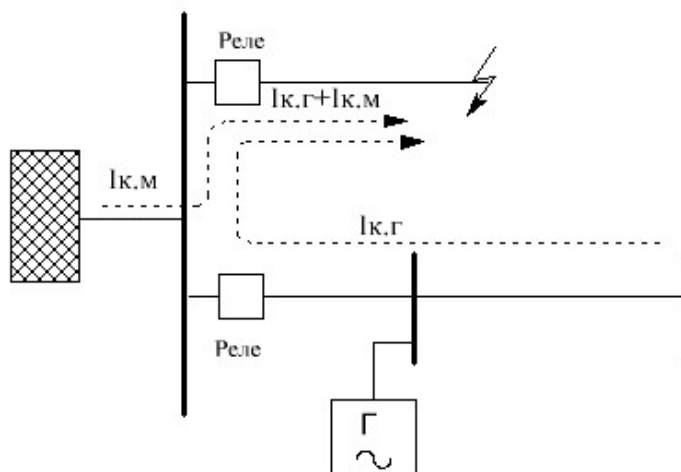


Рисунок 1 – Принцип дії помилкового спрацювання

Генератор має великий вплив на струм короткого замикання, коли генератор та / або місце короткого замикання розташовані поблизу підстанції. Тобто в слабких мережах з великою протяжністю ліній, які захищені певними струмовим реле, помилкові відключення найбільш ймовірні. У цьому випадку уставки реле повинні забезпечити виявлення несправностей на кінці лінії, які призводять до відносно невеликого струму спрацювання.

У [3] йдеться про те, що в деяких випадках помилковому відключенню можна запобігти шляхом зміни уставок спрацювання струмових реле. Практично це означає, що має бути збільшений час спрацювання, а не струм. Збільшення струму спрацювання призводить до менш чутливого захисту фідера, і, ймовірно, захист буде реагувати не на всі несправності.

Отже, стійкість системи захисту збільшується, але її надійність знижується. Зміна часу спрацювання захисту посприє вирішенню проблеми. Коли селективності досягти неможливо змінивши налаштування захисту, застосування направленного струмового захисту може вирішити проблему. Однак, направлений захист повільніший, дорожче і, як правило, не стандартне рішення для оператора мережі.

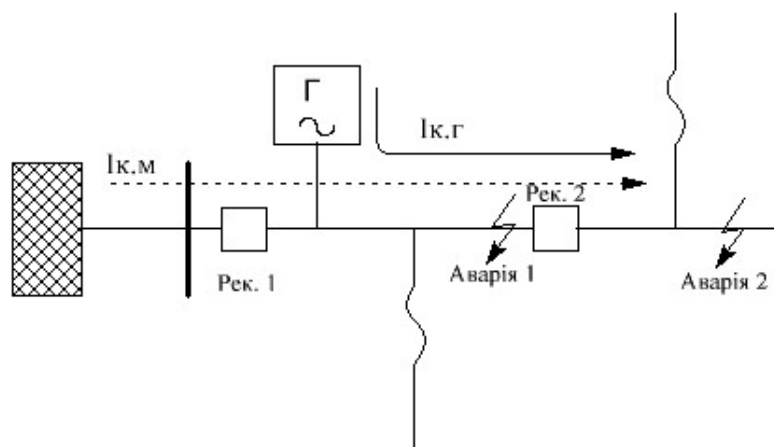
Проблеми в роботі реклоузерів

Захист повітряних ліній за допомогою автоматичних реклоузерів - це дуже ефективний спосіб для захисту від тимчасових збурень та мінімізації кількості перебоїв у постачанні.

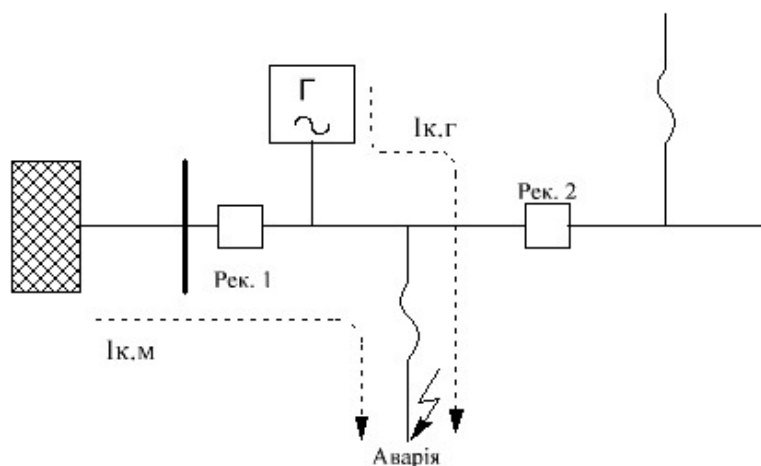
Через координацію між реклоузерами та запобіжниками миттєві несправності усуваються по принципу селективності. Підключення РГ до цього типу фідерів викликає декілька проблем з захистом одночасно. В першу чергу, вплив на струм короткого замикання через внесок генератора, а значить і проблеми з його виявленням при

повторному спрацюванні. По-друге, координація між реклоузерами та запобіжниками може бути некоректною, що безпосередньо спричиняє проблеми з селективністю.

Це пояснюється більш детально на рисунку 2.



(а) Вплив РГ на роботу реклоузера



(б) Вплив РГ на синхронізацію запобіжника та реклоузера

Рисунок 2 – Принципова схема фідера включаючи релейний захист

Для зазначеного місця несправності Аварія 1 струм короткого замикання, який протікає через Рек 1 є $I_{к.м}$. Як було зазначено раніше, внесок мережі зменшується та призводить до затримки виявлення струму короткого замикання або, в гіршому випадку, взагалі його ігнорування. Це приклад проблеми виявлення несправностей.

Для місця несправності Аварія 2, струм короткого замикання, який протікає через Рек 2, є $I_{к}$, тобто більший за струм, що протікає через Рек 1. Більшість реклоузерів обладнанні часо-струмовою характеристикою, і координація між Рек 1 і Рек 2 все ще зберігається.

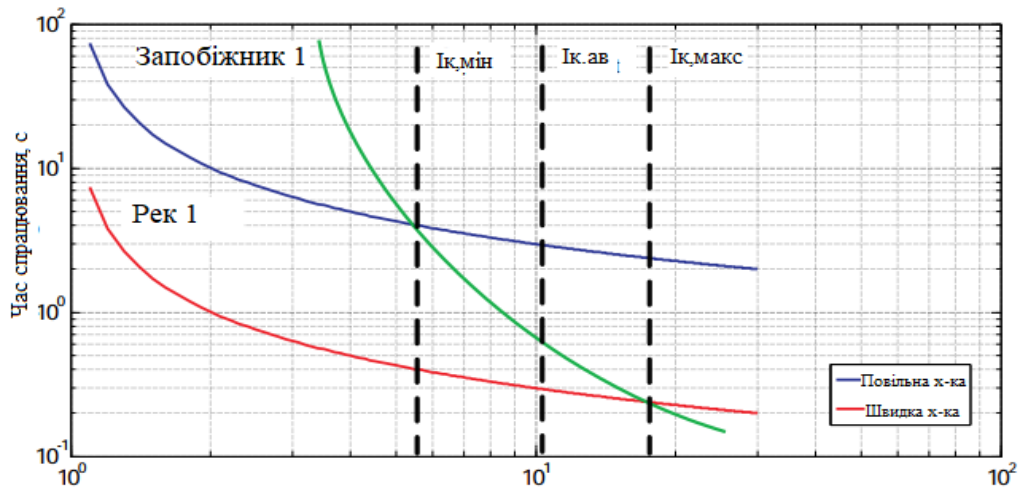


Рисунок 3 – Селективність реклоузера та запобіжника

Як показано на рисунку 3, запобіжник та реклоузер узгоджені таким чином, що селективність зберігається $I_{k, \min} < I_{k, \text{ав}} < I_{k, \text{макс}}$.

Для ситуації на рисунку 2 (б), коли втрачається координація між запобіжником та реклоузером $I_{k, \text{сум}} > I_{k, \text{макс}}$. У такому випадку крива запобіжника знаходиться під кривою реклоузера, і запобіжник усуває несправність до того, як відбувається спрацювання реклоузера. Отже, на несправності які можуть бути усунені за допомогою реклоузера буде реагувати запобіжник, що є недоцільним і призводить до небажаних перебоїв.

Окрім проблем із виявленням та втрати координації, РГ також спричиняє несинхронізоване повторне включення. Під час безструмової паузи частина фідера відключається від основної системи, щоб дуга деіонізувалась. Підключений генератор всеодно працює в цей час і підживлює дугу в місці аварії. Крім того, через дисбаланс між навантаженням і генерацією генератори будуть виходити зі стану синхронізму. Це може серйозно пошкодити генератор і призвести до високих струмів і напруги в сусідніх мережах.

Висновок: Було розглянуто вплив джерел розосередженої генерації на роботу комутаційно-захисного обладнання. Було продемонстровано, що джерела розосередженої генерації можуть мати досить значний вплив на струми короткого замикання. Важливими параметрами, що впливають на внесок генератора до струму короткого замикання є загальний опір лінії, розмір та розташування генератора. Крім того, місце аварії теж грає досить велику роль. Отже, в мережі з повітряними лініями більш чутливі до впровадження розосередженої генерації, оскільки мають більший питомий опір ніж еквівалентний кабель. Надано огляд усіх можливих проблем релейного захисту та класифіковано їх. Вказувалося, що вирішення проблеми виявлення струму короткого замикання безпосередньо впливає на надійність системи.

Список використаної літератури:

1. Jenkins, N., Allen, R., Crossley, P., Kirschen, D. & Strbac, G. Embedded Generation, Series 31, 2nd edn, IEE Power & Energy, London, 2000
2. Kauhamieni, K. & Kumpulainen, L. Impact of distributed generation on the protection of distribution networks, Eight IEE international conference on developments in power system protection, Amsterdam, the Netherlands, Vol. 1, 2004, 315–318 с.
3. Chilvers, I., Jenkins, N. & Crossley, P. Distance relaying of 11 kV circuits to increase the installed capacity of distributed generation, IEE Proceedings Generation, Transmission and distribution, Vol. 152, 2010, 40–46 с.

УДК 621.311.153

Тарануха В. В.
кафедра електропостачання
ІЕЕ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ БУДІВЛІ М. КИСВА

Анотація

В статті розглянуто поняття енергетичної ефективності будівлі, класу енергоефективності, основні інженерні системи житлового будинку, структурні підрозділи, показники впливу на стан системи, інженерна складова та шляхи її вдосконалення. Розглянуто питання, що стосуються проведення повного аналізу існуючих систем з метою оцінки впровадження необхідних заходів з енергозбереження, ризику та переваги наведених заходів. Визначено можливості контролю енергоспоживання, ефективності проведеної роботи внаслідок реконструкції інженерних систем будинку. Проведено аналіз енергоефективних заходів, доцільності впровадження кожного з них з метою виявлення найоптимальніших рішень.

Ключові слова: енергоефективність, клас енергоефективності, житловий будинок, інженерні системи, аналіз, енергоефективні заходи, контроль енергоспоживання, реконструкція інженерної складової, оцінка заходів.

Abstract

The article deals with the definition of energy efficiency, efficiency class, basic engineering systems of a dwelling house, structural subdivisions, indicators of influence on the state of the system, engineering component and ways of its improvement. Issues related to conducting a complete analysis of existing systems are considered to assess the implementation of the required energy-saving measures, the risks and benefits of the measures. Possibilities of control of energy consumption, efficiency of the carried out work due to reconstruction of engineering systems of the house are determined. The analysis of energy-efficient measures, the feasibility of implementing each of them in order to identify the best solutions.

Keywords: energy efficiency, efficiency class, residential building, engineering systems, analysis, energy efficiency measures, control of energy consumption, reconstruction of the engineering component, evaluation of measures.

Вступ

Питання енергоефективності в Україні завжди було актуальним. На основі моніторингу, проведеного Міжнародним енергетичним агентством рівень енергоефективності в Україні на сьогодні складає 60% від рівня ЄС, проведення енергоефективних заходів в системі централізованого теплопостачання зменшить рахунки житлового сектору на 40%, за оцінками Світового Банку, тобто потенціал енергозбереження в країні має достатньо високий рівень- більше 10 млрд дол. США. Проте скорочення розриву в енергоефективності з країнами ЄС відбувається занадто повільно.[1]

Основною проблемою даного стану речей є необхідність повного переоснащення інженерних систем будинку, їх модернізація, а іноді повна реконструкція. Беручи до уваги конкретно житловий сектор, мається на увазі створення комфортних умов

проживання та визначення економічно доцільного рівня енергоефективності.

Мета та завдання дослідження

Метою статті є визначення шляхів підвищення рівня енергоефективності за рахунок

проведення комплексного аналізу інженерних систем будинку з урахуванням існуючої моделі енергозабезпечення та контролю показників впливу на ефективність роботи інженерно-технічного обладнання.

Для досягнення поставленої мети вирішено такі завдання:

- Дослідження існуючого стану інженерного оснащення будівлі;
- Виявлення необхідних співвідношень «ціна-якість», «довговічність/практичність» у проекті інженерних характеристик;
- Удосконалення інженерних складових будинку на основі впровадження нового технологічного базису, що застосовуються в даній сфері;
- Розробка рекомендацій по збільшенню рівня енергоефективності в майбутньому на основі проведених заходів перевірки і переоснащення інженерних систем;

Матеріал та результати дослідження

Енергетична ефективність будинку це насамперед властивість будівлі, згідно характеристики споживаних ресурсів, необхідних для належних умов діяльності і проживання. Підвищення якості показників споживання цих енергетичних ресурсів і є основним завданням заходів з енергозбереження.[2]

Основна методика базується на обстеженні інженерних систем опалення та гарячого водопостачання, що проводиться з урахуванням положень ДСТУ EN 15378-1:2017 "Енергоефективність будівель. Системи опалення та гарячого водопостачання будівель. Частина 1. Інспектування котлів, систем опалення та гарячого водопостачання", ДСТУ CEN/TR 15378-2:2017 "Енергоефективність будівель. Системи опалення та гарячого водопостачання будівель. Частина 2. Пояснення та обґрунтування", ДСТУ EN 15378-3:2017 "Енергоефективність будівель. Системи опалення та гарячого водопостачання будівель. Частина 3. Вимірювана енергетична ефективність", ДСТУ CEN/TR 15378-4:2017 "Енергоефективність будівель. Системи опалення та гарячого водопостачання будівель. Частина 4. Пояснення та обґрунтування".

Ця методика визначає: рівні енергетичної ефективності систем; загальні вимоги до порядку проведення обстеження інженерних систем; порядок проведення обстеження систем опалення будівлі; порядок проведення обстеження систем гарячого водопостачання; порядок проведення обстеження систем вентиляції та кондиціонування; порядок проведення обстеження систем освітлення будівлі або її частини; порядок розроблення рекомендацій щодо забезпечення (підвищення рівня) енергетичної ефективності інженерних систем; форму та вимоги до оформлення звіту про результати обстеження інженерних систем.[3]

Скорочення та терміни, що використовуються у цій методиці, вживаються у таких значеннях: коефіцієнт корисної дії, котел, номінальна потужність котла, система теплоспоживання, типове приміщення, якість теплоносія.

Клас енергоефективності базується на основі існуючих інженерних складових будинку і визначається за показником загального питомого енергоспоживання при опаленні, охолодженні та постачанні гарячої води (EP), кВт×год/м² [кВт×год/м³][3].

Загальний показник питомого енергоспоживання при опаленні, охолодженні та постачанні гарячої води (EP), кВт×год/м² [кВт×год/м³] розраховується за формулою 1:

$$EP = EP_{H,use} + EP_{C,use} + EP_{DHW,use}, \quad (1)$$

де $EP_{H,use}$ - питоме енергоспоживання при опаленні, кВт×год/м² [кВт×год/м³],

$EP_{C,use}$ - питоме енергоспоживання при охолодженні, кВт×год/м² [кВт×год/м³]

$EP_{DHW,use}$ - питоме енергоспоживання гарячого водопостачання, кВт×год/м² [кВт×год/м³]

В таблиці 1 наведено сім рівнів згідно яких і встановлюється клас енергоефективності житлової будівлі. Енергетичний сертифікат, як електронний документ, створюється на основі отриманих показників і класу енергоефективності у встановленому законодавством порядку.

Таблиця 1. Класифікація житлових будівель за енергетичною ефективністю

| Кількість поверхів | Значення загальних показів питомого енергоспоживання при опаленні, охолодженні та постачанні гарячої води (EP), кВт×год/м ² [кВт×год/м ³], для класу енергетичної ефективності житлових будівель. | | | | | | |
|--------------------|--|------|------|------|------|------|------|
| | A | B | C | D | E | F | G |
| 1-3 | <66 | <119 | <132 | <165 | <198 | ≤231 | >231 |
| 4 і більше | <44 | <79 | <87 | <109 | <131 | ≤153 | >153 |

Заходи з підвищення енергоефективності житлових будівель можуть бути реалізовані за двома напрямками: по-перше, оснащення будинку енергозберігаючим інженерним обладнанням, системами і елементами, які забезпечують можливість економного використання паливно-енергетичних ресурсів; по-друге, експлуатація житлових будівель і інженерного обладнання з метою досягнення високих показників енергоефективності, регулювання енергоспоживання, енергомоніторинг.

Дані, що беруться за основу: контроль якості і обліку обсягів споживання теплоти і інших енергоресурсів, які споживаються для забезпечення теплового комфорту у будинку; збір і постійний аналіз даних про витрати теплоносія, теплової енергії, а також температури у подавальному і зворотному трубопроводах теплової мережі згідно з показаннями приладів у будинковому вузлі обліку теплової енергії; виявлення причин перевитрат теплової енергії і впровадження заходів із зменшення споживання теплоти; регулювання процесів використання енергоресурсів; організація технічного обслуговування систем автоматичного регулювання параметрів і обсягів енергоресурсів, своєчасне виконання планово-профілактичних робіт, гідравлічного випробування і промивання систем опалення і гарячого водопостачання; перевірки чистоти і герметичності вентиляційних каналів; складання інструкцій з експлуатації систем опалення, гарячого водопостачання і вентиляції будинку, виконання вимог таких інструкцій; контроль за параметрами мікроклімату у приміщеннях будинку; зниження

нераціональних витрат енергоресурсів, використання функції зменшення відпуску теплової енергії у автоматичних системах регулювання.[4,7]

Детальний опис наведений у переліку енергозберігаючих заходів для кожної системи окремо (див. Таблицю 2).[4,7]

Таблиця 2 - перелік енергозберігаючих заходів, які можна впроваджувати в житлових будинках

| Заходи з економії теплової енергії на потреби гарячого водопостачання | Термін окупності, роки |
|--|-------------------------------|
| Встановлення пластинчатих або інших високоефективних теплообмінників для приготування гарячої води в ІТП | 5...7 |
| Автоматичне регулювання температури гарячої води в системах гарячого водопостачання | 3...5 |
| Використання водозберігаючих аеруючих (розпилюючих) душових насадок і насадок на водорозбірних кранах системи гарячого водопостачання | 1 |
| Використання водозберігаючих і термостатичних змішувачів | 1 |
| Впровадження автоматичних систем управління часом подачі гарячої води. Управління тривалістю роботи насосів гарячого водопостачання | 2 |
| Оптимізація схеми приготування гарячої води в ІТП або ЦТП | 3...5 |
| Використання геоліоколекторів для приготування гарячої води у літній період | |
| Заходи з економії теплової енергії на потреби системи опалення і вентиляції | Термін окупності |
| Балансування вентиляційних каналів, встановлення регульованих вентиляційних ґраток і регуляторів потоку повітря | 1...2 |
| Впровадження автоматичних систем регулювання відпуску теплоти. Влаштування автоматичних теплових вузлів вводу з можливістю погодного та пофасадного регулювання, зменшення температури внутрішнього повітря у вихідні, святкові дні і нічний період доби | 4 |
| Встановлення багатошвидкісних електроприводів циркуляційних і мережевих pomp або приводів pomp із електронним частотним регулюванням кількості обертів у ЦТП та ІТП | 5 |
| Реконструкція систем опалення з метою забезпечення гідравлічної і теплової стійкості систем та можливості індивідуального регулювання відпуску теплоти кожним нагрівальним приладом та індивідуалізації розрахунків за спожиту теплоту (перехід на двотрубні горизонтальні системи опалення, встановлення термостатичних клапанів, встановлення закритих розширювальних баків) | 5 |
| Впровадження акумуляційних систем опалення | 5...7 |
| Обладнання системи опалення пристроями автоматичного регулювання з урахуванням температури зовнішнього повітря | 5...7 |
| Встановлення утилізаторів теплоти витяжного вентиляційного повітря в механічних системах вентиляції | 12 |

| | |
|---|-------|
| Реконструкція системи опалення на однотрубну з замикаючими ділянками чи двотрубну з подальшим встановлення термостатичних клапанів на опалювальних приладах | 5...7 |
| Реконструкція індивідуальних теплових пунктів з метою оптимізації схеми підключення теплообмінників гарячого водопостачання, автоматичного регулювання температури гарячої води, встановлення регуляторів витрат води на потреби опалення | 5 |

При плануванні заходів з енергозбереження у багатоквартирному будинку необхідно здійснити перевірку відповідності конструкції інженерних систем опалення.

Технічні аспекти проведення капітального ремонту вентиляції, гарячого і холодного водопостачання проектним даним. Несанкціоноване втручання мешканців в роботу таких систем в період часу до створення ОСББ може призвести до таких наслідків, що будь-які інженерні методи налагоджування чи регулювання роботи систем можуть не давати ефекту. Найбільш поширеними несанкціонованими втручаннями в інженерні системи є такі:

- підключення додаткових нагрівальних приладів, у тому числі на балконах і лоджіях, збільшення поверхні нагрівання існуючих приладів;
- декорування опалювальних приладів;
- влаштування «теплої підлоги»;
- зміна трасування трубопроводів системи опалення;
- підключення регістрів для просушування рушників у ванних кімнатах до системи опалення;
- ліквідація перемикаючого трубопроводу біля опалювальних приладів в однотрубних системах опалення;
- підключення зонтів із вентиляторним видаленням повітря до витяжних повітропроводів гравітаційних витяжних систем вентиляції;
- індивідуальні підключення опалювальних приладів до колекторів системи опалення у підвалах чи технічних поверхах. [4]

На прикладі моделювання та реконструкції індивідуального теплових пункту (ІТП) можна простежити важливість подібних заходів, а також об'єм роботи, який має бути виконаний в процесі.

Автоматизація процесу відпуску теплоти до будівлі в індивідуальному тепловому пункті (ІТП) дає можливість оперативно реагувати на зміну потреби будинку в теплоті на опалення, що обумовлено значною динамікою теплонадходжень у будинку від людей, освітлення, обладнання та сонячної інсоляції.

Обираємо незалежну схему підключення. Її недоліком є висока ціна обладнання, що входить до складу моделі, але можливості контролю тиску в зворотньому трубопроводі, підключення до будинків в 12 поверхів і вище, підвищена стійкість обладнання в умовах експлуатації дають велику перевагу над ризиками. Ефективність енергозбереження у випадку встановлення такої системи підключення буде рна рівні 10-40%.

Схема підігріву обирається з двухступінчатим приєднанням підігрівального обладнання ГВП. Її головна особливість полягає в тому, що підключення підігрівачів гарячої води верхньої ступені до подаючого трубопроводу відбувається паралельно системі опалення.

Далі проводимо розрахунок параметрів:

- Діаметр підігрівального трубопроводу на вході та виході;
- Діаметр трубопроводу на систему опалення;

- Діаметр трубопроводу на підживлення;
- Обираємо насос:
 1. Для ГВП - насос з мокрим ротором типу Wilo-P 50/250r.
 2. Для опалення - насос з мокрим ротором типу Wilo-P 50/250r з фланцевим з'єднанням.
 3. Для підживлення високоефективний насос типу WILO-Multivert MVI-200.
 4. Бак розширення (мембранний), підбираємо об'єм, труби, радіатори.
 5. Теплообмінник. У теплових пунктах слід застосовувати водяні горизонтальні секційні кожухотрубні або пластинчасті теплообмінники або парові горизонтальні багатоходові теплообмінники.
 6. Кожен пароводяний підігрівач повинен бути обладнаний конденсатовідвідним обладнанням або регулятором переливу для відведення конденсату, штуцерами з запірною арматурою для випуску повітря, спуску води і запобіжним клапаном, які передбачаються відповідно до вимог, водонагрівачі повинні бути обладнані запобіжними клапанами, що встановлюються з боку нагрівається середовища, а також повітряними і спускними пристроями. [5,6]

Автоматизація теплового пункту включає в себе наступні особливості контролю:

- підтримка заданої температури води, що надходить в систему гарячого водопостачання;
- регулювання подачі теплоти (теплового потоку) в системи опалення в залежності від зміни параметрів зовнішнього повітря з метою підтримки заданої температури повітря в приміщеннях;
- обмеження максимальної витрати води з теплової мережі на тепловий пункт шляхом прикриття клапана регулятора витрати теплоти на опалення закритих систем теплопостачання;
- захист систем споживання теплоти від підвищення тиску або температури води в трубопроводах цих систем при можливості перевищення допустимих параметрів; - підтримання заданого тиску води в системі гарячого водопостачання;
- включення і виключення коригувальних насосів;
- блокування включення резервного насоса при відключенні робочого;
- захист системи опалення від спорожнення;
- припинення подачі води в бак-акумулятор або в розширювальний бак при незалежному приєднанні систем опалення після досягнення верхнього рівня в баку і включення підживлювальних пристроїв при досягненні нижнього рівня;

У теплових пунктах з витратою теплоти більше 2,3 МВт, як правило, повинні передбачатися наступні контрольно-вимірвальні прилади:

- а) манометри самописні - після запірної арматури на вводі в тепловий пункт виходу та повернення води водяних теплових мереж, паропроводів і конденсатопроводів;
- б) манометри показують:
 - до запірної арматури на вводі в тепловий пункт трубопроводів водяних теплових мереж, паропроводів і конденсатопроводів;
 - на розподільчому та збірному колекторах водяних теплових мереж і паропроводів;
 - після вузла змішування;
 - на паропроводах до і після редуційних клапанів;
 - на трубопроводах водяних теплових мереж і паропроводах до і після регуляторів тиску;

Отже, процес складний і враховуючи ціну на обладнання, термін окупності буде значним, але не більше 5 років з урахуванням можливої економії. [6]

Порядок розроблення рекомендацій щодо забезпечення (підвищення рівня) енергетичної ефективності інженерних систем

1. Рекомендації з підвищення енергетичної ефективності інженерних систем розробляють з урахуванням віку інженерних систем будівлі, їх стану та способу їх експлуатації та обслуговування, технологій, що застосовувались під час встановлення систем у будівлі, порівняння цих технологій з сучасними технологіями та можливості застосування передових технологій.

2. Обсяг та перелік енергозберігаючих заходів визначається на підставі виду енергії, яку використовують інженерні системи будівлі, що є комбінацією всіх доставлених енергоносіїв та відновлюваної енергії, що виробляється на території будівлі.

3. Рекомендації щодо підвищення рівня енергетичної ефективності інженерних систем будівлі мають враховувати місцеві кліматичні умови та бути технічно та економічно обґрунтованими.

4. Рекомендації з енергозбереження мають містити, зокрема, такі заходи:

1) безвитратні заходи:

-закупівля палива з більш дешевого джерела;

-ощадливе використання наявних ресурсів;

-корекція заданої температури та графіків у системі автоматичного контролю;

-своєчасне вимкнення освітлення, зачинення дверей тощо;

2) низьковитратні заходи:

-навчання персоналу або поліпшення процедур експлуатації та обслуговування;

-контроль і оперативне планування;

-модернізація або доповнення системи автоматичного контролю;

3) високовитратні заходи:

-заміна або капітальна модифікація більшості енергетичних установок та інженерних систем;

-встановлення комплексних систем керування;

-утилізація теплоти;

-впровадження джерел відновлювальної енергії або встановлення когенераційних чи тригенераційних установок.

5. Рекомендації з енергозбереження оформляються з обов'язковим зазначенням таких відомостей:

1) опис наявних проблем, які будуть вирішені після виконання запропонованого заходу;

2) технічні параметри та опис запропонованих заходів (передумови виконання заходів, характеристика нового обладнання/матеріалів, основні та додаткові роботи, що необхідно виконати).

Опис заходів має бути достатнім для оформлення технічного завдання на виконання робіт із цього заходу;

3) пропозиції щодо підвищення ефективності систем:

-заощадження енергії та матеріальних витрат;

-скорочення зайвих операцій;

-підвищення ефективності використання енергії;

-використання більш дешевих енергетичних ресурсів;

4) аналіз ефективності та опис фінансових витрат:

-на проектування та планування;

-на капітальні витрати (матеріали, обладнання та монтаж, тестування та прийняття в експлуатацію, виконавча документація);

- на амортизацію устаткування;
- на технічне обслуговування.

6. Під час оцінки рівня споживання енергії системою кондиціонування повітря оцінюють характеристики системи кондиціонування повітря порівняно з потребами будівлі в опаленні та охолодженні та пропонують заходи для заміни системи кондиціонування повітря, коригування системи кондиціонування повітря або альтернативні рішення.

7. Усі заходи з енергозбереження розглядаються в комплексі та встановлюється їх вплив один на одного.[7]

Висновки. Підвищення рівня енергоефективності інженерних систем будинку є однією з пріоритетних задач для створення комфортних умов проживання. Та економія енергії на рівні до 40% можлива тільки після проведення повного аналізу усіх складових.

Клас енергоефективності встановлюється згідно стану системи, він враховує усі показники якості по споживанню енергії, а енергетичний сертифікат у повному обсязі показує рівень енергоефективності будинку до та після проведення робіт.

На прикладі ІТП було розглянуто конструктивні особливості, ціна на обладнання є достатньо високою, якщо брати до уваги нові технології модернізації, проте ризики враховано, оскільки економія від проведених робіт є і вона на достатньому рівні, щоб вважати доцільним проведення подібного заходу. В деяких будинках є можливість встановлення декількох ІТП, адже індивідуальний,- мається на увазі обраний для конкретного будинку тепловий пункт з необхідними параметрами.

Перелік використаних джерел

1. Денисюк С.П. Формування політики підвищення енергетичної ефективності – сучасні виклики та європейські орієнтири // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2013. – №2. – С. 7–22.

2. Закон України «Про енергетичну ефективність» (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 33, ст.359)

3. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. Наказ від 11.07.2018 № 169 «Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель»

4. Практичний посібник «Енергоефективний будинок крок за кроком» // Книга третя «Крок третій: капітальний ремонт і термомодернізація будинку»-2017.

5. Мембранные расширительные баки для систем отопления и охлаждения «reflex».

6. В.П. Васильев, В.Б. Николаев, Н.Н. Сельдин. Эксплуатация тепловых пунктов и систем теплоснабжения,-Справочник.2007р./з відповідними доповненнями в 2009,2011,2015,2017 роках.

7. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. Наказ від 11.07.2018 зареєстровано в Міністерстві юстиції України 16 липня 2018 р. за N 826/32278 «Про затвердження Методики обстеження інженерних систем будівлі»

Третяк В.А.

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ В УМОВАХ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Вступ. Для сучасного сільськогосподарського виробництва України, відповідно до Національної енергетичної програми України (НЕП), до 2010 року передбачено для впровадження енергозберігаючих технологій широке використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) або нетрадиційних: вітрових електростанцій, сонячних електричних установок, малих гідроелектростанцій, альтернативні (місцеві) види палива. За плановими обсягами ВДЕ можуть забезпечити до 10% потреб первинних енергоносіїв, причому враховується, як ресурсна база в Україні так узгодження з відповідними планами країн Європейської співдружності.

Мета роботи – вдосконалення процесів енергоспоживання та енергозбереження у сільськогосподарському виробництві.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси електроспоживання сільськогосподарського виробництва.

Предмет дослідження – технологія управління енергоспоживанням від комплексної електроенергетичної системи.

Викладення основного матеріалу. Електропостачання сільського господарства. Системи електропостачання сільського господарства включають живлення електроенергією всіх споживачів, розташованих на територіях сільськогосподарських районів. Це - електропостачання всіх видів сільськогосподарських виробництв, а також комплексів комунально-побутових споживачів сільських населених пунктів. Прикладами ПЕ в даній області є тваринницькі, птахівницькі, зернопереробне комплекси, зерно- та овочесховища, парникові установки, а також житлові будинки, медичні, торговельні, культурно-освітні установи і т.д.[1] Електричні навантаження окремих ПЕ змінюються в досить широких межах: від одиниць кіловат для малоповерхових будівель до одиниць мегават для тваринницьких і зернопереробне комплексів.

Споживання електроенергією СЕС сільського господарства здійснюється переважно від ПС 35-110 кВ ЕЕС. У районах, віддалених від електромереж ЕЕС, а також в якості резервних джерел живлення ПЕ, що не допускають перерви електропостачання або допускають такі перерви в межах 20-30 хв, застосовуються дизельні електростанції потужністю від десятків до сотень кіловат. В поодиноких випадках споруджуються місцеві гідроелектростанції аналогічної потужності.

Відмінності між графіками зимових і літніх діб залежать від співвідношень навантажень житлових будинків і сільськогосподарського виробництва, а також від географічної широти розглянутого району (кліматичні умови, довгота світлового дня).

Коефіцієнти потужності житлових та інших будівель сільських населених пунктів складають 0,9-0,95, а основних виробництв 0,75-0,85.

У зв'язку зі зростаючими вимогами щодо надійності електропостачання в останні роки широко застосовуються кільцювання мереж 10 кВ і двостороннє живлення підстанцій 35 і 110 кВ.

Як відомо, однією з головних задач сільській електрифікації є забезпечення надійного електропостачання споживачів при мінімальних витратах на побудову та обслуговування мереж (при максимальній економності їх роботи).

Одним з показників надійності є недовідпуск електроенергії

$$\Delta W = N \cdot T \cdot P,$$

де N- кількість пошкоджень; T-тривалість відключення; P- величина відключеною навантаження.

Відповідно і підвищення надійності здійснюється шляхом зниження величини N (підвищення надійності елементів, проведення попереджувального обслуговування і т. П.), Зниження величини (резервування) і зниження (протиаварійне автоматика, засоби визначення місць пошкоджень і т. П.).[2]

Підвищення надійності за цими напрямками здійснюється проведенням численних заходів, як технічних (наприклад, автоматизація), так і організаційних (наприклад, оптимізація термінів проведення капремонтів). Заходи відрізняються за значимістю, витрат, величиною і виду ефекту. Крім того, вони істотно взаємо впливають за ефектом: проведення одного заходу може знижувати або підсилювати ефект іншого.[3]

Системи власної генерації. В даний час частка малої генерації у виробництві електроенергії в Україні менше 2,3%, тоді як в окремих країнах Західної Європи вона становить 10-15%, а в деяких і вище. В Україні використовується понад 85 генеруючих установок на органічному паливі сумарною потужністю близько 850 МВт. Сумарна потужність ВДЕ становить близько 2,1 ГВт.

Велика частина - станції, що працюють на біопаливі, - 1,4 ГВт (67%), далі йдуть сонячні електростанції - 230 МВт (17%), малі ГЕС - 281 МВт (13%), вітряні електростанції -100 МВт (5%), геотермальні електростанції - 87 МВт (4%) споживчого ринку електроенергії проявляється в зниженні витрат на оплату передачі електроенергії, можливості відповідно до своїх потреб активізувати графік завантаження потужностей, отримання додаткового доходу від продажу електроенергії і потужності.[3]

Переваги розподіленої електроенергетики проявляються в підвищенні ефективності використання енергії шляхом задіяння місцевих енергоресурсів та зниження витрат на транспортування електроенергії; наявності більш розумних тарифів на електроенергію; вдосконаленні Переваги розподіленої електроенергетики проявляються в підвищенні ефективності використання енергії шляхом задіяння місцевих енергоресурсів та зниження витрат на транспортування електроенергії; наявності більш розумних тарифів на електроенергію; вдосконаленні контролю використання енергетичних ресурсів в режимі реального часу.

Вигода для окремих учасників контролю використання енергетичних ресурсів в режимі реального часу.

Вигода для окремих учасників споживчого ринку електроенергії проявляється в зниженні витрат на оплату передачі електроенергії, можливості відповідно до своїх потреб активізувати графік завантаження потужностей, отримання додаткового доходу від продажу електроенергії і потужності.

Перспективи розвитку розподіленої електроенергетики в Україні пов'язують з наступними причинами:

1. Наявність споживачів електроенергії, зацікавлених в оптимізації витрат, пов'язаних з її купівлею. Постійне зростання тарифів на електроенергію обумовлює доцільність інвестування у власну генерацію. Для промислових підприємств проблема власної генерації стає більш важливою в зв'язку з існуванням перехресного субсидування тарифів на електроенергію. Крім цього, власна генерація зменшує ризики, пов'язані зі збоями в електропостачанні, відключеннями, порушеннями параметрів струму і напруги

з причин, незалежних від споживача. В якості такого споживача можуть виступати як великі підприємства, так і приватні особи, які проживають в окремих котеджах.

При цьому власна генерація може бути як основним, так і додатковим джерелом електроенергії.

2. Наявність достатніх місцевих енергетичних ресурсів.

3. Розвиток технологій в сфері малої генерації. В даний час в залежності від місцевих джерел існують різні способи виробництва електроенергії: сонячні, вітряні установки, мікро турбіни, що працюють на природному газі, дизельні та бензинові генератори, міні-гідроелектростанції, станції, що використовують біопаливо.

4. Розвиток інтелектуальних енергетичних систем (Smart Grid, «енергетичний інтернет», «Віртуальна електростанція»). Використання цифрових технологій дозволяє ефективно відстежувати і керувати роботою об'єктів малої генерації, підвищує можливості координації роботи окремих генераторів, мережевих організацій та споживачів і в цілому сприяє підвищенню надійності і стабільності електроенергетичної системи.

6. Складна ситуація в екологічній сфері. Розподілена електроенергетика спрямована на більш ефективне використання ресурсів і мінімізацію впливу на навколишнє середовище.[4]

В даний час найбільш перспективним напрямком розподіленої енергетики в Україні є розвиток спільного виробництва (когенерації) електроенергії і теплової енергії. Крім того, заміщення індивідуальних котлів у дрібних споживачів (домогосподарства) на мікро-КДУ (когенераційні установки) здатне додатково забезпечити створення близько 40-60 ГВт нових електричних потужностей і вироблення 140-160 млрд кВтг електроенергії в рік.

Незважаючи на видимі переваги розподіленої енергетики, вона ще не отримала широкого поширення в енергетичній системі України. Суб'єкти малої генерації стикаються зі значними бар'єрами при вході на електроенергетичний ринок, в числі яких – недосконалість законодавчого механізму. Зокрема, не відрегульовані взаємодія суб'єктів малої генерації з мережевими компаніями, що визначають порядок і форму технологічного приєднання до мереж, відносини зі збутовими компаніями, що ускладнює можливість продажу надлишків електроенергії на оптовий і роздрібний ринки.

Бар'єри технологічного характеру, пов'язані з труднощами в контролі напруги, управлінні реактивною потужністю, зі зниженням ефективності електричних захистів, ускладненням роботи системного оператора, зменшенням надійності та стабільності роботи енергетичної системи.

Розвиток розподіленої енергетики може сприяти підвищенню рівня конкуренції на електроенергетичному ринку. В ідеальних модельних умовах «активний споживач» здатний стати рівноправним актором ринку, які беруть участь не тільки в споживанні і перерозподілі електричної енергії, а й в регулюванні частоти. Поява нових технологій розширює споживчий вибір і сприяє зменшенню ринкової влади великих виробників електроенергії. Великим генеруючим компаніям, можливо, доведеться акцентувати увагу на своїх клієнтів і здійснювати перегляд стратегій ціноутворення. Мала розподілена електроенергетика в Україні повинна зайняти свою нішу. Реалізація її принципів може, з одного боку, забезпечити вирішення проблем зростання цін на виробництво і передачу електроенергії, збільшення вартості підключення до електричних мереж, відсутність останніх на окремих територіях, а з іншого, підвищити надійність енергетичної системи. Всі ці питання вимагають комплексних досліджень, що

включають аналіз економічних і технічних можливостей реалізації розподіленої енергетики на території України.[3]

Комплексні електроенергетичні системи в сільськогосподарському виробництві. Енергетика в сільському господарстві терпить певні збитки, що негативно позначається не тільки на вартості продукції, а й на її якості і конкурентоспроможності. У зв'язку з цим сьогодні розробляються різні програми з розвитку енергозбереження в агропромисловому комплексі країни, спрямовані на розвиток галузі. Зокрема розвиток енергетики в сільському господарстві визначається наступними пріоритетними завданнями:

- модернізувати існуючі системи електропостачання або перейти на адаптивні системи;

- знизити ступінь зносу електричних мереж;

- скоротити втрати енергії і експлуатаційні витрати;

- по можливості використовувати інтелектуальні електричні мережі.

В даний час енергетика в сільському господарстві вже вступила на шлях переоснащення і модернізації. Крім державних програм, власники об'єктів сільського господарства самостійно намагаються вирішити деякі питання, активно впроваджуючи нові технології з енергозбереження. Енергетика в сільському господарстві активно переходить на використання енергозберігаючих ламп, малоенергозатратних технологій, комбінування паливних джерел і переоснащення технічного парку.

На сьогоднішній день ні у кого не викликає сумнівів, що енергетика в сільському господарстві потребує частковий перехід на альтернативні джерела енергії, що сприяє енергозбереженню і допоможе вирішити питання з перебоями в електроживленні, а також екологічні проблеми різного характеру. Починає впроваджуватися безвідходне виробництво, що дозволяє знизити енерговитрати і паливну залежність галузі. Для виробництва енергії і тепла вже використовуються «цукрові млини», а відходи від виробництва соку знайшли широке застосування для вироблення біогазу. Сюди ж можна віднести фото- і біоенергетичні установки і теплові наноси.[5]

Висновок. В умовах глобального подорожчання і недостачі енергетичних ресурсів перспективним і пріоритетним є використання відновлюваних і нетрадиційних джерел енергії, найбільш оптимальним для енергозабезпечення сільськогосподарського виробництва є застосування комплексних електроенергетичних систем, до складу яких входять як традиційні так і нетрадиційні джерела енергії, в результаті проведеного моделювання роботи комплексної електроенергетичної системи в складі ВЕУ, СЕУ, ДЕУ і енергосистеми, визначено обсяг виробленої електроенергії в зонах піку і полупіку, розраховане зменшення оплати за електроенергію.

Список використаної літератури

1. Бондаренко С. П. Електрифікація сільськогосподарського виробництва. К., 1962;
2. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Т., 2001.
3. Мартиненко І. І., Гончар В. Ф., Тищенко Л. П. та ін. Електропривід і застосування електроенергії у сільському господарстві. К., 1976; 1983;
4. Синьков В. М., Пересипкіна С. Й., Філіппов М. М. Математичні задачі сільської електрифікації. К., 1978;
5. Терновий В.Р. Підвищення надійності роботи силового обладнання підстанцій. Актуальні питання розвитку агропромислового комплексу: зб. тез доповідей студентської науково-практичної конференції (Бережани, 22–24 листоп. 2016) // Бережани: ВП НУБІП України «Бережанський агротехнічний інститут», 2016. – С. 86.

УДК 621.311

Загорський О. М.
Кафедра електропостачання
ІЕЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО АНАЛІЗУ СИСТЕМ НА ОСНОВІ НЕТРАДИЦІЙНИХ ТА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

В даній роботі запропоновано ряд технічних та економічних критеріїв для порівняння та вибору оптимальної системи на базі нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії.

Цей метод техніко-економічного аналізу дасть змогу оцінити доцільність інвестування в проєкт тієї чи іншої системи коштів потенційним інвестором .

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, нетрадиційні джерела енергії, система електропостачання, енергоефективність системи, надійність системи.

This paper proposes a number of technical and economic criteria for comparing and selecting the optimal system based on non-traditional and renewable energy sources.

This method of feasibility analysis will make it possible to evaluate the feasibility of investing in a project of a given system of funds by a potential investor.

Keywords: renewable energy sources, non-traditional energy sources, power supply system, energy efficiency of the system, system reliability.

Вступ. Існуючі в даний час методи оцінки ефективності роботи енергетичних об'єктів, в тому числі і електростанцій, стосуються в основному вартості виробленого кіловата електроенергії. В цьому сенсі теплові, атомні і великі гідроелектростанції мають незаперечну перевагу перед електростанціями на основі поновлюваних джерел енергії. У сфері великої енергетики існує думка, що мала, в тому числі і поновлювана енергетика, поки економічно себе не виправдовує.

Однак на тлі світової фінансової та енергетичної кризи прогнозується стрімке збільшення темпів розвитку відновлюваної енергетики. При цьому існує досить висока ймовірність, що ці темпи перевищать навіть найоптимістичніші прогнози.

Останнім часом в якості критеріїв ефективності в світовій практиці стали використовувати не тільки економічні показники, а й енергетичні, одержувані на основі розрахунків енергетичної ефективності електростанцій, що дає більш наочну характеристику використовуваним видам палива і первинної енергії.

Мета публікації. Визначення технічних та економічних критеріїв для порівняння систем на баз нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії для вибору оптимальної.

Основні матеріали дослідження. Серед технічних показників у даному методі розглядаються наступні:

- енергоефективність системи;
- надійність системи.

Ці критерії дозволяють оцінити втрати в системі в залежності від обраної конфігурації та дозволять оцінити ймовірність її безвідмовної роботи протягом певного періоду.

Для оцінки **енергоефективності** системи електропостачання необхідно визначити втрати потужності на кожному елементі такої системи. Для прикладу

розглянемо схему комбінованої (гібридної) станції, де у ролі генеруючих потужностей виступають вітрова та дизельна установки [1].

На рис. 1 приведено технологічну схему перетворення потужності в класичній автономній системі енергопостачання на базі гібридного енергетичного комплексу. Енергопостачання здійснюється паралельно по двох каналах: канал ДЕС та канал ВЕС, які об'єднані розподільчим пристроєм (РУ), з якого по відповідних лініях заживляться електричні навантаження загальної потужності P_H .

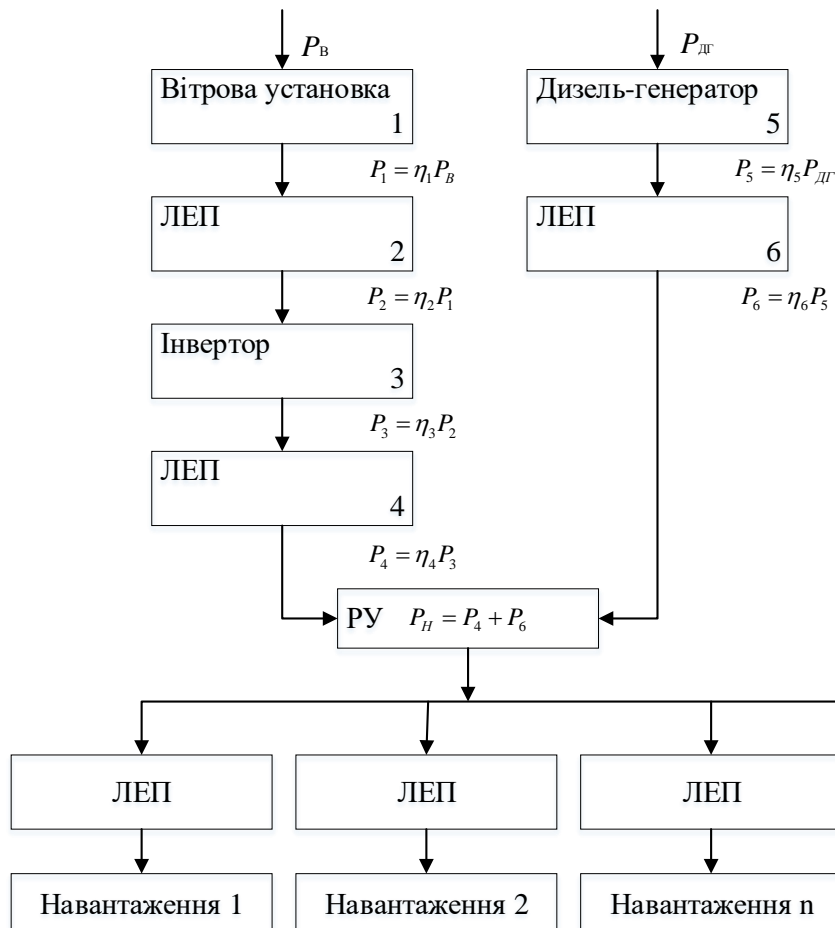


Рис. 1 – Технологічна схема ГЕС на базі ВЕС та ДЕС, що працюють на одне навантаження

Кожен з елементів технологічної схеми характеризується своїм коефіцієнтом корисної дії η_i . Тоді як енергетична ефективність такої системи може бути представлена інтегральним коефіцієнтом корисної дії гібридної електростанції:

$$\eta_{\text{ГЕС}} = \frac{P_4 + P_6}{P_B + P_{\text{ДГ}}} = \frac{P_H}{P_B + P_{\text{ДГ}}},$$

де P_6, P_4 – складові корисної потужності, отримані в результаті роботи ДЕС та ВЕС; $P_{\text{ДГ}}, P_B$ – відповідно, потужність, що виділяється при згорянні палива та потужність вітрового потоку.

Результуючі коефіцієнти корисної дії каналів ГЕС визначаються як:

$$\eta_{\text{ВЕС}} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4; \quad \eta_{\text{ДЕС}} = \eta_5 \eta_6.$$

Відповідно, інтегральний ККД даної системи пов'язаний з коефіцієнтами корисної дії елементів схеми виразом:

$$\eta_{\text{ВЕС}} = \frac{\eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 P_{\text{В}} + \eta_5 \eta_6 P_{\text{ДГ}}}{P_{\text{В}} + P_{\text{ДГ}}}.$$

Для дослідження енергоефективності подібних систем необхідно проаналізувати коефіцієнти корисної дії усіх елементів системи.

Надійністю системи називають ймовірність її безвідмовної роботи протягом певного часу t (гарантійний термін) [2].

Системи складаються з n елементів, з'єднаних послідовно (рис. 2.1) або паралельно (рис. 2.2).

У разі обчислення надійності систем потрібно виразити їх надійність через надійність елементів та блоків. Надійність елементів вважають відомою, оскільки вона пов'язана з технологією їх виготовлення та умовами експлуатації.

Позначимо p_k – надійність k -го елемента, q_n – ймовірність виходу з ладу за час t k -го елемента, P – надійність блока.

Послідовне з'єднання незалежних елементів (рис. 2). Такий блок працюватиме безвідмовно лише той час, коли усі елементи працюватимуть безвідмовно. За теоремою множення ймовірностей незалежних подій ймовірність безвідмовної роботи такого блока:

$$P = p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n.$$



Рис. 2– Схема послідовного з'єднання елементів

Паралельне з'єднання (рис. 3). Такий блок працюватиме безвідмовно, якщо принаймні один елемент не вийде з ладу, тому ймовірність P безвідмовної роботи:

$$P = 1 - q_1 \cdot q_2 \cdot \dots \cdot q_n$$

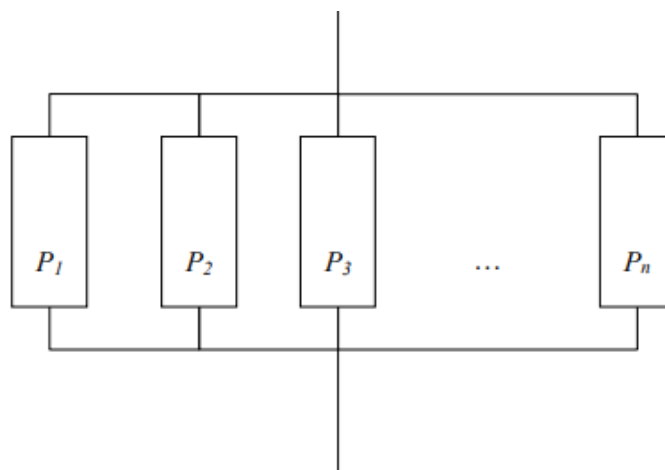


Рис. 3 – Схема паралельного з'єднання елементів

Оцінка **ефективності інвестування** в проект є важливим фактором при виборі структури системи електропостачання. Від того, наскільки об'єктивно та всебічно проведена ця оцінка, залежать строки повернення вкладеного капіталу, варіанти його альтернативного використання, додатковий потік прибутку підприємства у наступному періоді. Ця об'єктивність і всебічність оцінки ефективності інвестиційних проектів значною мірою визначається використанням сучасних методів її проведення [3].

Для економічної оцінки виділено наступні показники:

- дисконтований період окупності (DPP);
- чистий дисконтований дохід (NPV);
- нормована вартість електроенергії (LCOE).

Ці показники дозволять визначити: який проміжок часу необхідний для того, щоб відшкодувати початкові інвестиції з урахуванням часу; абсолютну величину ефекту від реалізації проекту; приведену вартість електроенергії для порівняння проектів.

Період окупності визначається за формулою:

$$C_0 = \sum_{t=1}^{BPB} \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

де CF_t – грошовий потік за розрахунковий період; C_0 – початкові інвестиції; r — ставка дисконтування.

Чистий дисконтований дохід визначається за наступною формулою:

$$NPV = \sum_{t=0}^{t=T} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^{t=T} \frac{(C_0)_t}{(1+r)^t}$$

де T – економічний строк життя інвестицій.

Вартість може вимірюватися різними методами, і кожен спосіб обліку витрат на виробництво електроенергії дає власне відображення результату. Метод приведеної вартості електроенергії (LCOE) дозволяє порівнювати електростанції із різними технологіями та структурами витрат. Витрати, що досліджуються, можуть включати витрати на обладнання (наприклад, фотовольтаїчні модулі або вітрові турбіни), витрати на фінансування, загальну встановлену вартість, фіксовані та змінні витрати на експлуатацію та технічне обслуговування, витрати на паливо (якщо такі є)[4].

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + O\&M_t + F_t + T_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}},$$

де $LCOE$ — приведена собівартість електроенергії, усереднена протягом періоду n ; I_t – інвестиційні витрати у році n ; $O\&M_t$ – операційні витрати та витрати на технічне обслуговування у році n ; F_t — витрати на паливну складову у році n ; T_t — податкові платежі у році n ; E_t — генерація електроенергії у році n ; r — ставка дисконтування; n — тривалість проекту.

Отже, у випадку порівняння систем на базі НВДЕ за приведеними вище критеріями, оптимальною вважатиметься та, яка краще виконує умови:

$$\begin{cases} DPP \rightarrow \min; \\ NPV \rightarrow \max; \\ LCOE \rightarrow \min; \\ \eta_{\text{сист}} \rightarrow \max; \\ P_{\text{сист}} \rightarrow \max. \end{cases}$$

Висновок. Техніко-економічна оцінка запропонована в даній роботі, допоможе потенційному інвестору (приватному чи державному) порівняти декілька систем на базі нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії та обрати найбільш оптимальний варіант за рядом запропонованих критеріїв.

Список використаних джерел.

1. Лукутин Б. В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении / Б. В. Лукутин, О. А. Суржикова, Е. Б. Шандарова. – Москва: Энергоатомиздат, 2008.
2. Теорія ймовірностей та математична статистика / О. І. Кушлик-Дивульська, Н. В. Поліщук, Б. П. Орел, П. І. Штабальок. – Київ, 2014. – 213 с. – (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»).
3. Мамотенко Д. Ю. Оцінка ефективності інвестиційних проектів [Електронний ресурс] / Д. Ю. Мамотенко. – 2008. ДСТУ EN 50160:2014 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності» (EN 50160:2010, IDT). – Київ: Мінекономрозвитку України 2014.
4. LCOE відновлюваних джерел енергії в Україні [Електронний ресурс] // CEL. – 2018.

УДК 621.311

Панасенко В. С.

Кафедра електропостачання
ІЕЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського**ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ У ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМАХ З УСТАНОВКАМИ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**

Метою статті є проведення аналізу показників надійності електропостачання для локальних систем з установками відновлюваної енергетики. Одним з основних питань в даній темі, незважаючи на велику кількість праць, присвячених дослідженню, є невизначеність методу щодо розрахунку надійності електропостачання в Microgrid. В роботі проведено оцінку показників надійності електропостачання та запропоновано введення комплексного показника, так як розподілені джерела енергії, зокрема і відновлювані, впливають на режимну та балансову надійність. Такий показник дає можливість оцінити надійність не за кожним окремим фактором, а надає розуміння про вплив кожного на загальний стан системи. За результатами розрахунку такого показника можна отримати висновки, про можливість або неможливість приєднання установок відновлюваної енергетики до обраної локальної мережі.

Ключові слова: надійність, локальна система, джерела розосередженої генерації.

The purpose of the article is to analyze the reliability of power supply for local systems with renewable energy installations. One of the main issues in this topic, despite the large amount of research work involved, is the uncertainty of the method for calculating the reliability of power supply in Microgrid. The paper assesses the reliability of electricity supply and proposes the introduction of a comprehensive indicator, since distributed energy sources, including renewable ones, affect regime and balance reliability. Such an indicator makes it possible to assess the reliability of each individual factor, but provides an understanding of the impact of each on the overall state of the system. As a result of the calculation of such an indicator, we can draw conclusions about the possibility or impossibility of connection of renewable energy installations to the selected LAN.

Keywords: reliability, local system, sources of dispersed generation.

Вступ. Електроенергетична система (ЕЕС) України являється складним об'єктом, який містить елементи з різними функціональними параметрами та характеристиками. Вона складається з регіональних електроенергетичних систем і функціонує як єдине ціле по всій території держави. Концентрація потужного устаткування на електростанцій (ЕС) та підстанціях (ПС), наявність потужних ліній електропередачі (ЛЕП) призводить до того, що порушення функціонування сучасних ЕЕС супроводжується великими економічними збитками та негативними соціальними наслідками [3].

Мета публікації. Провести аналіз показників надійності електропостачання для

Л

О

Основні матеріали дослідження. Згідно з сучасними тенденціями розвитку електричних систем, збільшується частка децентралізованого генерування енергії, а розподільні електричні мережі (ЕМ) у сукупності з джерелами розосередженої генерації (РГ) розглядаються як локальні електричні системи (ЛЕС). У зв'язку з активним

Н

И

Х

С

И

С

Т

розвитком існує багато визначень поняття джерела РГ, найрозповсюдженіші зведено у таблицю 1 [4].

Таблиця 1 – Визначення поняття джерела РГ

| Автор | Визначення РГ |
|--------------|---|
| Робоча група | Генеруючі пристрої що, як правило, з'єднані з розподільними мережами, максимальна потужність яких становить від 50 МВт до 100 МВт. |
| | Генераторні установки, значно менші за встановленою потужністю, ніж централізовані електричні станції, допускаючи їхній зв'язок з будь-яким вузлом в енергосистемі, розташованим неподалік. |
| | Об'єкти, що виробляють електричну енергію переважно на стороні споживачів та поставляють її безпосередньо в локальну розподільну ЕМ. |

Термін ЛЕС, відомі на заході як системи Microgrid, відноситься до концепту єдиної підсистеми електричної енергії в комплексі з обмеженою кількістю джерел РГ на основі установок відновлюваної енергетики разом з підключеними навантаженнями.

Базова структура Microgrid-системи зображена на рис. 1, яка показує, що Microgrid-система в основному складається з джерел РГ, поєднаних лініями постійного та змінного струму, системи акумулювання, розподільчої системи та систем контролю і зв'язку.

Технології розосередженої генерації, застосовані в системах Microgrid можуть містити вітрогенератори, фотоелектростанції(ФЕС), малі ГЕС, дизельгенератори і технології такі як однофазні і трифазні асинхронні генератори та синхронні генератори приведені в рух двигунами внутрішнього згорання.

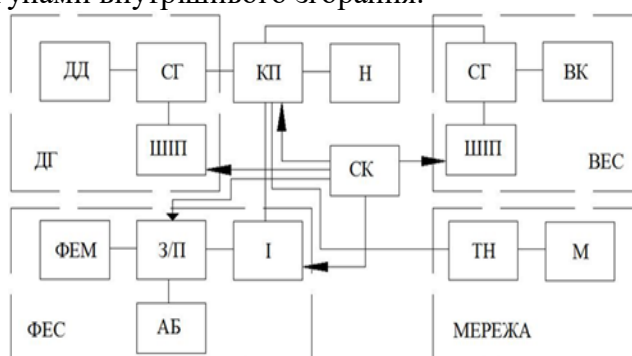


Рисунок 1 – Блок-схеми локальної системи – Microgrid [3]

На рис. 1 зображено ЛЕС з живленням від джерел РГ (ДГ, ФЕС, ВЕС) при паралельній роботі з мережею: ВЕС – вітроелектрична система; ВК – вітроколесо; М – мережа.

Дотримання нормованого рівня якості електроенергії та оптимальний розподіл потужності забезпечується загальною та локальними системами керування. Надійність функціонування такого об'єкту залежить від надійності кожного елемента, узгодженості їхніх параметрів та структурних зв'язків між ними.

Так як джерела РГ мають непостійний потенціал виникає необхідність забезпечення умов надійної паралельної роботи різних джерел РГ у складі ЛЕС, а також надійної паралельної роботи централізованих ЕМ з ЛЕС, підтримування збалансованого режиму між споживаною та генерованою електричними потужностями в ЛЕС, надійної та

безперебійної передачі електроенергії через мережі ЛЕС споживачам, які живляться від джерел РГ.

За Законом України "Про електроенергетику" № 575/97-ВР постачальники електроенергії зобов'язані забезпечити надійне постачання споживачів якісною електроенергією найбільш економічним способом. Відповідно до постанови № 232 Національної комісії регулювання електроенергетики України від 17.02.2011, надійність електропостачання споживачів в Україні розглядається такими показниками як SAIDI, SAIFI, MAIFI та ENS.

Описані вище показники були взяті з стандарту IEEE 1366 – «Керівництво по індексах (вимірювання) надійності засобів розподілу електроенергії». Даний стандарт стосується експлуатаційної надійності та умовно розділяє показники в розподільних мережах (див. табл. 2).

Таблиця 2 – Показники експлуатаційної надійності згідно IEEE 1366

| № з/п | Показник надійності | Визначення | № з/п | Показник надійності | Визначення |
|-------|---------------------|--|-------|---------------------|---|
| 1 | SAIFI | System Average Interruption Frequency Index / Показник середньої частоти відмов | 2 | ASIFI | Average System Interruption Frequency Index / Показник середньої частоти відмов по навантаженню |
| | SAIDI | System Average Interruption Duration Index / Показник середньої тривалості відмов | | ASIDI | Average System Interruption Duration Index / Показник середньої тривалості відмов |
| | CAIDI | Customer Average Interruption Duration Index / Показник середньої тривалості відмов окремих споживачів | | | |
| | CTAIDI | Customer Total Average Interruption Duration Index / Показник кількості споживачів, що мають перерви в електропостачанні | 3 | MAIFI | Momentary Average Interruption Frequency Index / Показник частоти короткочасних відмов |
| | CAIFI | Customer Average Interruption Frequency Index / Показник середньої частоти відмов | | MAIFIE | Momentary Average Interruption Event Frequency Index / Показник подій, що спричинили короткочасні відмови |
| | ASAI | Average Service Availability Index / Показник готовності надання послуг | | CEMSMIn | Customers Experiencing Multiple Sustained |

| | | | | | |
|--|-------|--|--|--|---|
| | CEMIn | Customers Experiencing Multiple Interruptions / Кількість споживачів, що мають багатократні перерви в електропостачанні | | | Interruption and Momentary Interruption Events / Кількість споживачів що одночасно мають тривалі та короточасні відмови |
| | CELID | Customers Experiencing Long Interruption Durations / Кількість споживачів, які мають тривалі перерви в електропостачанні | | | |

Для того щоб відобразити «тяжкість» або «важливість» відмови в системі, в країнах Європи, останні роки широкого використання набули показники надійності, які зображено на рис. 3.

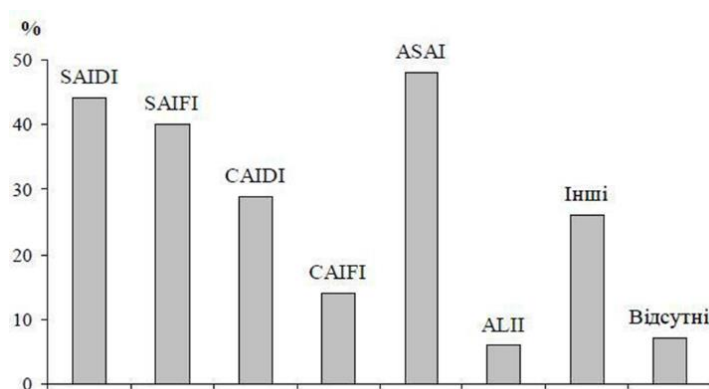


Рисунок 2 – Частота використання інтегральних показників надійності західними країнами

На даний момент для того щоб оцінити надійність електропостачання у локальних системах з установками відновлювальної енергетики існує велика кількість показників, ніяк не пов'язані один з одним напрямом.

Щоб оцінити надійність електропостачання, необхідно ввести новий показник – інтегральний показник надійності електропостачання (ІПНЕ) [2], який покаже імовірність надійного постачання електричної енергії споживачам.

Для отримання ІПНЕ, необхідно всі показники надійності електропостачання привести до нормалізованих значень, та знайти імовірність, що електропостачання буде якісним.

Як описано вище в Україні використовуються показники надійності SAIFI, SAIDI, ENS, MAIFI, а з діаграми на рисунку 2, бачимо, що найчастіше в країнах Європи застосовують показник надійності ASAI. Використання даного показника, для оцінювання надійності роботи ЛЕС, як складових електричних мереж, обумовлено тим, що показник дозволяє оцінити збитки власників станції на базі ВДЕ, наприклад ФЕС, що розміщена поблизу споживачів, в разі недовідпуску електроенергії внаслідок аварії на ЛЕП на шляху до споживача або до ПС. Для забезпечення універсальності використання

ПНЕ і в інших країнах, пропонується використати також імовірність забезпечення (ІЗ) показника ASAI.

Виведення ІЗ показників надійності електропостачання представлено в статті [1]. Маючи значення ІЗ показників надійності ПНЕ буде мати вигляд (формула 1):

$$\Phi_{HE} = P_{SAIFI} \cdot P_{SAIDI} \cdot P_{ENS} \cdot P_{MAIFI} \cdot P_{ASAI} \quad (1)$$

де P_{SAIFI} – ІЗ показника середньої частоти відмов; P_{SAIDI} – ІЗ показника середньої тривалості відмов окремих споживачів; P_{ENS} – ІЗ розрахункового обсягу недовідпущеної електроенергії; P_{MAIFI} – ІЗ показника частоти короточасних відмов; P_{ASAI} – ІЗ показника готовності надання послуг.

Для більш коректного розуміння розрахунків запропоновано ввести рівні оцінки надійності електропостачання.

Таблиця 3 – Рівні надійності електропостачання

| Рівень | Значення ПНЕ |
|------------|--------------|
| Відмінний | 0,75 – 1 |
| Добрий | 0,5 – 0,75 |
| Нормальний | 0,25 – 0,5 |
| Низький | 0 – 0,25 |

Висновки. Розподілені джерела енергії, зокрема і відновлювані джерела енергії як основна їх складова, впливають на режимну та балансову надійність. Для оцінювання впливу необхідно ввести показник, який би дозволяв врахувати всі особливості джерел енергії. В роботі наведено один з таких показників – інтегральний показник надійності електропостачання. За допомогою наведеного показника, виконавши розрахунки, висновки про можливе будівництво нового джерела генерації в обраній локальній системі, можуть робити як державні підприємства, які видають дозвіл на будівництво, так і комерційні, враховуючи можливі грошові витрати на покращення надійності ЕМ.

Список використаних джерел.

1. Дерев'яно Д. Г., Панасенко В. С., Масло О. С. Оцінювання надійності електропостачання у локальних системах з установками відновлюваної енергетики. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 203 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". Харків : ХНТУСГ, 2019 С. 49 – 50

2. Дерев'яно Д. Г. Масло О. С. Загорський О.М. Інтегральний показник якості електричної енергії в системах електропостачання з відновлювальними технологіями. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 203 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". Харків : ХНТУСГ, 2019 С. 49 - 50

3. Рибак В.П.: «Оцінювання впливу відновлюваних джерел електроенергії на якість електропостачання». Магістерська кваліфікаційна робота - Вінниця: ВНТУ, 2015. – 102 с.,

4. Лежнюк, П. Д. Вплив розосередженого генерування на надійність роботи електричних мереж / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, С. В. Кравчук, І. В. Котилко // Вісник НТУ «ХП», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХП». – 2018. – № 45 (1321). – С. 25-31. – doi:10.20998/2413-4295.2018.45.04.

Бондарчук Б.А.
кафедра електропостачання
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ SMART LIGHT СИСТЕМ В УМОВАХ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Анотація

У даній роботі проведена оцінка реалізації інтелектуальних систем для вуличного освітлення. Проаналізовано поточний стан освітлювальних мереж, виявлено ряд проблемних питань щодо її ефективного функціонування. Практична значимість полягає у пошуку та впровадженні сучасних технологій, для вирішення цих питань в системі Smart для вуличного освітлення.

***Ключові слова:** інтелектуальна система, ефективність, LED – освітлення, джерела світла.*

ASSESMENT EFFICIENCY OF THE FUNCTIONING SMART LIGHTING SYSTEMS IN THE CONDITIONS ELECTRICITY MARKET

Abstract

This article evaluates the implementation of intelligent street lighting systems. The current state of the lighting networks has been analyzed, and a number of problems have been identified regarding its effective functioning. The practical importance lies in finding and implementing state-of-the-art technologies to address these issues in Smart Street Lighting.

***Keywords:** intelligent system, efficiency, LED - lighting, light sources.*

1. Вступ

Покращення вуличного освітлення є однією з задач розвитку сучасної інфраструктури міста. Це надає можливість для впровадження новітніх освітлювальних технологій одночасно з сучасними архітектурними формами.

Прорив в області використання світлодіодів, які на самому початку створення могли виконувати лише індикативні функції, дозволяє розглядати LED - системи як серйозний конкурент існуючому вуличному освітленню. Водночас проблемою залишається поєднання технічних можливостей традиційних освітлювальних приладів з системами використання LED – технологій, а також та забезпечення моніторингу та управління цими системами.

2. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є підвищення ефективності функціонування систем освітлення шляхом запровадження сучасних засобів управління ними в умовах ринку електричної енергії.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити:

- розглянути можливості Smart – систем і виявити шляхи щодо їх реалізації;
- проаналізувати існуючі проблеми систем освітлення інфраструктури міста та запровадити шляхи їх вирішення;
- оцінити можливість використання існуючих технічних засобів для підвищення ефективності функціонування систем освітлення.

3. Викладка основного матеріалу дослідження

Відповідно до стратегії розвитку енергетики [1], сучасним напрямом всіх систем, котрі споживають електричну енергію є економічність, енергоефективність, надійність. Ця концепція має розвиватися за умови дії ринку електричної енергії. Згідно з Законом України "Про ринок електричної енергії" [2] розпочалися етапи впровадження нового ринку електричної енергії - функціонування роздрібного ринку. Було здійснено заходи з відокремлення діяльності з постачання від діяльності з розподілу електричної енергії, що є необхідним та надважливим чинником для забезпечення конкуренції на ринку електричної енергії.

Згідно з постановою НКРЕКП [3] були започатковані нові правила в частині розподілу споживачів на категорії «а» і «б». Тобто мають бути встановлені засоби диференційного (погодинного) обліку електричної енергії, які відповідають вимогам нормативних документів до автоматизованих систем комерційного обліку суб'єктів Оптового ринку електричної енергії України. Вуличне освітлення не є винятком, тому питання переходу існуючих систем до системи Smart набуло ще більшої актуальності.

3.1 Smart Light система та вимоги до неї

Інтелектуальна система вуличного освітлення - це концепція ефективного розподілу електроенергії в процесі вуличного освітлення. Даний напрямок бурхливо розвивається в даний момент за рахунок орієнтованості суспільства на «зелені» технології, що підтверджується прийняттям важливих регламентуючих документів на державному та міжнародному рівні: зокрема, можна виділити Кіотський протокол [4].

Розрізняють інтелектуальні системи освітлення двох поколінь. Перше покоління - це системи освітлення на основі світлодіодів. Заміна класичних джерел освітлення на світлодіодні джерела освітлення, дозволяє значно збільшити термін експлуатації, уникнути наслідків забруднення навколишнього середовища при утилізації [5].

Також світлодіоди дозволяють налаштовувати рівень освітленості, що застосовується в даний час в інтелектуальних видах дизайну системах освітлення другого покоління, де реалізуються принципи адаптивності та ресурсоефективності.

Інтелектуальна система повинна відповідати таким вимогам [5]:

- система децентралізована, тобто не існує центрального контролюючого елемента;
- система може бути легко вбудованої в міську систему;
- стан роботи системи залежить від зовнішніх чинників, таких як інтенсивність дорожнього руху і погодні умови;
- кожен ліхтар системи працює автономно і не вимагає настройки;
- рівень загальної освітленості, що забезпечується системою, не повинен виходити за рамки, передбачені вимогами безпеки;
- повинна забезпечувати моніторинг погодних умов і прийняття системою відповідних рішень при їх зміні.

Головними перевагами інтелектуальної системи вуличного освітлення від традиційної полягає в її здатності забезпечити економію електроенергії, що витрачається на освітлення, і можливість мінімізації витрат на технічне обслуговування. Крім того, ця система в змозі забезпечити практично безперебійне (тобто здійснюване з мінімальним часом від моменту виходу освітлення з ладу до відновлення його працездатності) освітлення вулиць, автотрас чи інших об'єктів.

Отже, створення такої інтелектуальної системи можливе за таких умов:

- запровадження елементів інтелектуалізації на основі існуючих мереж;
- відмова від застарілих елементів системи з повною або частковою заміною на нові;
- повна відмова від застарілої системи і створення нової згідно вимог інтелектуалізації.

3.2 Засади проектування зовнішнього освітлення

Сучасні мережі зовнішнього освітлення - це енергоємні автоматизовані об'єкти, правильна побудова яких значною мірою визначає ефективність праці і комфорт сучасного життя. Цим, зокрема, пояснюється той факт, що електричні мережі установок зовнішнього освітлення у більшості випадків структурно є груповими лініями.

Мережі внутрішнього освітлення розподіляються на живлячі, розподільні й групові. До живлячих мереж відносяться лінії від ТП або інших точок живлення до розподільних пунктів або ВРУ, до розподільної мережі – лінії до групових щитків, до групової мережі - лінії від групових щитків до освітлювальних приладів і штепсельних розеток. На початку кожної живлячої і розподільної лінії встановлюють апарат захисту і відключення. [6]

3.3 Класифікація проблемних питань в системах освітлення

За результатами проведених досліджень [7] при формуванні системи освітлення виявлено ряд наступних проблемних питань:

1. відсутність належної системи управління;
2. проблема сумісності LED – систем зі існуючими джерелами світла;
3. належний рівень напруги в мережі, пов'язаний з протяжністю;
4. надійність електропостачання (особливо на досить протяжні лінії).

3.4 Вирішення проблемних питань

1. Система управління.

Ефективність функціонування інтелектуальних систем напряму залежать від чіткої взаємодії усіх її компонентів, що супроводжуються структурами керування та управління. Використання сучасної автоматизованої системи управління (рисунок 1) дає можливість відстежувати і вимірювати поточні параметри всієї мережі, діагностувати поточний стан обладнання та лінії, а також можливість перемикавання навантаження для ОС в залежності від обставин.

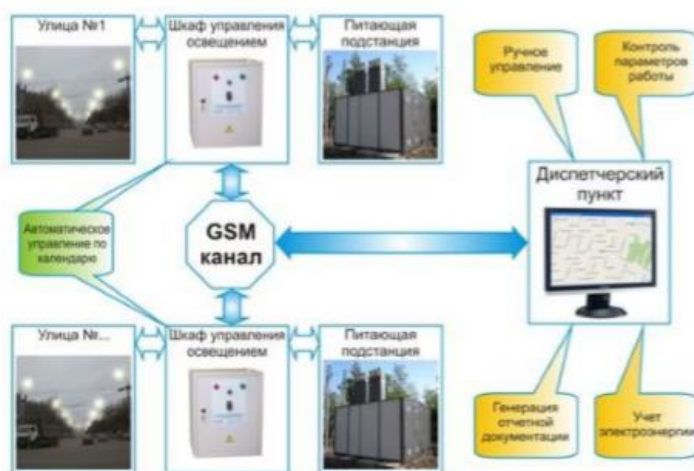


Рисунок 1 – Складові елементи автоматизованої системи управління

Система складається з двох рівнів.

Перший рівень - це шафи управління (ШУ), які здійснюють безпосереднє управління зовнішнім освітленням, трифазні електролічильники і контролер.

Другий рівень - це центр диспетчерського управління, в якому відбувається контроль стану і керування зовнішнім освітленням. Отримані дані з шаф управління обробляються і аналізуються в диспетчерському пункті.

Сигнал про стан зовнішнього освітлення в автоматичній системі управління зовнішнього освітлення передається по GSM / GPRS-каналах.

Дана можливість дозволяє віддалено відслідковувати стан системи. Включення і відключення зовнішнього освітлення відбувається в двох режимах: автоматичному і ручному. Таким чином, диспетчер має можливість керувати освітленням в аварійних ситуаціях або під час ремонтних робіт.

Створення такої системи управління з системами обліку дозволить використати технологію ринкових цін відповідно до правил роздрібного ринку електричної енергії.

2. Сумісність LED – систем зі існуючими джерелами світла

Автоматизована система передбачає удосконалення або повну заміну пускорегулюючої апаратури світильників, а саме установку димерів (рисунок 3,а), або електронних баластів нового покоління(рисунок 3,б).



Рисунок 3 – Зовнішній вигляд ПРА

а) димер Biomi 12 A;

б) електронний баласт-регулятор FPE-220 / 220D.

Принцип роботи таких пристроїв доволі простий: обмеження сили електричного струму і, як результат, потужності, призводить до зміни яскравості світіння. Це є досить великою їх перевагою, адже обмежуючи стрибкоподібні струми, які є особливістю технічних характеристик пуску натрієвих ламп, маємо можливість поєднувати світлодіодні світильники з іншими джерелами світла.

3. Надійність мережі освітлення.

Однією з основних завдань і цілей в області збереження екосистеми у системах зовнішнього освітлення, а також підвищення енергетичної ефективності є часткове заміщення традиційних ресурсів на відновлювальні джерела енергії. Одним з варіантів є використання окремих автономних сонячних установок (рисунок 4).

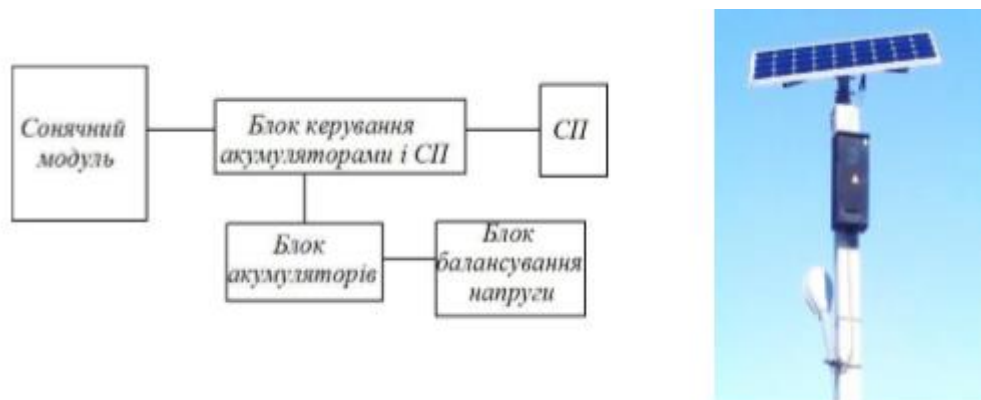


Рисунок 4 – Блок – схема та зовнішній вигляд автономної ОУ

Принцип роботи сонячних батарей для освітлення вулиць досить простий – сонячна панель виробляє протягом світлового дня постійний струм, котрий через контролер заряду заряджає невеликий акумулятор. Енергії в ньому достатньо щоб жити невеликі але потужні світлодіодні лампи, при цьому надлишок енергії може бути використаний для роботи додаткового обладнання, наприклад WI-Fi роутера, систем відеоспостереження, зарядних пристроїв. З метою продовження часу роботи, сонячні ліхтарі можуть комплектуватися датчиками руху.

Висновки

Мережі зовнішнього освітлення є одним з великих споживачів електроенергії. Тому модернізація мереж зовнішнього освітлення є одним з ефективних і обов'язкових енергозберігаючих заходів.

Для забезпечення ефективності функціонування необхідне використання автономних відновлювальних джерел живлення. Це дозволить підвищити надійність мереж зовнішнього освітлення, забезпечити енергозбереження, безперебійність живлення, і як наслідок – безпеку на дорогах.

Створення єдиної інтелектуальної системи управління зовнішнім освітленням забезпечить більш безпечні умови дорожнього руху, безпеку пішоходів і значно поліпшить архітектурну, туристичну та комерційну продукцію міста. А в поєднанні з системами обліку дозволить в повній мірі використати технологію ринкових цін відповідно до правил роздрібного ринку електричної енергії. Застосування новітніх елементів пуско-регулюючої апаратури дозволить вирішити питання суміщення освітлювальних пристроїв. Це дозволить поєднати різні за типами джерела світла в одну систему, що на даний час є досить актуальним питанням.

Список використаних джерел

1. Стратегія розвитку енергетики України до 2035 року. Точка доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112>
2. Закон України про електричну енергію.ТД: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>
3. Постанова НКРЕКП №2118. Точка доступу : <https://www.nerc.gov.ua/data/filearch/postanovy/2018/p2118-d-2018.pdf>
4. Кіотський протокол, точка доступу https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_801
5. Шиков, С.А. Проектирование и разработка системы интеллектуального управления освещением под ОС «Android» / С.А. Шиков, Е.Г. Алексеев /2015. С. 113-116.

6. Сергійчук Б. В. Аналіз систем управління зовнішнього освітлення Актуальні задачі сучасних технологій: (Тернопіль, 28–29 листоп. 2018.) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль: ТНТУ, 2017. – , Т 3, С. 77.

7. Бондарчук Б.А. Порівняльний аналіз можливостей використання освітлювальних систем з різними за типами джерелами світла: зб. тез доповідей наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Київ, 21–22 листоп. 2018.) М-во освіти і науки України, Київ. націон. техн. ун-т ім. І. Сікорського [та ін]. – Київ: , 2018. – , Т 1, С. 64.

УДК 621.311.153

Слоневський М. А.
кафедра електропостачання
ІЕЕ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГОСЕРВІСНИХ КОНТРАКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ БАЗОВИХ РІВНІВ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

Анотація

В статті розглянуто визначення енергосервісного контракту, порядок роботи енергосервісної компанії, умови функціонування ЕСКО компаній в Україні та Європі. Розглянуто проблеми, що виникають при застосуванні енергосервісних контрактів. Оцінено ризики та переваги впровадження енергосервісних контрактів для представників бюджетної сфери та ЕСКО компаній. Визначено можливості контролю ефективності впроваджених заходів з енергозбереження внаслідок формування енергосервісного контракту в бюджетній установі. Проаналізовано переваги та недоліки контролю ефективності енерговикористання при формуванні енергосервісного контракту. Проведено аналіз залежності ефективності функціонування енергосервісного контракту від статистичної значущості базового рівня енерговикористання згідно стандарту ISO 50001.

Ключові слова: енергосервісний контракт, енергозбереження, енергоаудит, базовий рівень енерговикористання, енергетичний менеджмент

Abstract

The article deals with the definition of an energy service contract, the order of operation of an energy service company, the conditions of operation of ESCO companies in Ukraine and Europe. The problems that arise when applying energy service contracts are considered. The risks and benefits of implementing energy service contracts for budget and ESCO companies were evaluated. Possibilities of controlling the efficiency of the implemented energy saving measures due to the formation of the energy service contract in the budgetary institution have been determined. The advantages and disadvantages of controlling the efficiency of energy use in forming an energy service contract are analyzed. An analysis of the dependence of the energy service contract performance on the statistical significance of the baseline energy use according to ISO 50001 has been performed.

Keywords: energy service contract, energy saving, energy audit, baseline energy use, energy management

Вступ

В Україні налічується майже 80 тис. бюджетних установ, які споживають у 2-3 рази більше ресурсів, ніж аналогічні установи у країнах Європи. За попередніми оцінками, термомодернізація цих будівель коштуватиме від 4,2 до 8,5 мільярдів доларів США в залежності від досягнутого класу енергоефективності. Зважаючи на суму, одним із найоптимальніших способів проведення термомодернізації в бюджетних установах є залучення приватних інвесторів (зазвичай ЕСКО) за механізмом енергосервісного контракту[1].

Основною проблемою ефективного енергосервісного контракту зазвичай стає питання майнових відносин між замовником та енергосервісною компанією[10]. Для

створення комфортних умов для замовника енергосервісна компанія повинна провести значну частину витрат (придбання обладнання, покращення мікроклімату в приміщеннях та ін.) в перший рік. При цьому окупність таких витрат відбувається протягом всього життєвого циклу контракту.

Необхідність виконання одночасно як ролі інвестору, так і ролі сервісного підприємства, а також велика кількість ризиків, властивих енергосервісній діяльності, вимагає від ЕСКО наявності адекватних методів управління ризиками. Якісне енергетичне планування є одним зі способів зниження ризиків після оформлення енергосервісного контракту. Побудова статистично значущого рівня енергетичного використання та аналіз ефективності впроваджених заходів з енергозбереження є базовими елементами якісного енергетичного планування.

Мета та завдання дослідження

Метою статті є визначення шляхів удосконалення ефективності впровадження енергосервісних контрактів у бюджетні установи.

Для досягнення зазначеної мети дослідження були вирішені такі завдання:

- проаналізована роль енергосервісних контрактів як інструменту підвищення енергоефективності бюджетної сфери України;
- порівняно нормативні підходи в Україні та за кордоном щодо підтримки ЕСКО компаній у формуванні енергосервісних контрактів;
- проведено аналіз доцільності та шляхи удосконалення використання базових рівнів енергоспоживання, побудованих на моделі регресії для підвищення ефективності функціонування енергосервісних контрактів

Матеріал та результати дослідження

ЕСКО – це енергосервісна компанія, яка виконує роботи із впровадження енергоефективних заходів (наприклад, утеплення фасадів, заміна вікон та дверей на енергоефективні, модернізація системи опалення, встановлення ІТП тощо). Завдяки цим заходам замовник починає економити ресурси та, відповідно, гроші, частину яких отримує ЕСКО як плату за свої послуги та повертає вкладені інвестиції. Також завдяки нещодавнім змінам у законодавстві стала можливою реалізація так званого принципу «first out», коли всі заощаджені кошти йдуть на оплату послуг ЕСКО. В такому разі термін енергосервісного договору скорочується[2].

Важливо, що бюджетні зобов'язання щодо повернення коштів ЕСКО наступають лише після того, як встановлено факт досягнення економії, передбаченої енергосервісним договором. Тобто, якщо в результаті енергоефективних заходів не вдалось досягнути економії, то енергосервісна компанія не отримує плати. Таким чином, енергосервісна компанія повністю бере на себе фінансові ризики і відповідальність за реалізацію проекту з підвищення енергоефективності. Згідно із законодавством України, енергосервісні договори можуть укладатись на строк до 15 років. Протягом дії такого договору розмір витрат бюджетної установи на оплату паливно-енергетичних ресурсів (далі – ПЕР) та житлово-комунальних послуг (далі – ЖКП) не змінюється. Одночасно, комфорт від перебування у термомодернізованих будівлях значно зростає одразу після реалізації енергоефективних заходів, тобто ще на початку дії договору. Під час дії енергосервісного договору замовник енергосервісу може отримувати вигоду у вигляді відсотка від досягнутої економії (зазвичай 10-20%), а після завершення договору енергетичні витрати на утримання будівлі бюджетної установи значно знижуються.

Окремим питанням є забезпечення фінансування енергоефективних заходів – це можуть бути як власні кошти енергосервісної компанії, так і кошти, залучені за рахунок кредитів банків чи інших фінансових установ, грантів чи проектів міжнародної технічної

допомоги.

В світі також існують моделі, де фінансування енергоефективних заходів здійснюється самим замовником. Від ЕСКО, в свою чергу, вимагається гарантія досягнення погодженого рівня економії енергетичних витрат, а також управління поліпшеннями (встановленими в ході енергосервісу енергоефективним обладнанням, устаткуванням, матеріалами тощо)[3].

Однак, зважаючи на українські реалії браку фахівців та коштів бюджетів на впровадження енергоефективних заходів в об'єктах бюджетної сфери, головною перевагою механізму енергосервісу є саме перекидання фінансових ризиків (та пошуку інвестицій на енергоефективний проект) на ЕСКО. Загалом, ключові учасники ринку енергосервісу та їх основні ролі узагальнені в таблиці 1.



Рисунок 1 Інвестиції та розподіл грошових потоків за механізмом енергосервісу

Залучення інвестицій в енергоефективність не можливе без відповідної законодавчої бази, а забезпечення енергетичної ефективності кінцевого споживання, зокрема, шляхом створення належних умов для діяльності енергосервісних компаній та впровадження енергосервісних договорів є однією з вимог Директиви 2012/27/ЕС Європейського парламенту і Ради, яку Україна зобов'язана імплементувати у своє законодавство. Учасники ринку енергосервісу та їх ролі представлені у таблиці 1[5].

Таблиця 1

| Учасник механізму енергосервісу | Ключова роль |
|--|---|
| Замовник (розпорядник бюджетних коштів) | <ul style="list-style-type: none"> • Утримує на балансі відповідний об'єкт • Гарантує оплату за договором |
| Виконавець (ЕСКО) | <ul style="list-style-type: none"> • Займається пошуком інвестицій • Впроваджує енергоефективні заходи • Гарантує економію ПЕР |
| Центральні та місцеві органи державної влади | <ul style="list-style-type: none"> • Затверджують базовий рівень споживання ПЕР • Затверджують істотні умови енергосервісних договорів |
| Фінансова установа | <ul style="list-style-type: none"> • Надає кредитні кошти на виконання проекту |

Законодавчі документи на рівні ЄС є важливим фактором підвищення енергоефективності та розвитку енергосервісної діяльності в країнах-учасницях, зближення країнових законодавчих норм і практик. Проте, підходи до проблем енергоефективності значно варіюються в країнах Європи і визначаються такими факторами, як різні стимули, які визначаються існуючими правовими і політичними рамками, а також умови фінансування проєктів. За даними Європейської комісії на будівлі припадає близько 40% споживання енергії в ЄС, при цьому більше 20% споживаної енергії є неефективним. Величезний потенціал для підвищення енергоефективності національних економік представляє використання поновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Загальний потенціал ринку енергозбереження в Європі оцінюється в € 5-10 млрд. Зі збільшенням до € 25 млрд. В довгостроковій перспективі. Тому діяльність в сфері енергозбереження має значний економічний, екологічний та соціальний потенціал, особливо з урахуванням зростання цін на енергоресурси і амбітних планів європейців щодо збереження клімату і обмеження викидів парникових газів[7].

Основною проблемою ефективного енергосервісного контракту зазвичай стає питання майнових відносин між замовником та енергосервісною компанією[10]. Для створення комфортних умов для замовника енергосервісна компанія повинна провести значну частину витрат(придбання обладнання, покращення мікроклімату в приміщеннях та ін.) в перший рік. При цьому окупність таких витрат відбувається протягом всього життєвого циклу контракту.

Згідно Закону України “Про запровадження нових інвестиційних можливостей, гарантування прав та законних інтересів суб’єктів підприємницької діяльності для проведення масштабної енергомодернізації, ВВР 2015, № 26, ст.220” предметом енергосервісного контракту є виконання організацією дій, направлених на енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності замовника. Важливим чинником, що впливає на ступінь ефективності функціонування енергосервісного контракту є якісне енергетичне планування після проведення енергоаудиту. Енергосервісні компанії в проєктах з енергозбереження виступають в трьох ключових аспектах: як інвестор, як сервісна компанія і як «страховик». Необхідність виконання зазначених ролей, а також велика кількість ризиків, властивих Енергосервіс, вимагає від ЕСКО наявності адекватних методів управління ризиками. Якісне енергетичне планування є одним зі способів зниження ризиків після оформлення енергосервісного контракту.

Енергетичне планування забезпечує підґрунтя для розробки системи енергетичного менеджменту, яка базується на розумінні енергетичної ефективності організації. Енергетичний аналіз – це аналітична частина процесу енергетичного планування. Якість енергетичного аналізу залежить від наявності, якості та вивчення зібраних даних[9]. Результатом аналізу є виявлення можливостей підвищення ефективності енерговикористання. Важливим інструментом кількісної оцінки досягнутого рівня енергетичної ефективності на підприємстві є встановлення базового рівня енерговикористання. Базовий рівень енерговикористання – математична модель, що описує залежність процесу енергоспоживання від певних впливових чинників. Базовий рівень енергоспоживання використовується при моніторингу рівня енергоефективності для встановлення цільового значення енергоспоживання[10]. Статистичний аналіз при побудові Базовий рівень енергоспоживання дозволяє не лише будувати модель енергоспоживання а і виявити потенціальні шляхи підвищення енергоефективності.

Виявлення можливостей для підвищення енергоефективності та складання списку цих можливостей підвищення за пріоритетами є результатом енергетичного аналізу. Збір та аналіз даних створює підґрунтя для визначення пріоритетності можливостей для поліпшення. На основі можливостей визначається планове цільове заощадження на певний звітний період, яке верифікується при порівнянні фактичного споживання, цільового та планового, або базового рівня. На рисунку 2 можемо побачити процес верифікації досягнення планового енергозаощадження[11].

Базовий рівень енергоспоживання будуються на основі енергетичного аналізу та дозволяють визначити основні показники та рівень досягнутої енергоефективності. Проводиться кореляційно-регресійний аналіз та визначається регресійна модель залежності процесу енергоспоживання від певних факторів, що впливають на цей процес. Найбільш поширеними вважаються лінійні регресійні моделі через простоту та інтерпретованість[12].

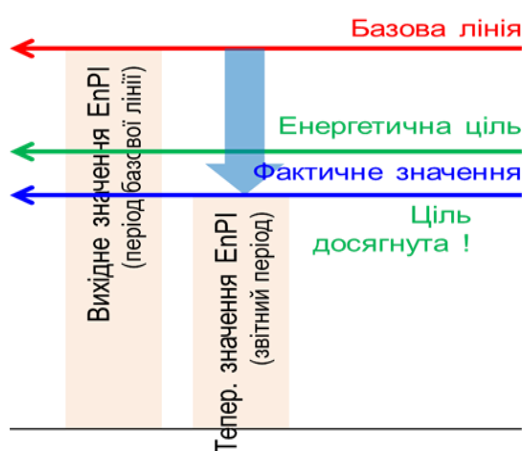


Рисунок 2. Перевірка досягнення цільового рівня енергоспоживання

Статистично значущий базовий рівень енерговикористання в результаті формування енергосервісного контракту дозволяє провести кількісний аналіз зміни рівня енергетичної ефективності. В свою чергу кількісний аналіз зміни рівня енергетичної ефективності житлової будівлі внаслідок впровадження енергосервісного контракту дозволяє вчасно виявити недоліки, або похибки при розрахунку ефекту від впровадження заходів з енергозбереження. Значне відхилення економічного ефекту від впровадження заходів з енергозбереження та проведення неякісного енергетичного аналізу при формуванні енергосервісного контракту може спричинити погіршення майнових відносин між замовником та енергосервісною компанією.

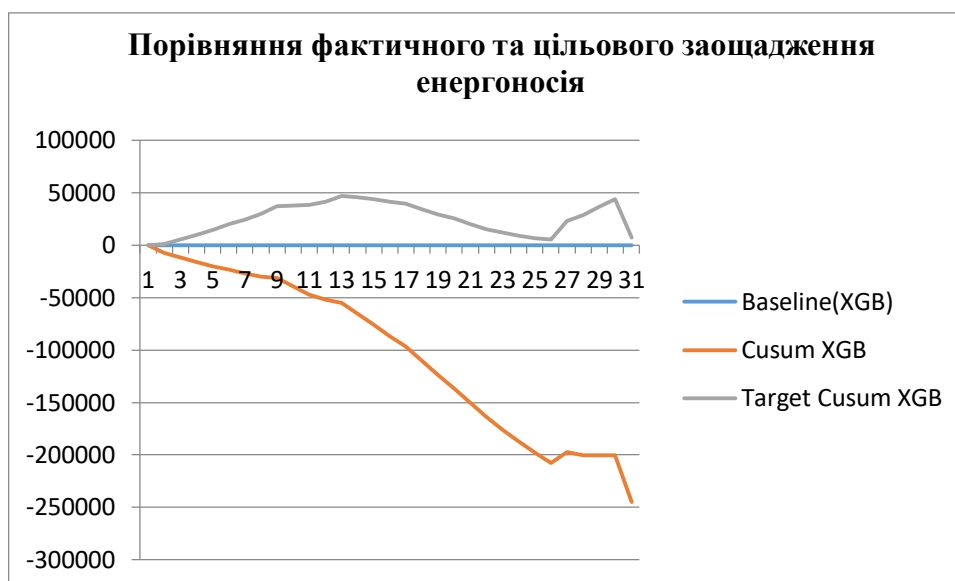


Рисунок 3 Відхилення фактичного заощадження енергоресурсів від запланованого за методикою ISO 50002

Згідно методики Стандарту ISO 50002 можна розрахувати зміну ефективності споживання енергоресурсу внаслідок впровадження заходів з енергозбереження. Для цього будується графік кумулятивних сум різниць фактичного споживання електричної енергії та цільового, розрахованого методом лінійної регресії[14]. Результат представлений на рисунку 3. Регулярний контроль відхилень фактичного заощадження енергетичних ресурсів від цільового дає можливість енергосервісній компанії вчасно виявити проблеми у реалізованих заходах з енергосервісу, уникати зайвих відшкодувань ризиків внаслідок підписання енергосервісного контракту. Також важливим є можливість рапортування кількісних змін енергетичної ефективності перед замовником енергосервісного контракту.

Висновки

1. Недоліком моделі ЕСКО для замовника енергосервісу є те, що він відчує суттєвий економічний ефект від впровадження енергоефективних заходів лише після закінчення дії договору, оскільки зекономлені кошти буде отримувати енергосервісна компанія в рахунок оплати наданих послуг. Під час дії енергосервісного договору грошова економія коливатиметься в діапазоні 3-10%.

2. Перевагами укладання енергосервісних контрактів для бюджетної сфери є підвищення енергоефективності інфраструктури комунальної і державної власності, що здійснюється за рахунок коштів ЕСКО, а не за рахунок бюджетних коштів, енергосервісні компанії зацікавлені у якісній реалізації проектів, дотриманні графіку їх впровадження та відповідному управлінні, оскільки від цього напряму залежить рівень досягнення економії і, відповідно, прибутки ЕСКО.

3. Базовий рівень, побудований на регресійних моделях прогнозування споживання енергії дає можливість не лише для планування бюджетних коштів, а і контролю ефективності діючого на підприємстві рівня енергетичної ефективності внаслідок формування енергосервісного контракту. Чим точніша модель прогнозування, тим якісніший проводиться контроль.

Перелік використаних джерел

1. Законодавча база ЄС – <http://eur-lex.europa.eu/>

2. Smart Energy Demand Coalition (SEDC) - <http://www.smartenergydemand.eu/111>
3. Виконання міжнародних зобов'язань України у сфері відновлюваної енергетики / Держенергоефективності // Презентація. – 2015.
4. Використання методології бенчмаркінгу для визначення рівня ефективності енергоспоживання в комунальній теплоенергетиці / Давиденко Л. В. // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2015. – No4 (135).
5. Впровадження стандарту систем енергоменеджменту в промисловості України. // Презентація Проекту ГЕФ/ЮНІДО. – Київ. – 2015.
6. Державна підтримка населення та ОСББ за програмами енергозбереження / Лістрова С. – Електрон. дан. – Режим доступу: <http://www.osbb-inform.com.ua/>
7. Державна підтримка термомодернізації житлових будівель в Україні: умови та перспективи впровадження енергоефективних заходів / Держенергоефективності // Презентація. – 2015.
8. Державна політика в сфері енергоефективності / Корчміт О.Ю. // Презентація. – 2015.
9. Держенергоефективності та ПРООН співпрацюватимуть у сфері енергоефективності та відновлюваної енергетики – Електрон. Дан. – Режим доступу: http://www.kmu.gov.ua/control/publish/article?art_id=248592013.
10. Дорожня карта нормативно-правового забезпечення розвитку сфер енергоефективності та відновлюваних джерел енергії. / Держенергоефективності. // Презентація.
11. Досягнення у сфері енергоефективності: заміщення споживання природного газу, підвищення енергоефективності, розвиток відновлюваної енергетики. / Держенергоефективності. // Презентація. – 2015.
12. Енергоефективне освітлення як інструмент енергоефективності / Черкашин І.Ю. // Промелектро. – 2015. – No5 – 6.
13. Енергоефективність. Існуючий стан, законодавче регулювання, інвестиційні проекти / Мінрегіон // Презентація. – 2014.
14. Енергоефективність у регіональному вимірі. Проблеми і перспективи / Регіональний філіал Національного інституту стратегічних досліджень в м. Дніпропетровську. Аналітична доповідь. – Дніпропетровськ – 2014.
15. Ключові елементи ISO 50001 та перший досвід його впровадження у містах України / Іншеков Є., Копець А. // Презентація. – Київ. – 2014.
16. Короткий огляд законодавства щодо розвитку політики у сфері раціонального використання енергії в Україні / Європейсько-українське енергетичне агентство. – Київ. – 2014.

УДК 621.311

Шевцов А. Ю.
кафедра електропостачання**АНАЛІЗ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ РОБОТИ ДЖЕРЕЛ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ
ГЕНЕРАЦІЇ НА ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ
МЕРЕЖАХ**

Анотація: Постійне зростання частки джерел розосередженої генерації в структурі генерування енергосистем несе не лише позитивні зміни. Встановлення джерел розосередженої генерації в невідповідних місцях та невідповідної потужності може погіршити параметри усталеного режиму електричних мереж, наприклад, надійність електропостачання, за рахунок не спрацювання захисту чи помилкового спрацьовування захисту. Метою цієї статті є аналіз впливу джерел розосередженої генерації на втрати потужності та електричної енергії. Для досліджень використовувалася реальна електромережа району міста.

Ключові слова: розподільні електричні мережі, втрати потужності, джерела розосередженої генерації, режими роботи.

Abstract: The steady increase in the share of dispersed generation sources in the structure of generation of energy systems brings not only positive changes. Installing distributed generation sources in inappropriate locations and inappropriate capacity may impair the steady-state parameters of electrical grids, such as reliability of power supply, due to the failure of the protection or the faulty activation of the protection. The purpose of this article is to analyze the effect of distributed generation sources on power and electricity losses. For research, the real power grid of the city district was used.

Keywords: power distribution networks, power losses, sources of distributed generation, operating modes.

Вступ. Невпинне зростання частки розосередженої генерації (РГ), у тому числі й відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у структурі генерування електроенергії розвинених країн світу зумовлено перевагами РГ над традиційною «великою» енергетикою. Так, у деяких країнах частка ВДЕ сягає 50 % (без врахування гідроелектростанцій) від загального обсягу виробленої електроенергії [4]. Та деякі переваги РГ, як наприклад, зменшення втрат електроенергії в електричних мережах (ЕМ), досягаються при визначенні оптимальних місць встановлення та потужності джерел розосередженої генерації, інакше підключення РГ до ЕМ в неоптимальному місці може викликати, зокрема, й переобтяження елементів цієї мережі та погіршення профілю напруги [1, 2].

Відома ціла низка методів розв'язання цієї задачі [3, 4, 6], але незважаючи на величезну кількість досліджень у цій сфері проблема оптимального розміщення РГ не є повністю вирішеною навіть у розвинених країнах. Особливості ЕМ України [4] потребують дещо інших підходів до визначення оптимального розміщення РГ. Тому для розв'язання задачі оптимального розміщення джерел РГ ми використовуємо комплекс програм ІВК СЕС 2.0.

Метою та завданням дослідження є підвищення ефективності режимів роботи міських розподільних мереж середньої напруги за рахунок вибору оптимального місця підключення ДРГ.

Матеріали результати досліджень У нових економічних умовах через обмеженість енергоресурсів в Україні, а також приватизації окремих енергетичних об'єктів втрати електроенергії перетворилися зі звичайного звітного показника у один з важелів керування економічною ефективністю роботи підприємств енергетичної галузі. Серед об'єктів, де спостерігаються надмірні втрати потужності та електроенергії, розподільні електричні мережі раніше не привертали особливої уваги. Важливішим в них було забезпечення необхідного рівня надійності електропостачання споживачів. До того ж дані мережі конструктивно не пристосовані до оптимального керування, оскільки немає ні засобів телеінформації про параметри поточного режиму, ні засобів керування останніми.

Розрахунок робочих режимів мережі зазвичай зводиться до перевірки виконання технічних умов, тобто відповідності струмів в окремих елементах і напруги в окремих вузлах мережі допустимим значенням. Крім того, для оцінки економічності роботи мережі розраховують втрати активної потужності і енергії за рік. Таким чином, розрахунки робочих режимів проводяться як для перевірки допустимості показників режимів, так і для забезпечення економічності роботи всієї енергосистеми або її окремих частин.

В основі всіх методів розрахунку режимів роботи електричної мережі лежать залежності, що випливають із законів Ома і Кірхгофа. Практичне застосування знайшли два основні методи розрахунку: прямий, якщо шукані величини визначаються в один крок, наприклад, шляхом аналітичного рішення системи рівнянь і метод послідовного наближення (ітераційний метод рішення), при якому шукані величини знаходяться в результаті багатокрокового процесу поступового переходу від більш грубих відповідей на поставлене завдання до більш точних рішень.

При розрахунку місцевих мереж, до яких відносяться і міські розподільні мережі, можна обмежитися першою ітерацією в зв'язку з тим, що вимоги, пред'явлені споживачами до якості електроенергії, визначають необхідність забезпечення в усіх точках мережі значення напруги, яке мало відрізняється від номінального. Отримана при цьому помилка лежить в межах точності розрахунку. Введення такого припущення дозволяє визначити струми навантажень і інші параметри режиму мережі, в тому числі і напруги на затискачах навантаження

$$I_i = \frac{S_i}{\sqrt{3}U_i} .$$

Режими роботи електричної мережі розраховуються на підставі її схеми заміщення. Цю схему отримуємо в результаті об'єднання схем заміщення окремих елементів мережі у відповідності до послідовності з'єднання цих елементів в електричній мережі. Схему заміщення мережі іноді називають розрахунковою. У розрахунковій практиці виділяють два види електричних мереж і відповідних їм розрахункових схем: розімкнуті і замкнуті мережі. Міські розподільні мережі експлуатуються, як правило, по розімкненим схемам з можливістю взаємо резервування за допомогою резервних поділів, тому до них застосовуються методи розрахунку режиму для розімкнутих мереж.

В якості інструменту при розрахунках був використаний інформаційно-обчислювальний комплекс ІВК СЕС 2.0 призначений для вирішення широкого кола завдань розрахунку і оптимізації режимів і параметрів розподільних електричних мереж різного призначення, номінальної напруги 6-35 кВ. При розрахунку втрат електричної енергії використовуємо метод по елементних розрахунках. Під системою електропостачання міста розуміється сукупність електричних мереж та

трансформаторних підстанцій, розташованих на території міста і призначених для електропостачання його споживачів (рис.1).

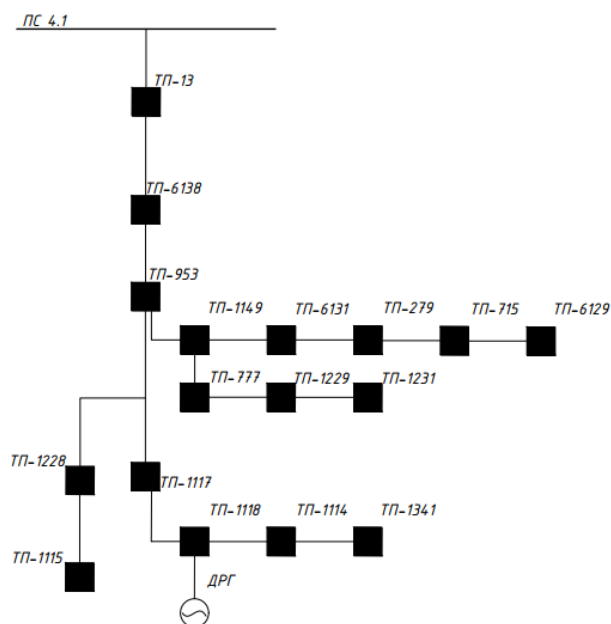


Рисунок 1 – Лінія розподільної електричної мережі 10 кВ

Основні показники системи визначаються місцевими умовами: розмірами міста, наявністю джерел живлення, характеристиками споживачів тощо.

Живлення міських споживачів здійснюється за допомогою розподільних мереж напругою 6-10 кВ і 0,38 кВ, які спираються на дані джерела живлення Таблиця-1 та Таблиця-2.

Таблиця-1 – параметри вузлів лінії

| № п/п | Трансформаторна підстанція | Марка трансформатора | Навантаження | |
|-------|----------------------------|----------------------|--------------|---------|
| | | | Р, кВт | Q, квар |
| 1 | ТП-13 | ТМ-560 | 119 | 50 |
| 2 | ТП-6138 Пс. | ТМ-560 | 117 | 50 |
| 3 | ТП-6138 Іс. | ТМ-560 | 116 | 50 |
| 4 | ТП-953 | ТМ-560 | 117 | 50 |
| 5 | ТП-1117 | ТМ-560 | 116 | 53 |
| 6 | ТП-1118 | ТМ-250 | 290 | 95 |
| 7 | ТП-1114 | ТМ-315 | 236 | 104 |
| 8 | ТП-1228 | ТМ-100 | 63 | 39 |
| 9 | ТП-1115 | ТМ-160 | 97 | 47 |
| 10 | ТП-1149 | ТМ-250 | 137 | 50 |
| 11 | ТП-6131 | ТМ-160 | 64 | 50 |
| 12 | ТП-279 Іс. | ТМ-160 | 84 | 41 |
| 13 | ТП-279 Пс. | ТМ-250 | 87 | 37 |
| 14 | ТП-715 | ТМ-250 | 323 | 106 |
| 15 | ТП-6129 | ТМ-180 | 64 | 40 |
| 16 | ТП-777 | ТМ-250 | 125 | 71 |
| 17 | ТП-1229 | ТМ-250 | 94 | 53 |
| 18 | ТП-1231 | ТМ-400 | 245 | 80 |

Таблиця–2 – вихідні дані по ділянках лінії

| № лінії | Назва лінії | Марка кабелю | Активний опір, Ом/км | Індуктивний опір, Ом/км | Довжина лінії, км |
|---------|-------------------|--------------|----------------------|-------------------------|-------------------|
| 1 | ПС 4.1 – ТП-13 | ААБ-120 | 0,258 | 0,076 | 2,19 |
| 2 | ТП-13 – ТП-6138 | ААБ-70 | 0,443 | 0,061 | 0,760 |
| 3 | ТП-6138 – ТП-953 | ААБ-120 | 0,258 | 0,076 | 0,500 |
| 4 | ТП-953 – ТП-1117 | ААБ-70 | 0,443 | 0,061 | 2,57 |
| 5 | ТП-1117 – ТП-1118 | А-70 | 0,41 | 0,056 | 0,125 |
| 6 | ТП-1117 – ТП-1114 | А-70 | 0,41 | 0,056 | 0,125 |
| 7 | ТП-1114 – ТП-1341 | ААБ-120 | 0,258 | 0,076 | 1,15 |
| 8 | ТП-953 – ТП-1228 | ААБ-70 | 0,443 | 0,061 | 3,231 |
| 9 | ТП-1228 – ТП-1115 | ААБ-185 | 1,62 | 0,167 | 0,073 |
| 10 | ТП-953 – ТП-1149 | ААБ-120 | 0,258 | 0,076 | 0,210 |
| 11 | ТП-1149 – ТП-6131 | ААБ-120 | 0,258 | 0,076 | 0,923 |
| 12 | ТП-6131 – ТП-279 | ААБ-70 | 0,443 | 0,061 | 0,440 |
| 13 | ТП-279 – ТП-715 | ААБ-70 | 0,443 | 0,061 | 0,610 |
| 14 | ТП-715 – ТП-6129 | ААБ-70 | 0,443 | 0,061 | 1,0 |
| 15 | ТП-1149 – ТП-777 | ААБ-120 | 0,258 | 0,076 | 2,34 |
| 16 | ТП-777 – фТ-1177 | ААБ-120 | 0,258 | 0,076 | 1,52 |
| 17 | фТ-1177 – ТП-1229 | ААБ-150 | 0,203 | 0,074 | 0,420 |
| 18 | ТП-1229 – ТП-1231 | ААБ-70 | 0,443 | 0,061 | 1,42 |

Від електричних мереж систем електропостачання загального призначення живляться ЕП різного призначення, розглянемо промислові (рис.2) та побутові (рис.3) ЕП.



Рисунок 2 – Типовий графік електричного навантаження одно змінного підприємства

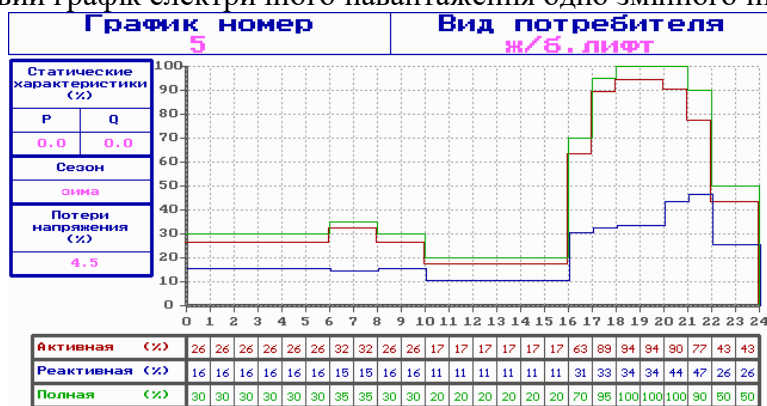


Рисунок 3 – Типовий графік електричного навантаження житлового багатоповерхового будинку з ліфтами

На рисунку 4 зображено графік роботи ДРГ. Максимальна потужність ДРГ 800 кВт, що складає 30% від загального навантаження лінії.



Рисунок 4 – Графік генерації розглядаємо газо генератора

В даній статті я проводив розрахунок втрат електричної енергії в лінії розподіленої електричної мережі яка представлена була раніше з підключеним в різних точках джерелом розосередженої генерації. Першу ситуацію, змодельовали коли джерело розосередженої генерації підключене на початку лінії, а саме на ТП-13, як видно з таблиці-3, втрати електричної енергії становлять 6,83%. Остання ситуація, змодельована коли джерело розосередженої генерації підключене в кінці лінії, а саме на ТП-1341, як видно з таблиці-3, втрати електричної енергії становлять 5,56%. Всі проміжні результати занесені до таблиці- 3.

Таблиця-3 – результати впливу джерел розосередженої генерації на втрати електричної енергії в розподільних електричних мережах.

| № ТП | Втрати електричної енергії, % |
|-------------|-------------------------------|
| ТП-13 | 6,83 |
| ТП-6138 Пс. | 6,15 |
| ТП-6138 Іс. | 6,15 |

Таблиця-3 продовження

| | |
|-------------|------|
| ТП-953 | 5,91 |
| ТП-1149 Пс. | 5,87 |
| ТП-6131 | 5,84 |
| ТП-279 | 5,83 |
| ТП-715 | 5,85 |
| ТП-6129 | 6,03 |
| ТП-1149 Іс. | 5,87 |
| ТП-777 | 5,84 |
| ТП-1229 | 5,87 |

| | |
|---------|------|
| ТП-1228 | 5,53 |
| ТП-1115 | 5,64 |
| ТП-1117 | 5,44 |
| ТП-1118 | 5,44 |
| ТП-1114 | 5,45 |
| ТП-1341 | 5,56 |

На основі проведених розрахунків можемо провести ще одне дослідження яке покаже нам о котрій годині протягом доби найкраще буде використовувати джерело розосередженої генерації.

Висновок проаналізувавши всі отримані значення, ми бачимо що найкращий ефект для встановлення джерела розосередженої генерації в середині лінії від ТП-13 – ТП-1341, а саме на ТП-1117 або на ТП-1118. Однією з переваг цього розрахунку є те що ми можемо дослідити, змінюючи час роботи генератора протягом дня о котрій годині найкраще використовувати джерело розосередженої генерації.

Список використаної літератури

1. Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М. Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах // Техн. електродинаміка. – 2011. – № 1. – С. 46–53.
2. Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М., Трач І.В. Основні проблеми інтеграції відновлюваних джерел електроенергії в «слабкі» мережі // Техн. електродинаміка. – 2012. – № 3. – С. 25–26.
3. Лук'яненко Л.М., Гончаренко І.С., Блонська О.В. Визначення оптимальних місць встановлення та величин потужності відновлюваних джерел енергії // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2014. – Вип. 37. – С. 26–33.
4. Akorede M.F., Hizam H., Aris I., Ab Kadir M.Z.A. A Review of Strategies for Optimal Placement of Distributed Generation in Power Distribution Systems // Research Journal of Applied Sciences. – 2010. – No. 5 (2). – P. 137–145.
5. Energy from renewable sources. Eurostat. Режим доступу: http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Energy_from_renewable_sources.
6. Lukianenko L.M., Goncharenko I.S., Blonska O.V. Determination of the Optimal Placement and Capacity of Distributed Generation // Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS-2014). – 2014. – P. 159–162.
7. IBK-СЕС [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://4-i-5.ru/text-3/page-5-ref-1235.php>.

УДК 621.3

Шевчук В.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**ПОБУДОВА СИСТЕМИ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОМИСЛОВОГО ОБ'ЄКТА НА ОСНОВІ
СТАНДАРТУ ISO 50001**

Анотація. У статті показано загальні принципи побудови систем енергоменеджменту, зокрема на промислових підприємствах на основі стандартів ISO. Розглядаються цілі та завдання, об'єкти і суб'єкти енергоменеджменту, заходи щодо підвищення енергоефективності, характеристики і ключові елементи системи.

Ключові слова: енергетичний менеджмент, енергоефективність, система енергоменеджменту, принципи і стандарти енергоменеджменту, стандарт ISO 50001.

Abstract. This paper addresses a wide range of questions on the implementation of enterprise energy management system based on ISO standards. Addresses the objectives and tasks, objects and subjects of energy management, energy efficiency measures, the characteristics and key elements of the system.

Keywords: energy management, energy efficiency, energy efficiency system, principles and standards of energy consumption, ISO 50001 standard.

Вступ. Проблема енергозбереження є однією з найбільш активно досліджуваною у світовій науці, в тому числі, українській. Реалізація концепції стійкого розвитку, світове значення якої в останні роки підвищується, популяризація її ідей та основних принципів викликають необхідність проведення більш глибоких досліджень в області підвищення енергоефективності світової економіки, а відповідно, і підприємств.

Принципи управління енерговикористанням промислових об'єктів ґрунтуються на особливостях структурної побудови самого апарату, існуючій підпорядкованості його окремих ланок, функціональному розподілі обов'язків між керівниками підрозділів.

Системи енергоменеджменту промислових підприємств, де застосовуються нові принципи управління, відомі в світовій практиці і мають високу ефективність роботи. У роботі викладено основні принципи структурної побудови таких систем, визначено зміст та послідовність взаємодії її окремих складових.

Матеріал і результати досліджень. Система енергетичного менеджменту (СЕНМ) – це частина загальної сфери управління підприємством, основне завдання якої – це ефективне використання паливно-енергетичних ресурсів. [1]

Існуючі методи управління енерговикористанням підприємств нині не такі ефективні і потребують удосконалення. Основні функції такого управління виконує служба головного енергетика. Вона не має розгалуженої та відповідно підготовленої структури, здатної здійснювати ефективний контроль рівня витрат енергії на різних стадіях промислового виробництва. Відсутні також технічні засоби, які дозволяли б сповна контролювати виробничі ділянки і оцінювати показники енергоефективності. Важлива особливість діючої системи управління енерговикористанням полягає в покладенні відповідальності за стан справи на одну особу – головного енергетика підприємства, який, в принципі, не має ефективного механізму для виконання цих

функцій. В існуючій ситуації необхідно створювати нову систему управління, побудовану на інших принципах і здатну навести порядок у використанні енергії.

Перш за все необхідно обґрунтувати можливий принцип побудови системи енергоменеджменту, визначити існуючий рівень контролю енергії на діючих підприємствах, висвітлити недоліки діючого обліку, сформулювати пропозиції щодо його вдосконалення. Процес управління складається з декількох етапів:

- вимірювання керованих параметрів;
- зіставлення результатів вимірювань із завданням;
- розробка керуючих дій.

Така послідовність дій характерна і для систем енергоменеджменту. Вона відтворена у широко розповсюджених у світовій практиці системах контролю і нормалізації енергоспоживання.

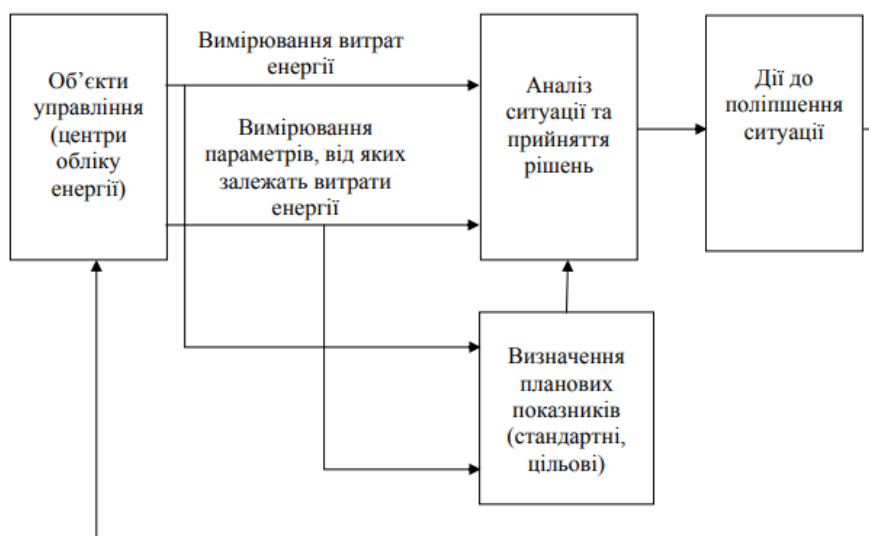


Рис. 1 – Структура системи енергоменеджменту

Ефективне управління енергоспоживанням підприємства можливе тоді, коли мінімізація витрат енергії буде досягнута безпосередньо на робочих місцях, тобто там, де ця енергія використовується. Для здійснення такого управління необхідно забезпечити відповідальність за ефективне енергоспоживання безпосередньо в структурних підрозділах підприємства. Таким чином, структурні підрозділи підприємства самостійно вирішують питання енергозбереження, а їх керівники відповідають за результати такої діяльності. У системі енергоменеджменту технологічні об'єкти виділених підрозділів являють собою об'єкти управління, де необхідно забезпечити високу енергоефективність процесів.

Системи енергоменеджменту впроваджуються на основі стандарту ISO 50001, що встановлює вимоги до системи, на основі яких підприємство, володіючи достовірною інформацією щодо використання енергетичних ресурсів, може розробити та запровадити енергетичну політику, здійснити постановку цілей, завдань і розроблення планів заходів з енергетичного менеджменту з урахуванням законодавчих вимог.

Цей стандарт ґрунтується на методології, відомій як цикл постійного поліпшення «Плануй — Виконуй — Перевірйай — Дій» («Plan — Do — Check — Act» (PDCA)), і запроваджує енергетичний менеджмент у повсякденну діяльність (практику) підприємства. [2]

Як і інші стандарти інтегрованої системи менеджменту, ISO 50001:2018 передбачає, що підприємство повинно мати сформульовані і задокументовані цілі, завдання та плани дій в області енергетичного менеджменту на певні проміжки часу. Цілі і завдання повинні бути контрольованими і, як правило, мати кількісне вимірювання відносно базового періоду.

Відповідно до положень міжнародного стандарту ISO 50001:2018 підприємство чи організація повинні спочатку визначити найбільш енергоємні виробничі підрозділи, технологічні процеси, установки і агрегати, а потім встановити енергетичний базис, який розробляється на рівні всіх енергетичних та виробничих показників базового періоду.

Система енергоменеджменту, побудована на основі вимог стандарту, повинна містити документальне підтвердження процедури розроблення енергетичного базису. Для оцінки енергоефективності і міри досягнення встановлених цілей підприємства необхідно визначити індикатори (показники) енергетичної ефективності. Показники енергоефективності повинні оновлюватися і постійно порівнюватися з базовим енергоспоживанням. [3]

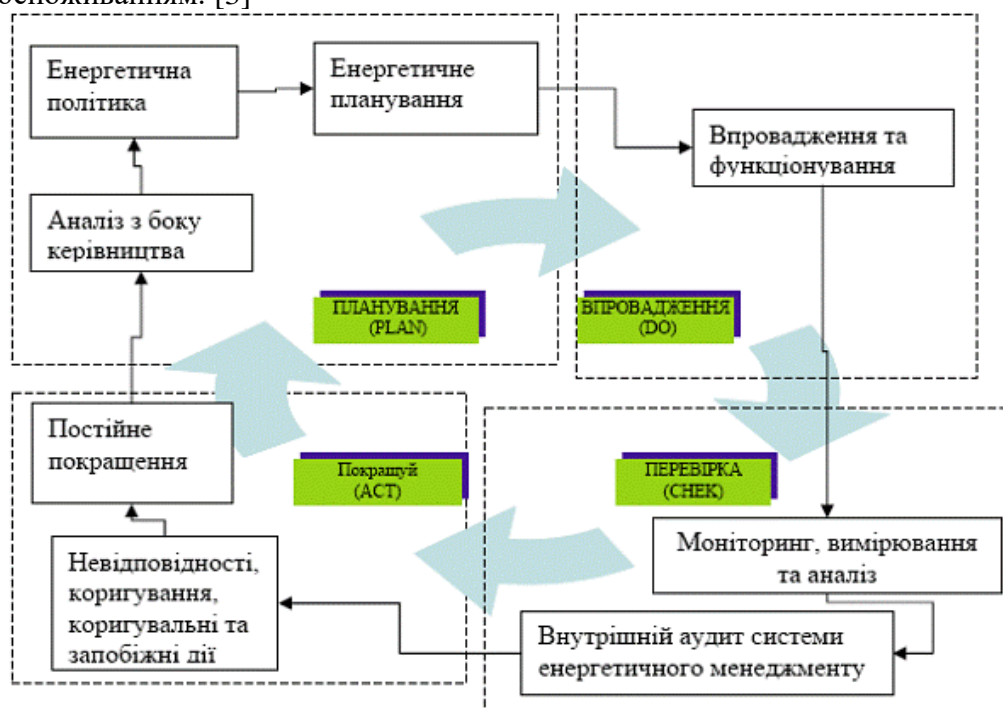


Рис. 2 – Схема системи енергетичного менеджменту відповідно до ISO 50001

У системі енергетичного менеджменту відповідно до ISO 50001:2018 важлива роль відводиться підготовці та компетентності персоналу. Управлінський персонал всіх рівнів необхідно інформувати про відповідність його діяльності енергетичній політиці підприємства, процедурам і вимогам системи енергоменеджменту, він повинен знати свої обов'язки, відповідальність і повноваження, які сприяють виконанню вимог системи енергетичного менеджменту. Крім того, керівники підприємств повинні доводити до працівників яким чином їх діяльність впливає на ефективне використання енергоресурсів.

Висновки. Забезпечення та підвищення ефективності виробничої діяльності промислових підприємств досягається не тільки за рахунок впровадження нових енергозберігаючих технологій, а й за рахунок змін у методах і способах управління. Система енергоменеджменту дає змогу оптимізувати витрати на енергетичні ресурси і постійно поліпшувати свою енергоефективність у цілому. Основна ідея вирішення

управлінської проблеми підвищення рівня енергоефективності полягає у послідовному застосуванні системного підходу до енергоменеджменту.

Головною метою енергоменеджменту є скорочення витрат підприємства на виробництво продукції за рахунок зниження витрат на паливно-енергетичні та інші ресурси. Основними функціями енергоменеджменту є планування, організація, кадрове забезпечення, здійснення контролю, тобто енергетичний менеджмент включає функції управління, організації, розподілу обов'язків та відповідальність, процедури і ресурси, у тому числі фінансові, кадрові, матеріальні та ін.

З метою реалізації енергетичної стратегії України щодо скорочення рівня енергоємності вітчизняної економіки необхідно впроваджувати систему управління енергетичними ресурсами, тобто систему енергетичного менеджменту на основі ISO 50001.

Міжнародний стандарт ISO 50001 є фундаментом для побудови ефективного енергетичного менеджменту на підприємстві і призначений надати підприємствам керівництво з метою оптимізації процесу енергоспоживання та системного управління цим процесом.

Список використаних джерел

1. Энергетический менеджмент [Електронний ресурс] — Режим доступу: http://scenef.com/services/energy_managment/
2. Імплементация цикла демінга-шухарта (pdca) при регламентации процесів системи управління якістю фармацевтичного підприємства / В. О. Лебединець, С. М. Коваленко, Н. О. Тахтаулова // Управління, економіка та забезпечення якості в фармації. - 2012. - № 1. - С. 11-17. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/UEzyaf_2012_1_4
3. Бориченко, О. В. Інтегровані системи енергоменеджменту – інструмент підвищення енергоефективності у виробничо-господарській сфері / О. В. Бориченко, А. Ю. Таран // Енергетика: економіка, технології, екологія : науковий журнал. – 2014. – № 1(35). – С. 35–39. – Бібліогр.: 6 назв.
4. Денисюк С.П. ISO 50001: цілі стандарту та перспективи його впровадження в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.reee.org.ua/download/trainings/%D0%A2%D0%9C_3_ISO_50001.pdf
5. Нова версія ISO 50001:2018 – Система енергетичного менеджменту [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukreee.org.ua/uk/2018/iso-500012018-sistema-energetichnogo-menedzhme/>

УДК 621.314

В.М. Бєліков
Кафедра електропостачання
Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського

КЕРУВАННЯ СИЛОВИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ МАЛИХ ГЕНЕРУВАЛЬНИХ УСТАНОВОК У СКЛАДІ МІКРОМЕРЕЖІ

Досліджено розрахункові значення технічних показників силових перетворювачів малих генерувальних установок у складі мікромережі. За моделлю роботи малих генерувальних установок у складі мікромережі виконано варіантні розрахунки для співставного аналізу та обґрунтовано вигоди від впровадження технології керування силовими перетворювачами у складі мікромережі.

Ключові слова – мікромережа, силовий перетворювач, технології відновлюваної енергетики, мала генерувальна установка

The estimated values of the technical parameters of power converters of microsource in the microgrid are investigated. According to the model of functioning the microsource as a part of the microgrid, variant computations for comparative analysis and reasonable benefits of implementing the control technology of power converters as part of the microgrid are performed.

Keywords - microgrid, power converter, renewable energy technologies, microsource.

Вступ. Географічне розташування України та її рівень технологічного розвитку забезпечують можливість широкого впровадження новітніх розробок в галузі застосування технологій відновлюваної енергетики (ТВЕ), а саме сонячної енергії. Цей вид енергії має найбільше переваг над іншими видами відновлюваної енергії для природних умов Криму та півдня континентальної частини України завдяки значній кількості сонячних днів протягом року (до 320 днів для Криму та до 290 днів для Одеської та Запорізької області).

Зі збільшенням частки розосередженої генерації (РГ) в системі електропостачання потужність, згенерована генераторами малої системи розподілу (МСП), може бути вищою, ніж сумарна потужність, споживана електроприймачами. У цьому випадку надлишок енергії експортується від системи розподілу до системи передавання електроенергії.

Для безпечного та економічного функціонування розподільна мережа вимагає керування, нагляду та організації належного обміну інформацією між різними рівнями системи. Один із способів досягнення цих вимог пов'язаний з концепцією Smart grid. Втілення концепції Smart grid пов'язано з інтенсивним використанням інформаційно-комунікаційних технологій в енергосистемі через можливість зв'язку між різними компонентами МСП, що дозволяє підвищити рівень оптимізації роботи МСП.

Об'єднання активних розподільчих мереж, що складаються з джерел РГ та систем зберігання електроенергії в концепції smart-grid, призводить до утворення мікромережі.

Постановка задачі та мета дослідження. Метою дослідження є визначення особливостей функціонування електропостачальної системи (ЕПС) з фотоелектричними установками у складі мікромережі, та виконання аналізу співставних результатів режимів роботи ЕПС, в котрій забезпечується оптимальний розподіл потужності на

основі раціонального керування силовими перетворювачами малих генерувальних установок.

Розв'язання проблеми та результати дослідження. Мікромережа – електропостачальна система із власними джерелами генерації, зокрема на основі ТВЕ, що може функціонувати як автономна, але зберігає зв'язок із зовнішньою електророзподільною мережею. Режим функціонування із підтриманням приєднання до вузла зовнішньої розподільної електричної мережі є основним. Особливості автоматичного переходу до автономного режиму функціонування із забезпеченням належних показників якості і надійності – складають основу автоматичного функціонування системи електропостачання за схемою мікромережі.

Мікромережа за своєю природою є розподіленою системою керування. Деякі функції керування у багаторівневій системі регулювання забезпечуються програмно мікромережовим централізованим регулятором, що розташовується в точці загального приєднання до мікромережі МСР (*PCC – Point of Common Coupling*). Інші функції, такі як відстеження струму та напруги, розподіл потужності та синхронізація мікромережі, виконуються локальними контролерами силових перетворювачів. Силові перетворювачі частоти (ПЧ) за функціональною ознакою поділяють на дві групи: а) перетворювачі, що живлять мережу та б) перетворювачі, що виконують функцію мережетвірних [1].

Силовий перетворювач називають *мережетвірним* у випадку його функціонування у автономній мікромережі (відокремлення від зовнішньої електророзподільної мережі). Силовий перетворювач, що виконує функцію мережетвірного задає частоту мікромережі та регулює напругу у вузлі загального приєднання *PCC*. Відповідно, такі перетворювачі функціонують в режимі регульованого за частотою та стабілізованого за напругою *джерела напруги*: у статичній системі автоматичного регулювання (САР) значення напруги залежить від заданих значень складових повної потужності [2].

Силовий перетворювач, що *живить мережу*, приєднаний через вузол загального приєднання *PCC* мікромережі до зовнішньої електророзподільної мережі, функціонує в режимі *джерела струму* із високоякісним слідкуючим контуром струму: частота і напруга задається електричними генераторами зовнішньої мережі, відтак струм визначається заданими значеннями (уставками) по активній та реактивній вихідній потужності системи. Передана до вузла мережі повна потужність може залежати від вимірюваних в режимі реального часу значень частоти і напруги вузла (відхилень, що подаються на вхід САР) частоти і напруги в точці приєднання *PCC*.

Концепція мікромережі використовує частотні характеристики, щоб забезпечити стабільну роботу електричної мережі під час роботи в автономному режимі [3].

Система керування перетворювачем частоти, що виконує функцію мережетвірного є *статичною*, і її налаштування зводиться до вибору значень *статизмів* регульованих координат [4].

Принцип налаштування системи керування перетворювачем частоти, що виконує функцію мережетвірного можливо представити у вигляді рівнянь вихідного значення частоти двох ПЧ мінігенераторів у складі автономної мікромережі. Значення вихідної частоти ПЧ можуть бути виражені як [4]:

$$\omega_i = \omega^* - m_i P_i$$

де ω_i - величина вихідної частоти ПЧ i -го ($i = 1, 2$) мінігенератора, рад/с; ω^* - номінальна частота у точці загального приєднання до мікромережі, рад/с; m_i – величина статизму характеристики активна потужність-частота для ПЧ i -го мінігенератора.

Сформовані засобами автоматичного керування частотні характеристики використовуються для балансування потужності між джерелами розосередженої генерації мікромережі (зображено на рисунку 1, [2]). Крутизну частотних характеристик зазвичай визначають, послуговуючись співвідношенням:

$$k_c = \frac{\Delta P}{P_{\text{сист}}} / \frac{\Delta f}{f_{\text{ном}}},$$

де $\Delta P / P_{\text{сист}}$ – відносне значення зміни потужності джерела, яке відповідає відносному відхиленню частоти $\Delta f / f_{\text{ном}}$ на статичній частотній характеристиці «потужність-частота» джерела; $P_{\text{сист}}$ – номінальна потужність всіх джерел генерування, кВт; Δf – рівень відхилення частоти, Гц; $f_{\text{ном}}$ – номінальна частота мережі, Гц.

Крутизна статичної частотної характеристики дає змогу визначити величину і знак первинної регулюючої потужності, що виникає в них у разі певного відхилення частоти [4]. Значне збільшення споживаної потужності може призвести до перевищення значення активної потужності P_{max} . Система з двома джерелами РГ використовується для прикладу того, як додаткова споживана потужність передається від одного джерела РГ до іншого.

За умови, що мікромережа приєднана до розподільної мережі, споживачі мікромережі отримують живлення як від розподільної електромережі, так і від джерел РГ, залежно від розташування споживача. За умови втрати постачання електричної енергії від розподільної мережі внаслідок понаднормового відхилення (зниження) напруги у точці загального приєднання PCC , несправності, тощо, мікромережа може

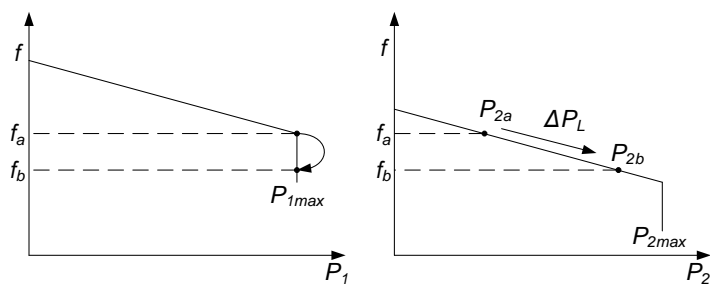
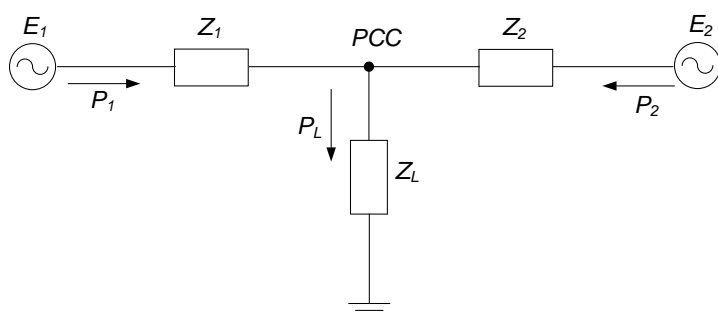


Рисунок 1 – Еквівалентна заступна схема мікромережі з двох мінігенераторів та їх статичні характеристики активна потужність-частота

плавно переходити до роботи в автономному режимі. В момент від'єднання мікромережі від електророзподільної мережі, фазові кути напруги на кожному з джерел РГ змінюються, що призводить до помітного зменшення частоти в мікромережі [5].

Для аналізу процесів керування мікромережею, на рисунку зображено діаграми залежності потужності джерел РГ мікромережі від робочої частоти напруги у точці загального приєднання PCC .

На рисунку 1 позначено: E_1, E_2 – ЕРС мінігенераторів змінного струму, Z_L – еквівалентний опір комплексного споживача, приєднаного до вузла мікромережі, Z_1, Z_2 –

еквівалентні імпеданси ліній електропередавання, P_1, P_2 – вихідна активна потужність мінігенераторів.

Вважатимемо, що регульовані координати змінюються «повільно» у часі (система переходить від одного квазістатичного режиму до іншого), попри те, що процес

збільшення споживаної потужності ΔP , зумовлений зміною режиму функціонування споживачів мікромережі, відбувається протягом малого інтервалу часу [2].

Нехай джерело генерування E_1 характеризується максимальною активною потужністю P_{1max} ; відповідно, джерело генерування E_2 має вихідну активну потужність P_{2a} , усталене початкове значення якої є значно меншим від деякого граничного значення активної потужності P_{2max} .

У початковий момент обидва джерела генерування функціонують на номінальній розрахунковій частоті f_a . Для забезпечення оптимального розподілу сумарної споживаної потужності P_L у разі її збільшення на ΔP_L , перевантажене джерело генерування E_1 зменшує свою частоту швидше, ніж джерело генерування E_2 , що забезпечується системою автоматичного керування. Після завершення перехідного періоду в системі встановлюється нове значення частоти f_b , причому джерело генерування E_1 забезпечує початкове значення активної потужності P_{1max} , а джерело генерування E_2 – значення активної потужності P_{2b} . В такий спосіб можна забезпечити баланс активної потужності в мікромережі з двома джерелами розосередженої генерації з вузлом приєднання в автономному режимі роботи.

Робота мікромережі після зміни режиму роботи, за наявності двох різних за потужністю джерел генерування, характеризується зміною рівня вихідної потужності джерел генерування та відхиленням частоти мікромережі відповідно до статичних характеристик джерел генерування [5]. На рисунку 2 наведена схема мікромережі після

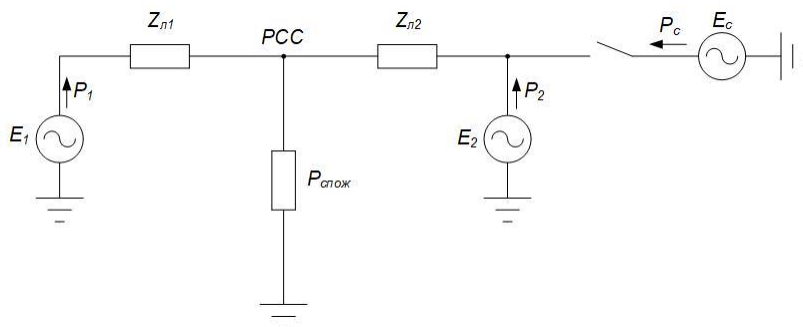


Рисунок 2 – Схема регульованої мікромережі з одним вузлом навантаження після зміни режиму роботи

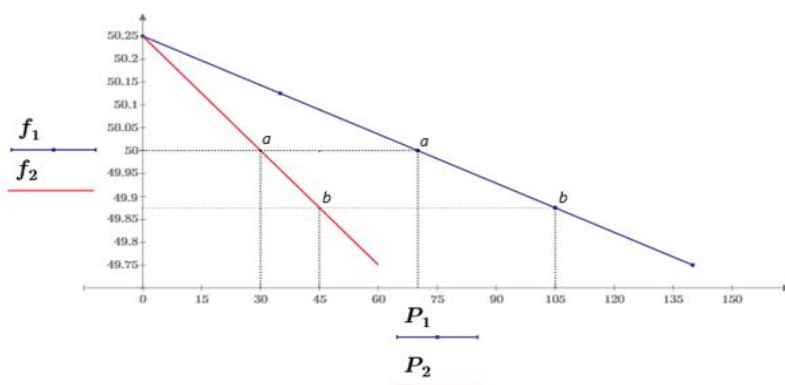


Рисунок 3 – Статичні характеристики активна потужність частота мінігенераторів

автономного режиму роботи було припинено імпортування електричної енергії із зовнішньої електророзподільної мережі. Як наслідок, після зміни режиму роботи на

зміни режиму роботи. На рисунку 2 позначено: E_1, E_2 – ЕРС мінігенераторів змінного струму, E_C – ЕРС електророзподільної системи, Z_{n1}, Z_{n2} – еквівалентні імпеданси ліній передавання електричної енергії, P_1, P_2 – потоки вихідної активної потужності мінігенераторів, P_C – потік активної потужності від електророзподільної системи, $P_{спож}$ – еквівалентний споживач активної потужності.

Після від'єднання мікромережі від електророзподільної системи та переходу до автономного режиму роботи відбувається збільшення навантаження на мінігенератори, оскільки внаслідок переходу до

автономний та припинення імпорту електричної енергії з розподільної мережі відбувається перерозподіл споживаної потужності пропорційно між джерелами генерування. Для забезпечення електропостачання споживачів джерела генерування збільшили значення вихідної активної потужності, внаслідок чого знизилась частота мікромережі, як показано на рисунку 3.

В таблиці 1 наведені параметри мікромережі до та після від'єднання мікромережі від зовнішньої електророзподільної мережі та як наслідок переходу до автономного режиму роботи.

Таблиця 1 – Параметри мікромережі за різних режимів роботи

| Параметр | Позначення | Режим паралельної роботи з МРС | Режим автономної роботи | Одиниці виміру |
|---|------------|--------------------------------|-------------------------|----------------|
| Потужність джерела E_1 | P_1 | 70 | 105 | кВт |
| Потужність джерела E_2 | P_2 | 30 | 45 | кВт |
| Імпортована потужність з розподільної системи E_c | P_c | 50 | 0 | кВт |
| Потужність споживача | $P_{спож}$ | 150 | 150 | кВт |
| Частота мікромережі | f | 50 | 49,875 | Гц |

Висновок. Двонаправлені перетворювачі частоти які є основою силових установок з використанням технологій відновлюваної енергетики, зокрема використовуються у складі малих сонячних, вітрових та комбінованих енергетичних установок.

Увагу зосереджено на основних принципах організації системи керування ЕПС за схемою мікромережі, в котрій забезпечується оптимальний розподіл потужності джерел завдяки вибору законів раціонального керування силовими перетворювачами частоти (ПЧ).

Дослідження ставить за мету розглянути особливості функціонування сучасних силових ПЧ у схемах малих енергетичних установок, проаналізувати структурні схеми та закони автоматичного керування стабілізованими ЕПС із розосередженими джерелами у складі мікромережі в основних робочих режимах.

В результаті моделювання системи керування силовими перетворювачами малих генерувальних установок у складі мікромережі та проведення аналізу співставних розрахунків параметрів мікромережі в умовах зміни режиму роботи підтверджено можливість забезпечення оптимального розподілу споживаної потужності між джерелами генерування в автономному режимі, що дозволяє запобігти понаднормового відхилення частоти.

Перелік використаних джерел

1. Костюк В.О., Беліков В.М. Особливості побудови системи керування силовими перетворювачами фотоелектричних установок у складі мікромережі // Збірник тез доповідей V Міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS'19». – С. 34–35.

2. Comparison of PV inverter controller configurations for CERTS microgrid applications / M. J. Erickson, T. M. Jahns, and R. H. Lasseter / in Proc. IEEE Energy Convers. Congr. Expo., 2011, pp. 659–666.

3. Voltage-Source Control of PV Inverter in a CERTS Microgrid / Wei Du, Qirong Jiang, Micah J. Erickson, Robert H. Lasseter; IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY 2014 / DOI: [10.1109/TPWRD.2014.2302313](https://doi.org/10.1109/TPWRD.2014.2302313).

4. Основні вимоги щодо регулювання частоти та потужності в ОЕС України: СОУ-Н ЕЕ ЯЕК 04.156:2009. - Офіц. вид. — К. : ГРІФРЕ : М-во палива та енергетики України, 2009. — VI, 56 с. — (Нормативний документ Мінпаливенерго України. Настанова)

5 The CERTS MicroGrid Concept / Robert Lasseter, Abbas Akhil, Chris Marnay, John Stephens, Jeff Dagle, Ross Guttromson, A. Sakis Meliopoulos, Robert Yinger, and Joe Eto / U.S. Department of Energy 2002.

References

1. Kostyuk V.O., Bielikov V.M. Control of photovoltaic converters in the composition or the microgrid // Proceedings of the V International Scientific and Technical Training Conference “Energy Management: State and Prospects for Development – PEMS’19” - 2019 - P.34-35.

2. Comparison of PV inverter controller configurations for CERTS microgrid applications / M. J. Erickson, T. M. Jahns, and R. H. Lasseter / in Proc. IEEE Energy Convers. Congr. Expo., 2011, pp. 659–666.

3. Voltage-Source Control of PV Inverter in a CERTS Microgrid / Wei Du, Qirong Jiang, Micah J. Erickson, Robert H. Lasseter; IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY 2014 / DOI: [10.1109/TPWRD.2014.2302313](https://doi.org/10.1109/TPWRD.2014.2302313).

4. Basic requirements for frequency and power regulation in the Ukrainian UES: СОУ-Н ЕЕ ЯЕК 04.156:2009- Official edition — К. : HRIFRE: Ministry of Fuel and Energy of Ukraine, 2009. — VI, 56 p. — (Regulatory document of the Ministry of Fuel and Energy of Ukraine. Attitude)

5. The CERTS MicroGrid Concept / Robert Lasseter, Abbas Akhil, Chris Marnay, John Stephens, Jeff Dagle, Ross Guttromson, A. Sakis Meliopoulos, Robert Yinger, and Joe Eto / U.S. Department of Energy 2002.

УДК 621.311.25:621.039

А.М. Пустовий
кафедра електропостачання
КПІ ім. І. Сікорського

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНОКУ ОПТИМАЛЬНОЇ ЄМНОСТІ НАКОПИЧУВАЧА ДЛЯ КОМПЛЕКСУ “ВІДНОВЛЮВАНЕ ДЖЕРЕЛО-АКУМУЛЯТОР”

В роботі запропоновано алгоритм розрахунку ємності акумуляторної батареї в комплексі “відновлювальне джерело - акумулятор” ітераційного типу.

Цей алгоритм дозволяє виконати розрахунок без використання початкової ємності акумулятора, відсутній фактор циклічного підбору необхідної ємності, оскільки виконується розрахунок обсягів енергії необхідного для забезпечення гарантованого електропостачання навантаження.

Ключові слова: акумулятор, відновлюване джерело, оптимальна ємність акумулятора.

ALGORITHM FOR CALCULATING THE OPTIMAL CAPACITY OF A STORAGE FOR THE COMPLEX "RECOVERED SOURCE-BATTERY"

The article proposes an algorithm for calculating the capacity of a battery in an iterative-type "renewable source - battery" complex.

This algorithm allows the calculation to be performed without the use of the initial battery capacity, there is no factor of cyclic selection of the required capacity, since the calculation of the amount of energy required to ensure a guaranteed load supply.

Keywords: battery, renewable source, optimum battery capacity.

Вступ. З огляду на сучасні тенденції розвитку світової енергетики помітним є збільшення використання генерувальних установок які працюють на основі енергії вітру та сонця, перетворюючи її в електричну енергію. Використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) має ряд позитивних якостей які забезпечують їх активний розвиток. Зокрема можна визначити: відсутність екологічних забруднень в ході експлуатації, повсемісне використання, мала необхідність в технічному обслуговуванні та інші. Поряд з позитивними властивостями є ряд недоліків, основним з яких є недостатня прогнозованість обсягів генерації в залежності від часу. Але інтегрувавши в систему генерувальної установки накопичувач енергії (НЕ), можна суттєво зменшити негативний вплив фактору непрогнозованої генерації. Застосування НЕ допомагає накопичувати надлишки які виробляються ВДЕ та використовувати закумуляовану енергію в моменти дефіциту та/або відсутності генерації від ВДЕ. Питання гарантованого забезпечення постачання електричної енергії споживачу, яке працює в автономній системі ВДЕ-НЕ-споживач, є основним критерієм при виборі встановлених потужностей генератора на основі ВДЕ та ємності НЕ.

Також застосування НЕ дозволяє знизити коливання напруги в системі ВДЕ-споживач [1].

В результаті аналізу параметрів сучасних НЕ, акумуляторні батареї (АБ) різних типів, з урахування питомого показника енергоємності 30-400 Вт*год/кг та кількості життєвих циклів 500-1200, можна вважати найбільш придатними для тривалого використання в системі ВДЕ-НЕ-споживач [2]. Одним з шляхів розв'язання задачі

забезпечення гарантованого електропостачання є вибір такого НЕ, який забезпечить накопичення всього надлишку енергії, згенерованої ВДЕ та спожитої навантаженням [3]. Важливою властивістю системи ВДЕ-НЕ-споживач є постійна наявність надлишку генерації, яку можна використати в період дефіциту та/або відсутності генерації від ВДЕ. Визначення параметрів НЕ для покриття потреб автономного споживача є достатньо гострим та в той же час недостатньо опрацьованим питанням.

Мета та завдання. Необхідно визначити умови при яких НЕ буде забезпечувати можливість максимального використання електричної енергії виробленої ВДЕ в періоди дефіциту поточної генерації та відсутності генерації ВДЕ в момент споживання навантаженням. Для цього необхідно визначити основні параметри та режими притаманні НЕ на основі АБ.

В якості ВДЕ обрано фотоелектричну генерувальну установку та АБ які забезпечують потреби споживача в ізольованій мережі.

Процес керування процесом заряду/розряду зазвичай визначається за фактом наявності/відсутності різниці між згенерованою та спожитою електроенергією [4]. При цьому можуть утворюватись ситуації в яких: НЕ не може накопичити всі надлишки енергії згенерованої ВДЕ, накопиченої енергії НЕ не вистачить на забезпечення попиту споживача в моменти дефіциту/відсутності генерації ВДЕ.

Необхідно враховувати що існують обмеження які не дозволяють використати всі 100% закумульованої енергії в АБ, що обумовлено типом накопичувача [5].

Матеріал і результати досліджень. Заряд кожної АБ можна розділити на дві умовні частини. Перша частина це номінальний рівень максимально допустимого розряду (глибина розряду) - *MDOD* (*maximum depth of discharge*) для певного типу АБ, який є відносною величиною та для більшості типів сучасних АБ $MDOD = 0,7 \div 0,8$. Всі виробники АБ в технічних паспортах свого обладнання вказують *MDOD*, як ступінь розряду при якій АБ пропрацює найменшу кількість циклів заряд/розряд. Тобто при розряді глибшому за *MDOD* швидкість зносу АБ збільшується. Логічно буде стверджувати, що існує певна відносна величина мінімального ступеню заряду АБ, який повинен постійно зберігатись в АБ *MSOC* (*minimum state of charge*). Отже для кожного окремого типу АБ можна записати вираз:

$$MSOC + MDOD = 1 \quad (1)$$

Числове вираження енергії, яка міститься в АБ, можна визначити арифметичним множенням значення ємності АБ на значення напруги між її клемми. Зазвичай для АБ використовують визначення номінальної ємності, та подають її в А*год. Тому в процесі експлуатації зручніше оперувати не ємністю АБ, а її зарядом. В залежності від режимів експлуатації, які постійно змінюються (заряд-розряд), значення заряду, тобто кількість закумульованої енергії, змінюється. Оскільки в кожен момент часу, ми будемо мати різні значення електричного заряду (А*год), його можна чисельно виразити через безрозмірну величину *SOC* (*state of charge*) - відношення поточного заряду АБ до її номінальної ємності [2]. Поряд із *SOC* існує величина *DOD* (*depth of discharge*) - відношення ступеню розряду АБ до її номінальної ємності. Тобто в кожен момент часу АБ можна описати виразом:

$$SOC(t) + DOD(t) = 1 \quad (2)$$

З (2) випливає, що повністю зарядженій АБ відповідає значення $SOC(t)=1$ та $DOD(t)=0$. А повністю розрядженій АБ - $SOC(t)=0$ та $DOD(t)=1$.

З вищесказаного видно, що існує діапазон ступенів заряду АБ в якій вона буде працювати без збоїв, назвемо її *NRM (normal run mode)*. *NRM* є діапазоном від повного заряду АБ до *MSOC*, що можна описати наступним чином:

$$NRM \in [MSOC;1] \quad (3)$$

Тобто в числовому виразі *NRM* можна визначити як:

$$NRM = 1 - MSOC = MDOD \quad (4)$$

Зміну *SOC* на послідовних інтервалах часу з тривалістю ΔT можна виразити залежністю:

$$SOC(t) = SOC(t-1) + \frac{E_{RES}(t) - \left(E_{load}^{DC}(t) + \frac{E_{load}^{AC}(t)}{\eta_{inv}} \right)}{V_{bat} \cdot C_{bat}} \quad (5)$$

де $E_{RES}(t)$ - обсяг енергії, виробленої ВДЕ;

$E_{load}^{DC(AC)}(t)$ - обсяг енергії, спожитий навантаженням (верхні індекси *DC* та *AC* застосовуються до постійного та змінного струму відповідно)

η_{inv} - ККД інвертора

V_{bat} - напруга на клеммах масиву АБ;

C_{bat} - ємність масиву АБ.

Необхідно зазначити, що підібрана ємність масиву АБ, на всьому циклі роботи, при безперебійному постачанні електричної енергії навантаженню, повинна перебувати в зарядженому стані. Це твердження можна представити виразом:

$$\forall SOC(t) = MSOC \quad (6)$$

При цьому стан АБ можна описати залежністю критерій інваріантності *SOC*:

$$SOC(t_0) = SOC(t_T) \quad (7)$$

В залежності (7) t_0 - початок періоду роботи ВДЕ з АБ, тобто початок розрахункового циклу. З урахуванням (7) залежність (5) має вигляд:

$$SOC(t_T) = SOC(t_0) + \frac{E_{RES}(t) - \left(E_{load}^{DC}(t) + \frac{E_{load}^{AC}(t)}{\eta_{inv}} \right)}{V_{bat} \cdot C_{bat}} \quad (8)$$

При цьому умова (7), з урахуванням (8), дає залежність:

$$\sum_{t=t_i}^{t_r} \left[E_{RES}(t) - \left(E_{load}^{DC}(t) + \frac{E_{load}^{AC}(t)}{\eta_{inv}} \right) \right] = 0 \quad (9)$$

Залежність (9) дозволяє визначити необхідне значення $E_{RES}(t)$ для ВДЕ та обрати відповідні технічні засоби його реалізації відповідно до потреб живлення навантаження споживачів електричною енергією.

Тобто з використанням залежності (9) можна визначити в даному випадку кількість фотоелектричних панелей певного типу, які забезпечать виробництво електричної енергії, обсяг якої обумовлює її споживання.

Оскільки $E_{RES}(t)$ змінюється випадковим чином, енергія, яку накопичує/віддає АБ може бути визначена, коли рівність 0 в залежності (7) не виконується, тобто утворюється надлишок/дефіцит електричної енергії виробленої ВДЕ. Енергія $E_{RES}(t)$, яку накопичує/віддає АБ, може бути визначена відповідно до (9) залежністю:

$$E_{bat}(t) = E_{RES}(t) - E_{load}^{DC}(t) + \frac{E_{load}^{AC}(t)}{\eta_{inv}} \quad (10)$$

Залежність (10) дає можливість визначити ємність АБ, якщо вона є постійною величиною, шляхом ділення правої та лівої частин цієї залежності на $V_{bat} \cdot C_{bat}$. Однак, за результатами досліджень (ресурс), відомо, що в залежності від зарядного струму (I^+) АБ буде мати різну ємність; в залежності від стану зарядженості $SOC(t)$, на клеммах масиву АБ напруга буде змінюватись. Змінюється ємність АБ також під дією температури навколишнього середовища та терміну експлуатації - деградації активних речовин АБ.

Для подальшого використання залежності (10) необхідно знехтувати факторами впливу на результат непостійності значення ємності АБ. Для цього замість ємності АБ будемо розглядати кількість енергії, яку містить АБ. Оцінку кількості цієї енергії будемо здійснювати шляхом визначення заряду АБ - $Q(t)$.

Обсяг енергії, яку містить масив АБ в кожен момент часу, можна розглядати як залежний від величини $SOC(t)$. При цьому в чисельному виразі:

$$Q(t) = C_{bat} \cdot SOC(t) \quad (11)$$

В (8) під C_{bat} мається на увазі поточне значення ємності АБ, яке неможливо визначити в процесі роботи.

В кожен момент часу заряд АБ буде визначати сума двох складових - заряду АБ на початку роботи $Q(t_0)$ та всієї енергії, яку накопичено в АБ на поточний момент часу. При цьому з урахуванням формул (8) та (10) можна отримати наступну залежність:

$$Q(t) = Q(t_0) + \sum_{t=t_i}^{t_r} \frac{E_{bat}}{V_{bat}} \quad (12)$$

Значення $Q(t)$ в залежності (12) має бути більше $Q(t_0)$, що відповідає виключно зарядженому стану АБ. Досягти виконання цієї умови можливо відповідним чином вибираючи значення $Q(t_0)$.

Можна здійснити пояснення, ілюструванням цієї умови, за допомогою різниці енергії, згенерованої ВДЕ та спожитої навантаженням. На рисунку 1 зображено графік генерації фотоелектричної генераційної установки, впродовж дня з мінливою хмарністю.

Проте для виконання залежності (9), необхідно представити генерацію в кількості виробленої електричної енергії, впродовж розрахункового циклу. Тобто зобразити генерацію ВДЕ так, як її сприйме лічильник (див. рисунок 2).

На рисунках 3 та 4 зображено відповідні графіки для навантаження.

Проаналізувавши графіки видно, що піки генерації та споживання електричної енергії не співпадають, що передбачає (10).

Використавши (10) для рисунків 2 та 4, де рисунок 2 буде відповідати значенням додатним, а рисунок 4 – від’ємним, отримаємо значення надлишків/дефіцитів електричної енергії на АБ (див. рисунок 5). Графік зображений на рисунку 5 буде відповідати значенням відповідно до (10).

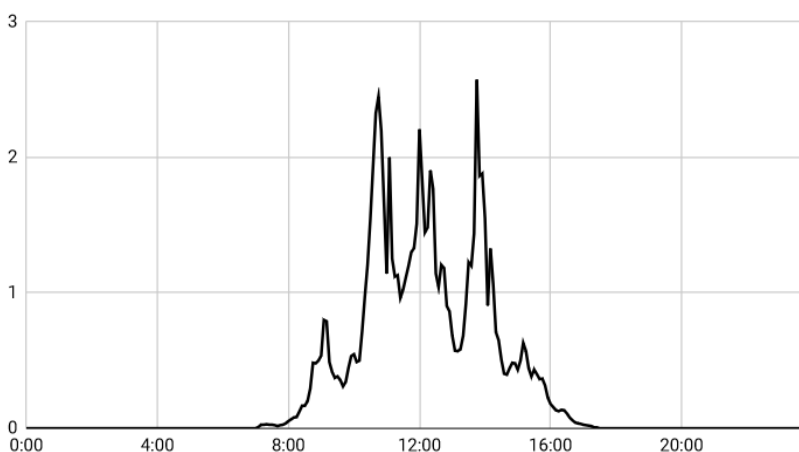


Рисунок 1. Графік генерації ВДЕ впродовж розрахункового циклу. Відображає потужність генератора (кВт) в моменти часу (год)

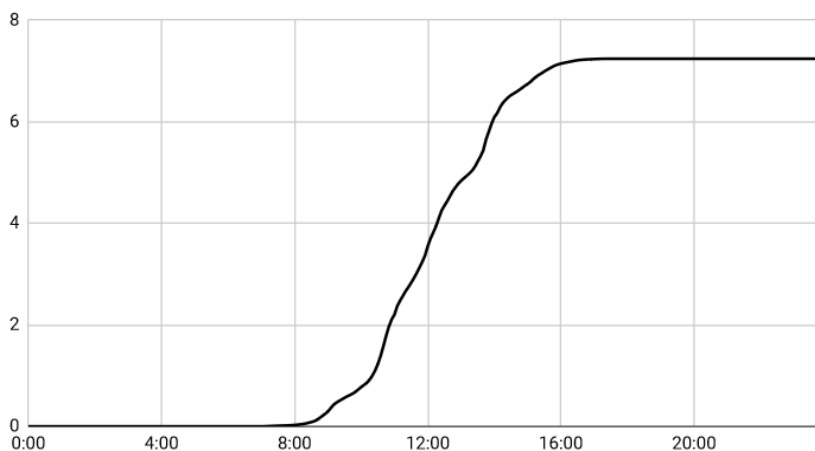


Рисунок 2. Графік обсягу згенерованої енергії (кВт*год) на момент часу (год)

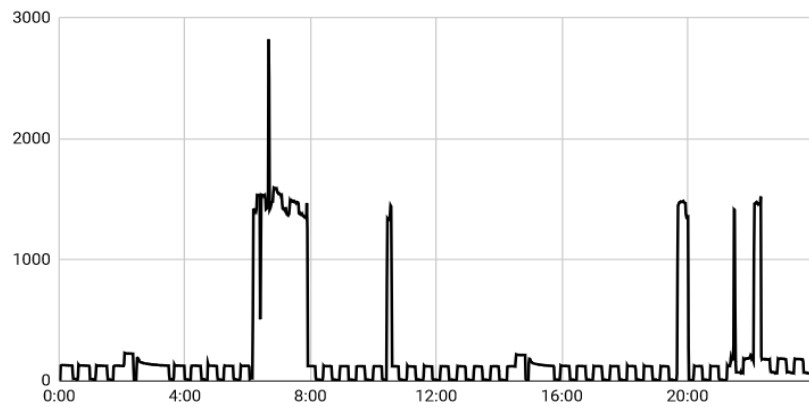


Рисунок 3. Графік споживання електроенергії, впродовж розрахункового циклу. Відображає потужність навантаження (Вт) к момент часу (год)

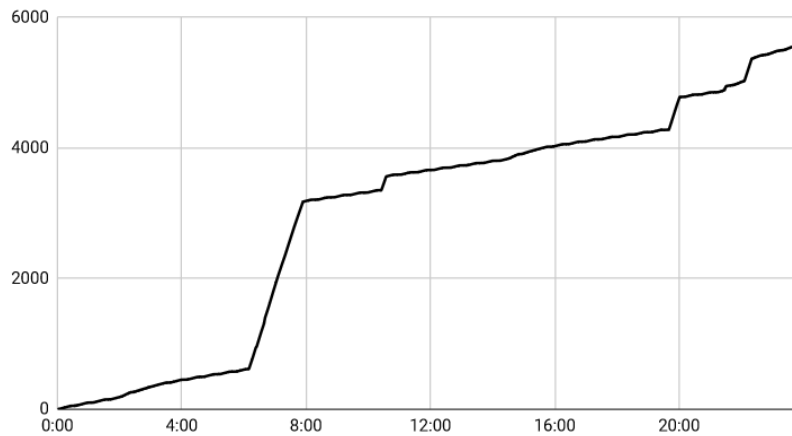


Рисунок 4. Графік обсягу спожитої електричної енергії навантаженням (Вт*год) на момент часу (год)

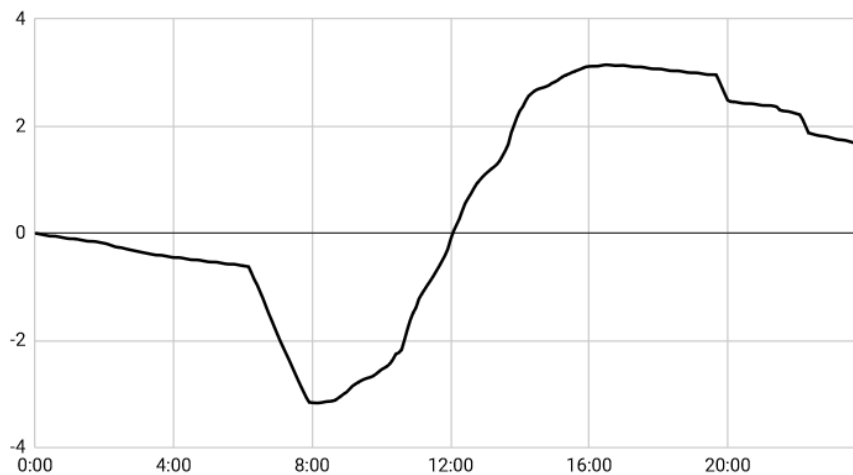


Рисунок 5. Графік надлишку/дефіциту електричної енергії (кВт) в АБ, в кожен момент часу (год)

Протягом всього періоду роботи ВДЕ, залежно від обсягу виробленої ним енергії, значення заряду АБ згідно з формулою (12) може змінюватись від Q_{\min} до Q_{\max} . Ці значення можна визначити з всього обчисленого ряду значень наступним чином:

$$Q_{\min} = \min(Q(t)), \quad Q_{\max} = \max(Q(t)), \quad t = [t_1, t_2, \dots, t_T] \quad (13)$$

Оскільки значення Q_{\min} має бути позитивним (за умовою постійно зарядженого масиву АБ), мінімальний заряд та значення робочого діапазону, обраного в результаті C_{bat} , повинно відповідати наступним умовам:

$$Q_{\min} \geq DOD \cdot C_{bat} \quad (14)$$

$$Q_{\max} - Q_{\min} \geq NRM \cdot C_{bat} \quad (15)$$

З урахуванням (14) та (15) отримуємо двокритеріальне рівняння:

$$C_{bat} \geq \max \left[\frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{NRM}, \frac{Q_{\min}}{MSOC} \right] \quad (16)$$

Розрахунок відповідно до залежності (16) можливо виконати за наявності графіка електричного навантаження споживачів та прогнозних/статистичних даних щодо генерації електричної енергії ВДЕ. Розрахунок необхідно виконати для характерних періодів використання комплексу ВДЕ-АБ - залежно від пори року, робочого та вихідного днів тощо. Особливу увагу слід приділити забезпеченню умови обмеження значення струму заряду/розряду АБ. Значення ємності АБ за результатами проведених розрахунків має задовольняти всім обраним періодам використання комплексу ВДЕ-АБ.

Висновки:

1. АБ яка забезпечує максимальне використання електричної енергії, виробленої від ВДЕ, підвищує ефективність систем, які працюють без зовнішньої мережі. Це знижує ризик виникнення ситуацій, коли навантаження залишиться без живлення.
2. Застосування запропонованого розрахунку для визначення АБ може масштабуватись від одного комплексу ВДЕ-АБ-споживач до масивів таких комплексів пов'язаних між собою, з різним типом генерації.
3. Дана модель не враховує обмеження АБ по струмах заряду/розряду, тому після завершення циклу розрахунку необхідно здійснити перевірки на суміжних інтервалах часу.
4. Запропонований порядок розрахунку дозволяє знехтувати значенням ємності АБ та значеннями напруги на його клеммах.

Список використаних джерел:

1. А.М. Захаров, Зменшення відхилень напруги в місцях приєднання потужних сонячних електростанцій до електричних мереж // ISSN 1607-7970. Техн. електродинаміка. 2014. № 5, стор. 44-46.
2. RECHARGEABLE LITHIUM-ION BATTERIES [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://enviasystems.com/technology/>
3. Jing Li J., Wei W., Xiang J.A Simple Sizing Algorithm for Stand-Alone PV/Wind/Battery Hybrid Microgrids // Energies, 2012. – V.5, p. 5307-5323. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.mdpi.com/journal/energies.

4. Bernal-Agustin J.L. Dufo-Lopez R. Simulation and optimization of stand-alone hybrid renewable energy systems 2009 //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2009. –V.13, p. 2111–2118.
5. Підгурський І.П. Веремійчук Ю.А., Аналіз технологій накопичення електричної енергії VI Міжнародна науково-технічна та навчально-методична конференція Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку (PEMS'19), м. Київ; Дата проведення: 04-07 червня 2019; С. 72. Режим доступу: <http://pems.kpi.ua/proc/article/view/173323>

ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ

Відновлювальні технології (ВТ) постійно збільшуються та розвиваються в системах електропостачання (СЕП). У цій роботі запропоновано новий спосіб комплексної інтегральної оцінки, за допомогою якої управління ВТ для досягнення максимальної вигоди при встановленій ціні технології. Також здійснено дослідження впливу розосередженої генерації (РГ) на якість електроенергії (ЯЕ), вказуючи на її позитивні та негативні наслідки.

Запропоновано алгоритм розрахунку інтегральної оцінки ЯЕ, де виконується: аналіз показників якості електричної енергії; розрахунок коефіцієнт нормалізації; запропоновано шкалу оцінки ймовірності забезпечення якості електроенергії для споживачів з джерелами розосередженої генерації, вона вказує з якою ймовірністю буде забезпечуватись якість електричної енергії. Для підтвердження цього алгоритму інтегральну оцінку проводимо за допомогою теорії множення ймовірностей.

Цей новий спосіб розрахунку продемонстровано за допомогою широкого моделювання MATLAB / Simulink, де було створено математичну модель, в основі чого були сонячні панелі, споживач, електромережа та система накопичення.

Ключові слова: *якість електроенергії, система електропостачання, відновлювальні технології, джерела РГ, інтегральна оцінка, показники якості електричної енергії.*

Renewable technologies (RT) are steadily increasing and developing power systems (PS). This paper proposes a new method of complex integrated evaluation, by which the control of VT for maximum benefit with the installed technology. The effect of dispersed generation (DG) on the quality of electricity (QE) was also investigated, pointing to its positive and negative consequences. The algorithm of calculation of the integral evaluation of quality of electric power is offered.

A scale for assessing the likelihood of ensuring electricity quality for consumers with distributed generation sources is proposed and specifying the likelihood that electricity quality will be ensured.

This new method of calculation is demonstrated by the extensive MATLAB / Simulink simulation, which created a mathematical model that was based on solar panels, the consumer, the power grid and the accumulation system.

Keywords: *quality of electricity, power supply system, renewable technologies, sources of dispersed generation, integral evaluation, electricity quality index.*

Вступ. В сучасній системі електропостачання постає питання в необхідності зменшення залежності від не відновлювальних джерел енергії. Тому на перше місце виводять розвиток та наявність потенціалу впровадження джерел розосередженої генерації, на основі відновлювальних джерел енергії, для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та для енергонезалежності. Але при використанні таких технологій потрібно якісне постачання електричної енергії, тому щоб перевірити цю необхідність, треба провести аналіз особливості побудови та функціонування системи.

За допомогою способу розрахунку комплексної інтегральної оцінки перевірити ймовірність забезпечення нормалізування значення електроенергії до споживачів.

Мета публікації. Провести аналіз показників якості електричної енергії в системі електропостачання з відновлювальними технологіями. Підвищення якості електроенергії за допомогою інтегральної оцінки в системах електропостачання на основі відновлювальних технологій.

Основні матеріали дослідження. В системі електропостачання (СЕР) використання відновлюваних технологій (ВТ) потенційно може покращити якість електропостачання. Зокрема ВТ як додаткові джерела енергії можуть сприяти підвищенню надійного електропостачання та якісної електричної енергії. Проте, це не завжди так і функціонування різнотипних джерел розосередженої генерації мають деякий вплив на якість електричної енергії. Тому виходячи з цього можна в таблиці 1 вказано проблеми порушення нормованих значень показників якості електричної енергії (ПЯЕ) пов'язані з джерелами розосередженої генерації на основі відновлювальних технологій [1].

Розбудова відновлювальних технологій, має вплив як на якість електропостачання так і на якість електричної енергії. Основною причиною цього є нестабільність генерування тому, як наслідок, є невідповідність параметрів режиму нормативним значенням. Тому для вирішення пропоную інтегральну оцінку якості електричної енергії в системах електропостачання з відновлювальними технологіями.

За допомогою комплексного оцінювання якості електричної енергії на основі відновлювальних технологій можна визначити інтегральну оцінку, але для цього необхідно виконати алгоритм розрахунку оцінювання якості електричної енергії, який наведено на рисунку 1.

Таблиця 1 – Порушення якості електроенергії

| Проблеми порушення значень показників якості електричної енергії | | | |
|--|-----|-----|------|
| Порушення ЯЕ | СЕС | ВЕС | МГЕС |
| Провисання / стрибки напруги | | + | + |
| Падіння / перенапруга | | + | |
| Дисбаланс напруг | + | | |
| Коливання напруги | | + | |
| Гармоніки напруги | + | + | + |
| Флікер | + | + | |
| Гармоніки струму | + | + | + |
| Переривчатий характер генерації | + | + | |

Для визначення ПЯЕ які будуть аналізуватись необхідно скористатись Скориставшись [2] можна визначити які саме показники якості електричної енергії будуть використовуватись для подальших розрахунків.

Наступним важливим етапом для розрахунку інтегральної оцінки, тому на основі цього пропоную коефіцієнт нормалізованих значень, який буде показувати відхилення від нормально допустимих і гранично допустимих значень. Для того щоб визначити коефіцієнт нормалізованих показників якості електричної енергії, це відношення

фактичних показників від граничних та відношення до нормативних показників згідно до стандартів.



Рисунок 1 - Алгоритм розрахунку оцінювання якості електричної енергії

Коефіцієнти нормалізованих значень:

- коефіцієнт усталеного відхилення напруги δU_y
- коефіцієнт розмаху зміни напруги δU_t ;
- коефіцієнт дози Флікера P_t ;
- коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги k_U ;
- коефіцієнт n-ої гармонійної складової напруги $k_{U(n)}$;
- коефіцієнт несиметрії напруг $K_{U_{нес}}$;
- коефіцієнт відхилення частоти Δf ;
- коефіцієнт тривалості провалу напруги t_{Π} ;
- коефіцієнт імпульсу напруги $K_{\Delta t_{имп}}$;
- коефіцієнт тимчасової перенапруги $k_{пер(U)}$.

Наприклад розрахунок коефіцієнта усталеного відхилення напруги розраховується таким чином:

$$K_{\delta U_y} = \frac{|U_{факт} - U_{гран}|}{U_{ном}} \quad (1)$$

де $U_{факт}$ – фактичне значення напруги в системі; $U_{гран}$ – гранично допустиме значення напруги; $U_{ном}$ – номінальне значення напруги.

Розрахунок всіх інших ПЯЕ виконуємо аналогічно за формулою (1).

Таблиця 2 – Шкала ймовірності

| Оцінка | | Зона | Область |
|-----------|--|------|----------|
| Відмінно | | 1 | 0,75-1 |
| Добре | | 2 | 0,5-0,75 |
| Нормально | | 3 | 0,25-0,5 |
| Погано | | 4 | 0-0,25 |

Порахувавши коефіцієнти нормалізованих показників якості електричної енергії наступним етапом буде приведення коефіцієнтів до загальної шкали оцінювання. За допомогою якої, можна визначити ймовірність забезпечення електроенергії, де всі коефіцієнти будуть розподілені рівномірно.

За допомогою програмного забезпечення Matlab Simulink, розроблено модель системи електропостачання з відновлювальними технологіями, живленням електромережі та з системою накопичення електроенергії (акумулятор).

В прикладі математичного макету, рисунок 2, показана домашня система управління енергоспоживанням (навантаженням СЕП є приватний будинок), перемикається між мережею та розосередженою генерацією електроенергії (джерелом є сонячній панелі).

Сонячні панелі підключені безпосередньо до навантаження (домашньої системи управління). Система розрахована на 5 кВт. Елемент управління відстеженням максимальної потужності отримує максимальну потужність від сонячної панелі за допомогою однонаправленого перетворювача постійного струму в постійний.

Електромережа підключена до будинку від розподільного трансформатора. Тому, трансформатор, може поглинати надлишкову електроенергію від ДСУ або необхідну енергію для живлення. З'єднання між мережею та ДСУ контролюється двонаправленим інвертором постійного / змінного струму. ДСУ в пік навантаження досягає 6 кВт електроенергії.

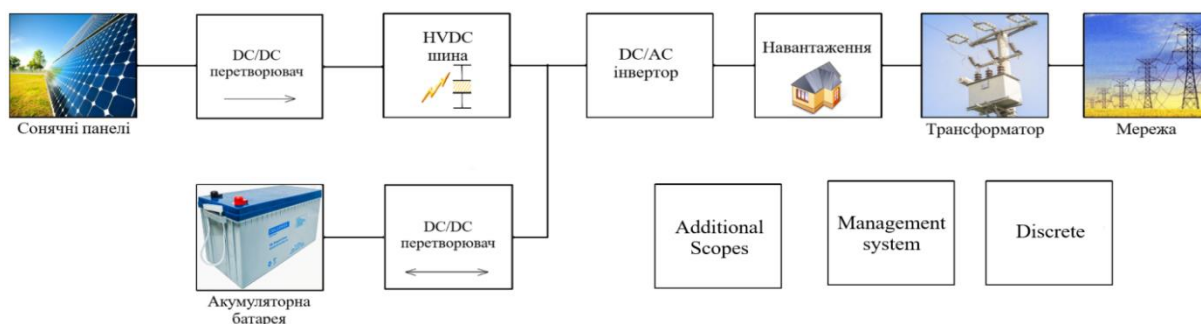


Рисунок 2 – Математична модель системи електропостачання

За допомогою моделі можна визначити необхідні значення показників електроенергії, та зробити розрахунок інтегральної оцінки, де буде зроблено аналіз чи задовільняє забезпечення ПЯЕ. Якщо у випадку хоча б одна з ймовірностей буде дорівнювати нулю, тоді можна сказати, що забезпечення ПЯЕ відсутнє.

Тому після проведення моделювання математичної моделі СЕП, на рисунку 3 представлено результат напруги, яка надходить до споживача (будинку).

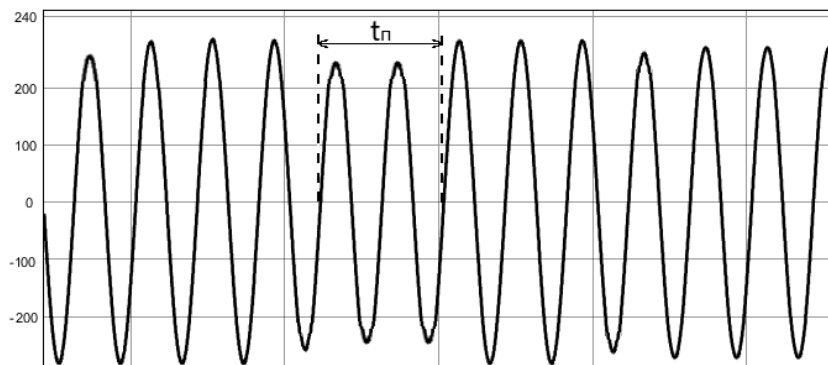


Рисунок 3 – Результат моделювання

Для знаходження ймовірності необхідно:

- виконати оцінювання коефіцієнта усталеного відхилення напруги у вузлах споживання:

$$K_{\delta U_y} = \frac{|U_{\text{факт}} - U_{\text{гран}}|}{U_{\text{ном}}} = \frac{|219 - 242|}{220} = 0,105$$

- наступним кроком знаходження ймовірність забезпечення допустимого відхилення напруги

$$K_{\delta U_y} = \begin{cases} 0 - 0,05 \rightarrow P_{\delta U_y} = 0 - 0,25 \\ 0,051 - 0,064 \rightarrow P_{\delta U_y} = 0,26 - 0,5 \\ 0,065 - 0,086 \rightarrow P_{\delta U_y} = 0,51 - 0,75 \\ 0,087 - 0,109 \rightarrow P_{\delta U_y} = 0,76 - 1 \end{cases}$$

Так як коефіцієнт $K_{\delta U_y} = 0,105\%$ тоді значення ймовірності дорівнює $P_{\delta U_y} = 0,975$ в.о.

Аналогічним способом пораховано всі інші ПЯЕ, результати наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Значення виконаних розрахунків

| Показник якості електроенергії | Коефіцієнт нормалізованих значень | Ймовірність забезпечення |
|---|-----------------------------------|--------------------------|
| відхилення напруги | 0,105 | 0,975 |
| розмах зміни напруги | 0,105 | 0,975 |
| доза Флікера: | | |
| – короткочасна | 0,32 | 0,98 |
| – тривала | 0,36 | 0,97 |
| спотворення синусоїдальності кривої напруги | 0,53 | 0,99 |
| n-на гармоніка складової напруги | 0,55 | 0,98 |
| коефіцієнт несиметрії напруг | 0,75 | 0,99 |
| відхилення частоти | 0,6 | 1 |
| тривалість провалу напруги | 0,1 | 0,98 |
| імпульс напруги | | 0,95 |
| Тимчасова перенапруга | 1,34 | 0,94 |

Коли всі коефіцієнти нормалізованих значень ПЯЕ було приведено до значення ймовірностей забезпечення, а їх в одно час було приведено до єдиної шкали ймовірності, тоді можна провести розрахунок інтегральної оцінки якості електроенергії [3], де і перевіряється якість електроенергії в системі електропостачання. Для розрахунку необхідно скористатися теоремою множення ймовірностей - це ймовірність спільної появи подій, яка дорівнює добутку однієї ймовірності на умовну ймовірність іншого.

$$\Phi = P_{\delta U_y} \cdot P_{\delta U_t} \cdot P_{kt} \cdot P_{tt} \cdot P_{kU} \cdot P_{kU(n)} \cdot P_{U_{\text{нес}}} \cdot P_{\Delta f} \cdot P_{t_{\text{п}}} \cdot P_{U_{\text{імп}}} \cdot P_{k_{\text{пер}(U)}} = \\ = 0,975 \cdot 0,975 \cdot 0,98 \cdot 0,97 \cdot 0,99 \cdot 0,98 \cdot 0,99 \cdot 1 \cdot 0,98 \cdot 0,95 \cdot 0,94 = 0,76$$

Висновок. Інтегральна оцінка якості електричної енергії в системах електропостачання з відновлювальними технологіями показує необхідне забезпечення ПЯЕ для споживачів.

Тому після розрахунків та приведення інтегральної оцінки до шкали оцінки, можна зробити висновок, що ймовірність забезпечення електроенергії відповідає оцінці відмінно і тому використання відновлювальної технології не вплинуло на ПЯЕ. Але, якщо у випадку хоча б одна за ймовірностей буде дорівнювати близько нулю, тоді забезпечення ПЯЕ буде мати інакший результат і необхідно буде вирішувати проблему.

Список використаних джерел.

1. Дерев'яно Д.Г.: «Оцінювання ефективності регулювання енергетичних процесів в локальних електротехнічних системах з джерелами розосередженої генерації». Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук - Київ – 2016. С.25.
2. ДСТУ EN 50160:2014 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності» (EN 50160:2010, IDT). – Київ: МІНЕКОНОМРОЗВИТКУ УКРАЇНИ 2014.
3. Дерев'яно Д. Г., Масло О. С., Загорський О. М. Інтегральний показник якості електричної енергії в системах електропостачання з відновлювальними технологіями. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 204 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". Харків : ХНТУСГ, 2019. с. 37-38.

Зайченко А.В.
Кафедра електропостачання

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРОТИАВАРІЙНОЇ АВТОМАТИКИ В РЕГІОНІ ЗІ ЗНАЧНОЮ ЧАСТКОЮ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.

Анотація

У статті представлено дослідження, проблематики електропостачання Одеського енерговузла, представлені передбачувані шляхи рішення проблеми електропостачання.

Розглянуто коротко, які складові південно-західного субрегіону Одеської області, наглядне споживання електричної енергії місцевості, опис в чому саме полягає ненадійність даного енерговузла.

Ключові слова: електропостачання, електрична мережа, СФЕС магістральна мережа, ОЕС, енерговузол.

Abstract

The article presents the research, problems of power supply of the Odessa power unit, presents possible ways of solving the problem of power supply.

In brief, what are the components of the southwestern sub-region of Odessa region, the apparent consumption of electricity in the area, a description of what exactly is the unreliability of this power unit.

Keywords: electricity supply, electric network, TFEU backbone network, UES, power node.

Вступ

Розглянемо в чому саме полягає проблема електропостачання в південно-західному субрегіоні Одеської області. Цей субрегіон складається з 9 адміністративних районів – Арцизького, Білгород-Дністровського, Болградського, Ізмаїльського, Кілійського, Кенійського, Саратського, Тарутинського і Татарбунарського. Загальна площа цієї зони – 12,59 тис. кв. км, що становить 39% території Одеської області. Споживання електроенергії у цьому субрегіоні складає приблизно 8-10% загального обсягу споживання у Південній енергетичній системі. У субрегіоні є лише одна опорна підстанція 330/110 кВ «Арциз» - яка підключена однією тупиковою лінією 330 кВ від Молдовської ДРЕС. На цій ПС встановлено два автотрансформатори. Схема електропостачання тупиковою лінією з установленням на ПС двох автотрансформаторів є дуже ненадійною.

Мета та завдання

Підвищення надійності функціонування енерговузла південно-західного субрегіону Одеської області, зі значною часткою альтернативних джерел енергії.

Матеріали і результати досліджень

Головними чинниками цієї ненадійності є наступні:

- Знижена потужність Молдовської ДРЕС через значне зношення енергетичного обладнання та дефіцит палива. Загальна встановлена потужність цієї електростанції становить 2520 МВт (12 блоків), але експлуатуються лише два блоки потужністю 200 МВт кожний.

• Відсутність прив'язки ПС 330 кВ «Арциз» до магістральних мереж ОЕС України.
Під час

відключень у період осінньо-зимнього максимального навантаження лінії 330 кВ Молдовська ДРЕС – Арциз рівень напруги в мережі 110 кВ знижувався до 102-104 кВ.

• Слабка прив'язка субрегіону до мережі 110 кВ ВАТ «Одесаобленерго» у режимі обслуговування та аварійному режимі. Ця слабка прив'язка призводить до зниження рівня

напруги у мережі 110 кВ до 81-83 кВ. Зниження частоти призводило до пошкодження обладнання. Така погана якість електропостачання перешкоджає включенню чутливих

електричних приладів, зокрема медичної апаратури, телевізорів, радіоприймачів, холодильного устаткування, побутових приладів тощо. Крім того, певні ділянки ПЛ напругою 110 кВ і вище, які зараз експлуатуються, розташовані на території Республіки Молдова. Цей факт ускладнює експлуатацію та знижує надійність системи в цілому.

Загальна характеристика ПАТ «Одесаобленерго» засвідчує, що сумарна потужність «гарантованих» джерел енергії (теплових електричних станцій) становить близько 100 МВт (2,4% от потужності електростанцій, розташованих в межах Південної ЕС). Обсяги виробництва електрики на цих станціях становлять 0,71% від обсягів виробництва усіх електростанцій Південної ЕС.

Дефіцит встановленої потужності в ПАТ «Одесаобленерго» перевищує 1000 МВт. Однак, останнім часом здійснено або планується введення в експлуатацію ряду електричних станцій, що використовують ПДЕ (переважно СФЕС), а це в перспективі може суттєво скоротити дефіцит потужності в обленерго. Доволі інтенсивне спорудження СФЕС в Одеській обл. зумовлено сприятливими кліматичними умовами. В подальшій перспективі, коли ккд сонячних батарей досягатиме 50-60%, територія Південної ЕС може стати регіоном суцільного спорудження нових СФЕС.

Зважаючи на те, що після анексії АР Крим Україна була змушена припинити реалізацію проекту спорудження пілотної СЕС з ПЦК поблизу м. Керч, такий об'єкт доцільно спорудити на континентальній частині України, а саме, як про це зазначено вище, в південно-західній частині Одеської області поблизу м. Болград. Враховуючи досвід Іспанії із спорудження СЕС з ПЦК та зважаючи на можливі питомі витрати, маємо орієнтуватися на потужність цього об'єкту в ≈ 40 МВт. Цю СЕС варто укомплектувати 3 електричними генераторами потужністю по 20 МВт. Доцільно, щоб в комплексі із СЕС з ПЦК працювали ВЕС потужністю 70 МВт та СФЕС потужністю 10 МВт. Це дозволить ефективно використовувати наявні тут електричні мережі, які входять до Арцизького енерговузла і обслуговуються ВАТ «Одесаобленерго». Електричні мережі цього регіону розраховані в основному на використання ЛЕП напругою 110 кВ. На території регіону відсутні інші електрогенеруючі об'єкти. Основним об'єктом електропостачання споживачів цього регіону є підстанція магістральної мережі Південної енергосистеми ОЕС України — ПС 330/110 кВ Арциз. Крім того, є зв'язки 110 кВ, які забезпечують передачу електроенергії таким споживачам енерговузла:

- міжсистемна дволанцюгова ЛЕП Вулканешти-Болград (з'єднує шини 110 кВ ПС 400/110 кВ Вулканешти і шини 110 кВ ПС 110 кВ Болград);
- шини 110 кВ ПС 330/110 кВ Н. Одеська (Південна ЕС) - ПС Канал - ПС Ст. Козацьке;
- шини 110 кВ Молдавської ДРЕС — ПС Ст. Козацьке.

На території енерговузла на напрузі 110 кВ сформована складнозамкнута мережа, що складається з декількох кілець. Ряд підстанцій живиться по одній тупиковій ЛЕП — Білолісся, Бородіно, Приморська. Шини 110 кВ ПС Болград секціоновані і працюють в розімкненому режимі за умовами роботи релейного захисту. В даний час на території енерговузла введено та будуються ряд СФЕС:

- Болградська — 40 МВт,
- Ренійська — 40 МВт,
- Кілійська — 50 МВт,
- Арцизька — 40 МВт,
- Старокозаче — 40 МВт,
- Випасне — 10 МВт.

Для видачі потужності цих СФЕС намічений значний обсяг реконструкцій об'єктів 110 кВ Арцизького енерговузла, у тому числі заміна фазних проводів на ряді ліній, заміна пристроїв РЗ та ін.

Електрозабезпечення споживачів південно-західної частини Одеської області (рис. 3) характеризується низькою надійністю, що визначається такими основними факторами:

- значний дефіцит генеруючих джерел;
- відсутність резервного живлення ПС 330 кВ Арциз на напрузі 330 кВ від мереж ОЕС України (підстанція пов'язана єдиною лінією 330 кВ з електричними мережами енергосистеми суміжної держави — з ВРУ 330 кВ Молдавської ДРЕС);
- значне зношення ЛЕП та обладнання, що експлуатується на підстанціях;
- слабкі протяжні зв'язки 110 кВ з опорними підстанціями 330 кВ Одеського енерговузла;
- ускладнення виконання ремонтів ряду ЛЕП 110 кВ, траси яких частково проходять по території суміжної держави, в тому числі ЛЕП МДРЕС — Ст. Козацьке;
- відсутність на підстанціях сучасних засобів релейного захисту та передачі інформації.

Одним з першочергових напрямків підвищення надійності електропостачання споживачів Арцизького енерговузла є будівництво ЛЕП 330 кВ Н.Одеська — Арциз. Введення цієї ЛЕП забезпечить зв'язок ПС Арциз з магістральними мережами ОЕС України і, частково, знизить залежність регіону від політичних і економічних взаємин України та Молдови і окупованою територією - ПМР.

Найближчим часом Молдавська ДРЕС намічає здійснити реконструкція ВРУ 110, 330, 400 кВ із заміною обладнання і будівельних конструкцій, РЗ, ТМ, зв'язку та ін. Це засвідчує можливість відключення як ЛЕП 330 кВ МДРЕС — Арциз, так і ЛЕП 110 кВ, що відходять від ВРУ 110 кВ електростанції (на ПС Ст. Козаче, ПС Біляївка, ПС Роздільна) на період реконструкції комірок, будівельних конструкцій, а також при створенні ремонтних схем.

Слід також зазначити, що у зв'язку з недонавантаженням генеруючого обладнання для передачі потужності в ОЕС України і правобережну частину Молдови, на Молдавській ДРЕС опрацьовуються питання можливості забезпечення експортних поставок за схемою “активний острів”. При цьому будуть виділені енергоблоки, комутовані в ОРУ 400 кВ, а також частково, у ВРУ 330 кВ на паралельну роботу з ЕС Румунії по ЛЕП 400 кВ МДРЕС — Вулканешти-Ісакча. Виведення при цьому з роботи АТ 400/110 кВ на ПС Вулканешти викликає зниження надійності електропостачання споживачів, розташованих у прикордонних районах України.

Аналіз умов електропостачання Арцизького енерговузла свідчить, що спорудження нових об'єктів генерації електрики, в тім числі СФЕС, забезпечить підвищення надійності електропостачання регіону. Однак нарощування потужності станцій (СЕС та ВЕС) при прогнозованому споживанні призведе до необхідності передачі надлишків генерації електрики в суміжні райони Одеської обл., здійснення якої за нинішнього стану існуючих електромереж буде доволі проблематичним. Все вище зазначене підтверджує необхідність будівництва ЛЕП 330 кВ Н. Одеська-Арциз найближчим часом. Зазначимо, що введення в експлуатацію ПС 750 кВ Приморська підвищить рівень пропускної спроможності між Арцизьким енерговузлом і основною частиною Одеського регіону до необхідного рівня.

Видачу потужності СЕС на ПЦК поблизу м. Болград доцільно здійснити безпосередньо на шини 110 кВ ПС Болград. Враховуючи особливості відокремленої роботи шин 110 кВ цієї підстанції та факт приєднання до цих шин діючої Придунайської СФЕС, необхідно провести додаткові розрахунки з метою виявлення рівня завантаження електричних мереж регіону та визначення їх відповідності допустимим значенням навантаження в нормальних та ремонтно-аварійних режимах.

Висновки

Можна зробити висновки, що для хоча б нормальної роботи енерговузла Одеської області, потрібно застосовувати протиаварійну автоматику для вирівнювання роботи енергосистеми в даній області, для того, щоб система електропостачання південно-західного субрегіону Одеської області працювала без масштабних втрат.

Список використаних джерел / References

1. <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=153001>
2. <http://promelektro.blogspot.com/2016/12/ie.html>
3. <https://oblenergo.odessa.ua/>

Колесник С.Р.
кафедра електропостачання

ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Анотація: В статті розглянута методологія побудови автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ), яка призначена для достовірного визначення обсягів власного електроспоживання, а також для контролю перетоків електроенергії Компанії з суміжними суб'єктами Оптового ринку електроенергії.

Ключові слова: сонячна електростанція, електроспоживання; автоматизована система; комерційний облік.

Summary: The article discusses the methodology of construction of the Automated Commercial Electricity Metering System (ASCI) as intended for reliable determination of the VOLUME of its own electricity consumption, as well as for controlling the electricity flows of the Company from related subjects of the Wholesale Sites of All Electricity.

Key words: solar power plant, power consumption; automated system; commercial accounting.

Вступ. На даний момент в Україні найбільшого розвитку набули в використанні такі альтернативні джерела енергії як сонячна, вітрова, гідроенергетика та енергія біомаси. Застосування сонячної енергії використовується як головний елемент отримання енергії. В даній роботі об'єктом впровадження автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) є фотогальванічна електростанція.

Мета та завдання. Головним завданням даної статті дослідження вироблення екологічно чистого водню за допомогою різних типів електролізних установок та порівняння їх техніко-економічних показників. Головним завданням даної статті є реалізації систем комерційного обліку електроенергії на сонячній станції.

Матеріал і результати дослідження. Виробництво електричної енергії відновлювальними джерелами такими, як сонячна та вітрова енергія допомагають зменшити рівень викидів в атмосферу, які утворюються при використанні традиційного виробництва електричної енергії на основі викопного палива. Але таке виробництво дуже залежне від погодних та кліматичних умов. Ці фактори призводять до багатьох Проектними рішеннями встановлюється, що видача електроенергії в мережу відбувається від шин 0,4кВ ТП-10/0,4кВ та має дві точки обліку (ТО):

- ТО-1-ТО-4,ТО13,ТО-14 Віддача - РУ-10кВ ТП-10/0,4кВ;
- ТО-5-ТО12 Генерація - РУ-0,4кВ ШО встановлюється в ТП-10/0,4кВ;

Структура системи АСКОЕ (рисунок 1).

Програмно-технічні засоби системи утворюють два рівні:

- 1) Нижній рівень АСКОЕ, що включає в себе: точки обліку; об'єкти обліку;
- 2) Верхній рівень АСКОЕ, що включає в себе: центральний пункт системи; автоматизовані робочі місця;

Під час побудови кожних із рівнів системи використовуються відповідні програмні забезпечення на основі сучасного мікропроцесорного обладнання та техніки.

Рішеннями передбачено встановлення на об'єкті локального устаткування збору та обробки даних до складу якої входять ТС, ТН, лічильники обліку електроенергії та відповідних комунікаційних центрів, що в свою чергу створюють КТЗ.

Клас точності ТС відповідно [1] - 0,5S.

Облік електроенергії забезпечується лічильниками типу SL 7000[2], функції якого включають забезпечення зберігання облікової інформації під час відключення живлення на протязі 10 років. Довжина ліній зв'язку 10м.

Забезпечення обміну даними між верхнім та нижнім рівнем підсистеми здійснюється за допомогою:

- 1) локальної мережі;
- 2) GSM із використанням стандартних GPRS/EDGE/GSM-терміналів.

Передача даних основного та резервного каналу між лічильниками обліку електроенергії і системою збору АСКОЕ відбувається за допомогою GSM/GPRS мережі мобільного зв'язку.

Функціонування із суміжними автоматизованими системами.

АСКОЕ будується як відкрита система функціонування та використовує в своєму комплексі стандартизовані документовані інтерфейси передачі даних з можливістю обміну інформацією з іншими системами обліку відповідно вимог до відкритих систем обліку електроенергії.

Суміжність із іншими автоматизованими системами забезпечується за допомогою архітектури «сервер-клієнт» протоколами TCP/IP та відповідної мови запитів основної бази даних. Передача даних з автоматизованої системи в умовах ОРЕ України відбувається на основі встановленого формату передачі даних.

Здійснення передачі даних енергопостачальній компанії відбувається: експортом файлів; доступом до лічильників обліку електроенергії.

Експорт файлів відбувається автоматично за допомогою електронної пошти в формах відповідно до встановлених вимог: за календарний місяць; добове споживання; годинний та півгодинний період;

Файли передачі даних надаються в текстовому форматі MS Excel відповідно встановлених зразків та вимог.

Рішеннями передбачається передача інформації щодо перетікання електричної енергії до ІОК Головного оператора мережею Internet технологією VPN.

Файли передачі даних надаються в текстовому форматі MS Excel відповідно встановлених зразків та вимог.

Рішеннями передбачається передача інформації щодо перетікання електричної енергії до ІОК Головного оператора мережею Internet технологією VPN.

Якість ручної чи автоматизованої передачі даних, що формуються починаючи із рівнів обліку електроенергії та передачею даних на вищі рівні забезпечуються програмними та технічними засобами АСКОЕ.

Зв'язок між лічильниками обліку електроенергії здійснюється за допомогою інтерфейсу RS-485. Комунікаційний модуль який в свою чергу здійснює передачу даних на сервери зацікавлених сторін створюється за допомогою інтерфейсу RS-485/RS-232 та GSM/GPRS модему [3].

Основний склад функцій АСКОЕ в залежності від рівня системи.

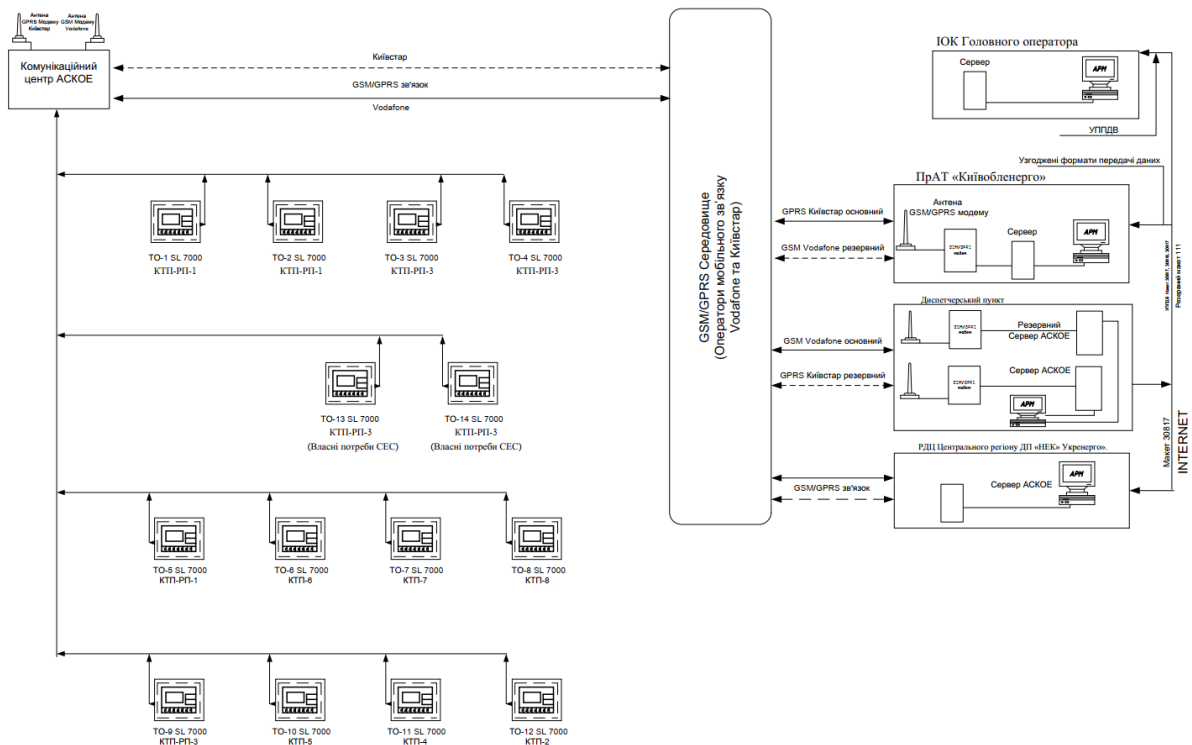


Рисунок.1 структурна схема АСКОЕ сонячної електростанції

На верхньому рівні виконуються наступні функції: контроль над станом мереж збору даних від лічильників обліку; під час ремонту чи заміни елементів обліку введення недообліку перетікання електроенергії; зміна періоду зчитування інформації з лічильників обліку; точність в часі та його синхронізацію у всіх підсистемах та устаткуваннях обліку; збір інформації про перетікання електроенергії з всіх лічильників обліку включених в АСКОЕ; зберігання відповідних даних з кожної групи і точки обліку на даній системі; надання можливості доступу до інформації та бази даних відповідно до повноважень користувачів; можливість в автоматичному режимі на встановленому дисплеї по запиті оператора відображення даних перетікань електроенергії; виконання відповідних розрахунків щодо втрат електричної енергії в елементах мережі та устаткуваннях; створення системи паролів та обмеження доступу до системи АСКОЕ; можливість за допомогою інтерфейсу користувача вводу інформації з лічильників обліку електроенергії; друк інформації щодо перетікань електричної енергії за запитом відповідних користувачів; за допомогою інтерфейсу користувача надаються можливості використання інформації про збір даних та статистики, а також налаштування та діагностика самої системи.

На нижньому рівні виконуються наступні функції: зчитування інформації з приладів обліку в встановлений період; погодинний облік та зчитування інформації у встановлену порядку.

Відображення даної інформації в системі; вимірювання кількості перетікань електричної енергії за допомогою багатофункціональних лічильників обліку; створення графіків активної та реактивної потужності з заданим періодом інтеграції 5, 10, 15, 30, 60 хвилин; формування та збереження первинної бази даних з приладів обліку не менше 3 місяців; забезпечення проведення по запиті внутрішньої діагностики; зв'язок для

передачі даних з приладів обліку електроенергії; обмін інформацією та маршрутизація даних;

Комплекс технічних засобів системи АСКОЕ.

Дана автоматизована система є інтегрованою та згідно відповідних структур та розміщення приладів обліку включає в себе підсистеми НР і ВР:

- передача та збір інформації з нижчого рівня (НР) , підстанції АСКОЕ

НР, що включають:

а) лічильники обліку електричної енергії ZMG 405 CR.4;

б) технічні засоби мобільного зв'язку VPN та GSM- мережі для

взаємодії між компонентами системи. Надання прямого доступу до лічильників обліку електроенергії;

- формування бази даних, контроль та облік електроенергії - верхній рівень (ВР).

Режими функціонування системи АСКОЕ:

Функціонування системи відбувається безперервно та цілодобово з фіксованими періодами ремонту роботи і зупинками системи та проведенням огляду комплексу.

Зчитування інформації з точок обліку електроенергії та самодіагностика комплексу системи відбувається автоматично. Деякі системи комплексу потребують проведення комплексної діагностики за допомогою окремого переносного комп'ютера та оператора.

Програмне забезпечення надає можливість системі синхронізацію сервера, приладів та пристроїв обліку за протоколом NTP [4].

Інформаційне забезпечення системи:

База інформаційного забезпечення будується за допомогою взаємопов'язаних баз даних нижнього та верхнього рівня як сукупність різних засобів і методів, що діляться на інформаційні масиви.

Дане інформаційне забезпечення системи надає можливість ведення обліку з наступними показниками: повнота; - достовірність; - своєчасність; - синхронність; надійність; збереження необхідної інформації; взаємообмін; зручність в наданні необхідної інформації.

База інформаційного забезпечення складається з: первинної база даних, знаходиться в складі лічильників обліку; масиву копії первинної бази даних, як необхідність дублювання; інформації при роботі в аварійних ситуаціях; нормативно довідкової інформації; масиву даних ручного введення; форм звітності та макети даних; протоколів діагностики та роботи; даних ручного введення; даних обробленої інформації згідно окремих груп точок обліку електроенергії;

Програмне забезпечення системи АСКОЕ.

Програмне забезпечення, що надає можливість повному функціонуванню системи та зв'язку між масивами даних складається з: прикладного програмного забезпечення; спеціального програмне забезпечення; системи та засобів програмного забезпечення, що розширюють можливості роботи системи;

Програмне забезпечення системи використовує операційну систему на основі ліцензійної Microsoft Windows 10.

Для можливості реалізації функціональної діяльності системи використовують прикладні програмні забезпечення на основі ліцензійної Microsoft Office.

В склад спеціальних програмних забезпечень входять комплекс засобів «ELECTRO».

Спеціальний програмний засіб «ELECTRO» надає наступні можливості: внесення змін та їх реєстрацію в спеціальному журналі; копіювання в архів та відновлення з архіву необхідної інформації; тестування функціонування програмно-технічного забезпечення

системи; захист системи за допомогою паролів, захист від стороннього втручання, стирання чи змінення даних системи.

Висновки:

Запропоновані технічні рішення реалізації системи комерційного обліку електроенергії сонячної електростанції, що задовольняють вимогам основних нормативних документів.

Список літератури

1. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України «Про затвердження правил улаштування електроустановок», 2017, №476, ст.759.
2. Технічні рекомендації щодо вибору розрахункових засобів обліку електричної енергії до ЛУЗОД та АСКОЕ юридичних споживачів/ Затверджено комерційним директором ПАТ «Волиньобленерго», Іванов Д.О., 2012, 4с.
3. Реалізація зв'язку з системою АСКОЕ через GSM мережу/ В.А. Святний, О.М. Мірошкін, В.В. Гриша// Вісник НТУ «ХПІ», 2017, 8с.
4. ГОСТ 8.437-81. Системы информационно-измерительные. Метрологическое обеспечение. Основные положения.
5. Наказ Міністерства палива та енергетики України, Національної комісії регулювання електроенергетики України, Державного комітету стандартизації, Метрології та сертифікації України, Державного комітету будівництва, Архітектури та житлової політики України, Державного комітету промислової політики України «Про затвердження Концепції побудови автоматизованих систем обліку електроенергії», 2000, №32/28/28/276/75/54, с.42.

УДК 621.311

Корчыков Олександр

Department of Electrical Supply
Institute of Energy Saving and Energy Management
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

CAN REASONABLE MODERNIZATION OF THE ENERGY SECTOR BECOME A FLYWHEEL OF THE WHOLE STATE ECONOMY?

Анотація

У статті розглянуто проблему модернізації енергетичного сектору України. Описано сучасну ситуацію в енергетичній системі України. Проаналізовано виклики та ризики розвитку генерації та заходів щодо управління попитом. Розглядаються можливості управління попитом в Україні. Приділено увагу історичному аспекту розвитку енергетичної модернізації України.

Ключові слова: модернізація, управління попитом, енергетичний сектор, відновлювані джерела енергії, надійні джерела, маневреність.

Abstract

In the article, the problem of modernization of the energy sector of Ukraine is considered. The current situation of the energy system of Ukraine is described. Challenges and risks of generation development and demand management measures are analyzed. Demand-side management opportunities in Ukraine are considered. Attention is paid to the historical aspect of the development of the energy modernization of Ukraine.

Keywords: modernization, demand-side management, energy sector, renewables, reliable sources, maneuverability.

Introduction. To ensure a reliable supply of electric energy to consumers (in Europe they consider in the context of security of supply of electric energy) it is necessary to ensure an appropriate balance of supply and demand for electric energy. The peculiarity of the formation of such a balance is the need to take into account both the generation capabilities (including its regulation) and the load schedule of consumers (unevenness, growth in consumption by individual hours of the day), as well as a general increase in electricity consumption by the country's economy. Ukrainian experience could illustrate some interesting things.

Exposition of the main subject of research. Being a part of the Soviet Union, Ukraine launched a starting model for the development of its energy system - GOELRO, which became the first Soviet plan for the restoration and development of the national economy in the world. It became the prototype for the next five years, developed by the State Planning Commission [1].

Analyzing the generation graphs (Fig. 1) and the generation growth index relative to the value of 1928 (Table 1) in this period [3], we see a tremendous increase in generation and its growth by 810% over 9 years. And by the end of 1960, the capacity of all power plants in the country reached 66.72 thousand MW. Electricity generation in 1969 amounted to 292.27 billion kWh [2].

This development model was reasonable and showed a good result in the realities of a planned economy. Because then we had a huge amount of natural and human resources, which

in fact belonged to one state. We could easily calculate the economic growth rate and what capacities we will need in (10 - 20) years.

But after the Soviet Union collapsed and the collapse of the communist regime came, we faced many problems. Changes in the economic situation of our country, changes in the form of ownership of the means of production, the loss of a number of sales markets and increasing consumer debt (almost at the level of the cost of annual electricity consumption by the country) led to a shortage of working capital in the industry and a significant slowdown in the development process. To ensure a balance in the power system in conditions of limited fuel resources and the inability to load economical units, administrative methods of demand management were applied [4]. In fact, the consumer was forced to consume electricity in the volumes produced by the stations.

Table 1 – Generation Growth Index and Power Generation

| Country | Index, % | | | | Electricity generation, billion kWh | | | |
|---------|----------|-------|-------|-------|-------------------------------------|------|------|------|
| | 1928 | 1932 | 1936 | 1937 | 1928 | 1932 | 1936 | 1937 |
| USSR | 100 | 270.0 | 656.0 | 810.0 | 5 | 13.5 | 32.8 | 40.5 |
| Germany | 100 | 84.2 | 152.3 | 179.2 | 27.9 | 23.5 | 42.5 | 50 |
| Poland | 100 | 88.5 | 119.2 | 138.5 | 2.6 | 2.3 | 3.1 | 3.6 |

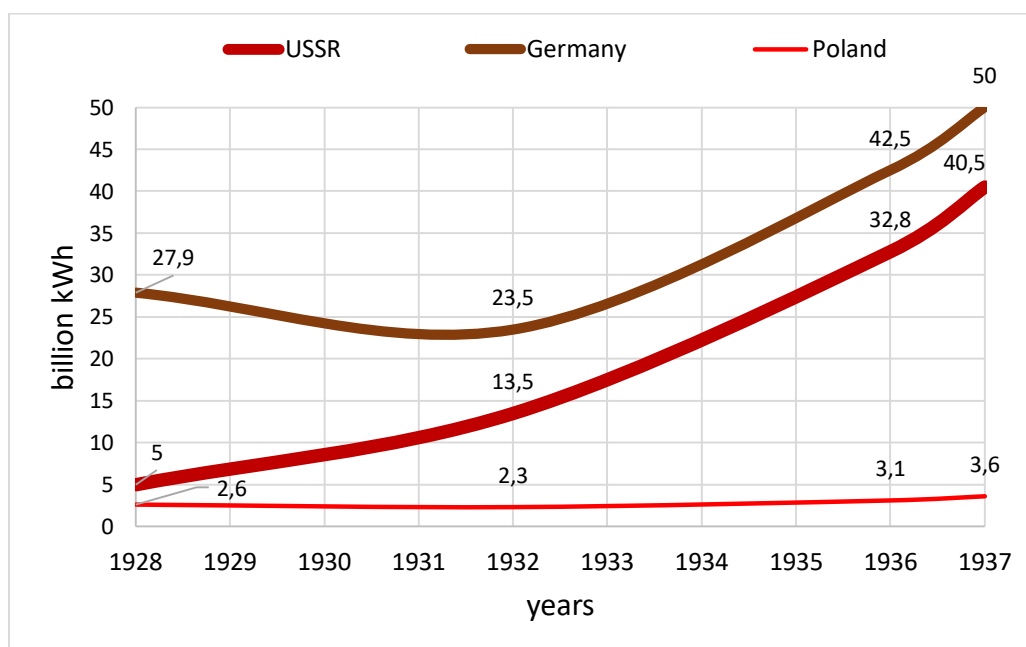


Figure 1 - Graphs of electricity generation 1928 - 1937

We analyzed options for how we can influence consumer consumption using economic methods: differential tariffs depending on the time of day, interruption tariffs, step-by-step (block) tariffs, etc.

As a result, we came to Demand-side management as a concept for solving energy efficiency problems with the possibility of combining different tariff plans.

Purpose and task. To analyze and find the main tendencies of reasonable modernization of the energy sector of Ukraine. To consider the influence of DSM on energy network development plans and the whole state economy.

Material and research results. The main generating capacities of the UES of Ukraine are focused on: four nuclear power plants (15 power units, of which 13 with capacity of 1 000 MW and 2 with capacity of 415 and 420 MW); cascades of 8 hydroelectric power stations on the Dnipro and Dniester rivers with a total number of hydroelectric units - 103 units, as well as 3 hydro-accumulation stations (11 GA with capacity from 33 MW to 324 MW); 12 TPPs with units of 150, 200, 300 and 800 MW unit capacity (75 units, including capacity: 150 MW - 6, 200 MW - 31, 300 MW - 32, 800 MW - 6 units), and 3 also 3 large power plants with 100 (120) MW and 250 (300) MW units.

At the end of 2017, the total nameplate capacity of Ukrainian power plants is 51.7 GW. All data are summarized in Table 2.

Table 2 – Nameplate capacity of Ukraine's power plants

| Year | Total nameplate capacity | NPP | % | TPP (electricity only) | % | TPP | % | HPS | % | RES | % |
|------|--------------------------|------|------|------------------------|------|-----|------|-----|------|-----|-----|
| 2012 | 53.8 | 13.8 | 25.7 | 27.4 | 51.0 | 6.5 | 12.1 | 5.5 | 10.2 | 0.6 | 1.1 |
| 2013 | 54.5 | 13.8 | 25.4 | 27.6 | 50.7 | 6.6 | 12.2 | 5.5 | 10.0 | 0.9 | 1.7 |
| 2014 | 55.1 | 13.8 | 25.1 | 27.7 | 50.3 | 6.6 | 12.0 | 5.9 | 10.6 | 1.1 | 2.0 |
| 2015 | 54.8 | 13.8 | 25.2 | 27.8 | 50.7 | 6.5 | 11.8 | 5.9 | 10.7 | 0.8 | 1.5 |
| 2016 | 55.3 | 13.8 | 25.0 | 27.8 | 50.3 | 6.5 | 11.8 | 6.2 | 11.2 | 1.0 | 1.7 |
| 2017 | 51.7 | 13.8 | 26.7 | 24.6 | 47.5 | 5.9 | 11.5 | 6.2 | 12 | 1.2 | 2.3 |

Most of the NPP units have VVER-1000 series reactors (Model B-320), which are similar to PWR reactors in terms of technical characteristics. Nine nuclear power units have already completed their 30-year project life and have been extended for another 10-20 years [5]. The validity of the additional life of the NPP units is from 10 to 20 years and is determined in each case according to the results of the safety assessment.

If we analyze our Thermal Power Plants then as of 01.10.2018 TPP (electricity only) has 75 power units and 3 turbines of 100 MW with installed capacity of 21 842 MW, of which:

- 68 coal blocks with a capacity of 16 942 MW, including 3 blocks in conservation and 1 block in reconstruction.

- 7 gas-oil units with capacity of 4600 MW (1 800 MW unit is in conservation).

Today, about 20% of the power units have been reconstructed, but the issues of bringing environmental performance to modern requirements have not been resolved.

The rest of the units are maintained in working condition at the expense of major and ongoing repairs, but their deterioration is constantly increasing and reaches a threatening limit in terms of the possibility of their further operation without reconstruction.

Electricity production during the period 2012-2017 has been significantly reduced [5]. Such a structure of production is caused by the specificity of the structure of generating capacities of the Ukrainian electric power industry, which is overloaded by the base capacities and is characterized by an acute shortage of maneuverability. As a result, TPP units designed to operate in basic modes are used as maneuvers, many of which operate in off-peak and semi-peak modes. Therefore, it is common practice to use in maneuver modes, except for coal-fired power units with a capacity of 100-200 MW, dust-coal units of supercritical parameters with a capacity of 300 MW.

Under these conditions, the main capacity for regulating the load schedule are coal units of 150-200-300 MW TPP. Due to the unfavorable power structure (low maneuverability, limitation of TPP adjustment range), daily power stops of 7-10 units are practiced during the night load reduction period, followed by their start-ups up to morning/evening maximum load.

Such modes result in the additional triggering of the equipment resource, high accident rates, and fuel overruns.

The structure of the generating capacities of the UES of Ukraine in terms of ensuring efficient frequency and power regulation in the power system is extremely suboptimal, which is caused by a significant share of NPPs, the low maneuverability of the TPP units and the unregulated and variable mode of operation of the generating capacities that generate electricity using renewables, which is exacerbated by the lack of facilities and approaches to reliable forecasting of their generation modes.

Thus, taking into account these problems, it can be concluded that the existing generating sources in the grid are in the stage of exhaustion of physical capabilities to ensure the daily regulation and rational modes of operation of power plants, so in the near future it is necessary to perform their reconstruction, as well as the launch of new highly maneuverable capacities. At the same time, a significant influence on increasing regulatory capacity can be ensured through the introduction of the ancillary services market.

It is also important to consider the amount of electricity consumed. In Ukraine, it is uneven throughout the year, which is primarily determined by changes in temperature [5]. Trends in electricity consumption in accordance with changes in air temperature are constant, with the following three distinctive zones: the intense heating zone, when the consumption is almost linearly dependent on the air temperature along with the adjacent saturation zone; comfort zone when consumption is steady, and intensive cooling zone when consumption increases with increasing air temperature.

Consumption unevenness throughout the year is also caused by a significant share of consumption by the population and by utility consumers relative to industrial consumption [5]. The share of industrial consumption in total consumption over the last five years has been steadily declining. In the same period, the share of household consumption increased from 26.7% in 2012 to 29.5% in 2017; At the same time, in the absence of stable trends in the development of the Ukrainian economy, significant changes in household income, depreciation of the national currency, significant inflation, it is almost impossible to make a reliable estimate of the elasticity of electricity demand. In these circumstances, electricity consumption for industry depends on the loading of fixed assets, which largely depends on the external market conditions for export-oriented enterprises. In households, there is a tendency of steady consumption of electricity, which is caused by the gradual saturation of households with household electrical appliances.

Therefore, in the current difficult situation in the economy and energy of the country, considerable uncertainty about the future conditions of their development and functioning in the future, in particular, the consequences of the introduction of a new model of the electricity market, accelerated development of RES, integration with ENTSO-E.

One of the main problems is the lack of reliable sources of investment for the reconstruction of existing and construction of new generating facilities and the implementation of demand management measures.

Conclusions. Analysis of the current state of generation and operating modes of the Ukrainian UES showed significant problems in ensuring balance reliability due to overloading of the generating capacity structure with basic capacities and acute shortage of maneuvering capacities, which increases in the conditions of rapid construction of non-guaranteed power plants and a decrease in the share of base load.

The main Challenges (risks) of development of generation are: lack of funding sources for relevant projects; the inappropriateness of supporting the operation of thermal generation capacities that will not be permanently involved in the coverage of the Energy Loads Graph

under the new model of the electricity market; lack of competition of reconstructed and “green” coal-fired power units relative to those that can operate for 20 and 40 thousand hours without the need to meet regulatory requirements for air pollutant emissions; lack of a strategy for the development of nuclear energy to replace the existing nuclear power plants that will be shut down.

Therefore, to ensure sustainable development of the grid, it is necessary to implement demand-side management (DSM) and to have a reasonable modernization, we should answer to the question: “How much should the energy development growth rate exceed the economic development growth rate?”.

References

1. GOELRO plan – Wikipedia: web-site. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/GOELRO_plan (accessed on: 05.11.2019)
2. Б.Д.Сюткин, М.К.Получальников. Организация оптового рынка электроэнергии и мощности в России: web-site. URL: <http://www.eeseaec.org/vestnik-energetiki-eaec/b-d-sutkin-m-k-polucalnikov-organizacia-optovogo-rynka-elektroenergii-i-mosnosti-v-rossii> (accessed on: 06.11.2019)
3. Mały Rocznik Statystyczny. Warszawa.: Główny Urząd Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej, 1939. 128 p.
4. Постанова КМУ №441 Про невідкладні заходи щодо стабілізації фінансового становища підприємств електроенергетичної галузі
5. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей (доопрацьований). 2019, 24 – 41 p.

UDC 622.24

Aymen Adjebi

Department of electromechanical equipment for energy intensive industries

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR DIAGNOSING AN AUTONOMOUS POWER SOURCE BASED ON A SINGLE-CYLINDER INTERNAL COMBUSTION ENGINE OF THE CENTRAL CONCENTRATION FACTORY «CHERVONOGRAD»

Carry out a systematic analysis of existing methods and systems for the diagnosis of autonomous sources of electrical energy based on internal combustion engines, with a description of the structural composition and the principle of diagnosis. To analyze the operating conditions of synchronous generators on the basis of internal combustion engine with determination of probability of generator failure with statistical processing of results and degree of risk. To develop a test scheme for diagnosing a standalone electric generator based on an internal combustion engine without fuel with a starter current level, with a rationale for measuring and recording equipment with a description of the algorithm of operation. To develop a simulation model of test technical diagnostics of an autonomous electric generator based on an internal combustion engine without fuel with a starter current level. Conduct full-scale experimental studies to confirm the theoretical findings.

Keywords: generator, diagnosing, single-cylinder internal combustion engine

Introduction. Autonomous generator designs use two-stroke and four-stroke air-cooled internal combustion engines with a rotation speed of: 3000 - 6000 rpm. Depending on the type of standalone generator, an engine with upper or lower valve arrangement is used. Higher reliability has a four-stroke engine with upper valve position, liquid engine cooling (oil, antifreeze or antifreeze) The rotational speed of the crankshaft is 1500 rpm [28].

Generator sets are equipped with an electric starter, with the ability to equip various automatic start devices.

Conducted market analysis (in detail in the Startup section of the project) shows that the most common solution to the problem of uninterrupted energy supply are electric generators based on a single-cylinder four-stroke engine with a synchronous generator. The reason for this choice of consumers is the lowest price and simplicity of servicing of this equipment (Fig. 3.1). The disadvantages include small resource and efficiency.

The purpose and objectives of the study. Creation of a simulation model and development of a technique for technical diagnostics of an autonomous electric generator based on an internal combustion engine without fuel with a starter current level.

Research materials and results. According to scientific work [35], the following criteria are considered when designing systems for diagnosis and monitoring:

1. Creating a diagnostic control system.

This criterion allows to set the limits of the investigated parameters: To adjust the measurement range of the sensors, to establish the relative error to start and stop the diagnosis system.

2. Systems for checking the technical condition.

This criterion is divided into three main points:

1) Object testing:

It involves the study of the characteristics of the objects of diagnosis, their classification with the scope. The study is conducted on energy features, on the nature of the signal, characteristics and parameters that establish the correct or defective state of the object, the collection and processing of statistical data, establishing faults by type (persistent and unstable), causes, features and frequency of their occurrence.

The study of the parameters of the object of diagnosis covers the development of methods for specifying tolerances, insertions and definitions of control relations between individual parameters, the study of the accuracy of measurement of parameters in the case of object verification, determination of the law of change of parameters for the purpose of prediction and genesis [36].

2) Creating a validation program:

At this stage, a program is developed in the form of numerical codes, according to which the diagnostic system reads the fixed diagnostic information, performs processing and transmits data to the operator.

3) Development of methods and means of verification:

At this stage, a description of the diagnostic tools, the principle of operation, algorithms for fixing and transmitting the input signals to the microprocessor [36].

The purpose of this study is to determine the inertial system parameters with consideration of a cylinder-piston group elements complex motion of a single cylinder internal combustion engine in the diagnosis without fuel supply on the starter current basis.

The process of diagnosing the internal combustion engine of an electric power station takes place without fuel supply and with the disconnected load on the electric generator.

The main elements of the kinematic scheme (Fig. 3.20) of this diagnostic system that affect the inertial component are the elements of the crank mechanism, the piston 1, the rod 2 and the crankshaft 3, the rotor of the generator 4, the flywheel 5, the rotor of the starter 6. We define the reduced starter shaft moment of inertia system. In general, the reduced moment of inertia of the system:

$$J_0 = \sum_{i=1}^n \left[m_i \left(\frac{V_i}{\omega_1} \right)^2 + J_i \left(\frac{\omega_i}{\omega_1} \right)^2 \right], \quad (1)$$

where n - number of system elements; m_i , J_i - elements mass and moment of inertia ; V_i , ω_i - elements linear and angular velocity.

The moment of inertia brought to the shaft of the starter J_0 is determined from the condition of attaching the mass of the connecting rod to the piston and crankshaft:

$$m_{cr} = m_1 + m_2, \quad (2)$$

where m_1 , m_2 - mass of the connecting rod, which joins the piston and crankshaft.

Attached masses m_1 , m_2 are in certain proportional proportions from the mass of the connecting rod m_{cr} :

$$m_1 = (0,2...0,3)m_{cr}; \quad (3)$$

$$m_2 = (0,7...0,8)m_{cr}. \quad (4)$$

Moment of systems inertia J_0

$$J_0 = J_{as} + \left(J_f + J_{ag} + J_c + m_2 r^2 \right) \left(\frac{\omega_c}{\dot{\varphi}} \right)^2 + (m_p + m_1) \left(\frac{V_p}{\dot{\varphi}} \right)^2, \quad (5)$$

where J_{as} , J_f , J_{ag} , J_c - starter, flywheel, alternator and crankshaft moments of inertia; ω_c - of crankshaft angular velocity; $\dot{\varphi}$ - starter angular velocity; V_p - piston linear velocity:

$$V_p = r \omega_c \left(\sin \alpha + \frac{r}{2L} \sin 2\alpha \right), \quad (6)$$

where r - radius of crankshaft; L - length of the connecting rod; α - crankshaft rotation angle.

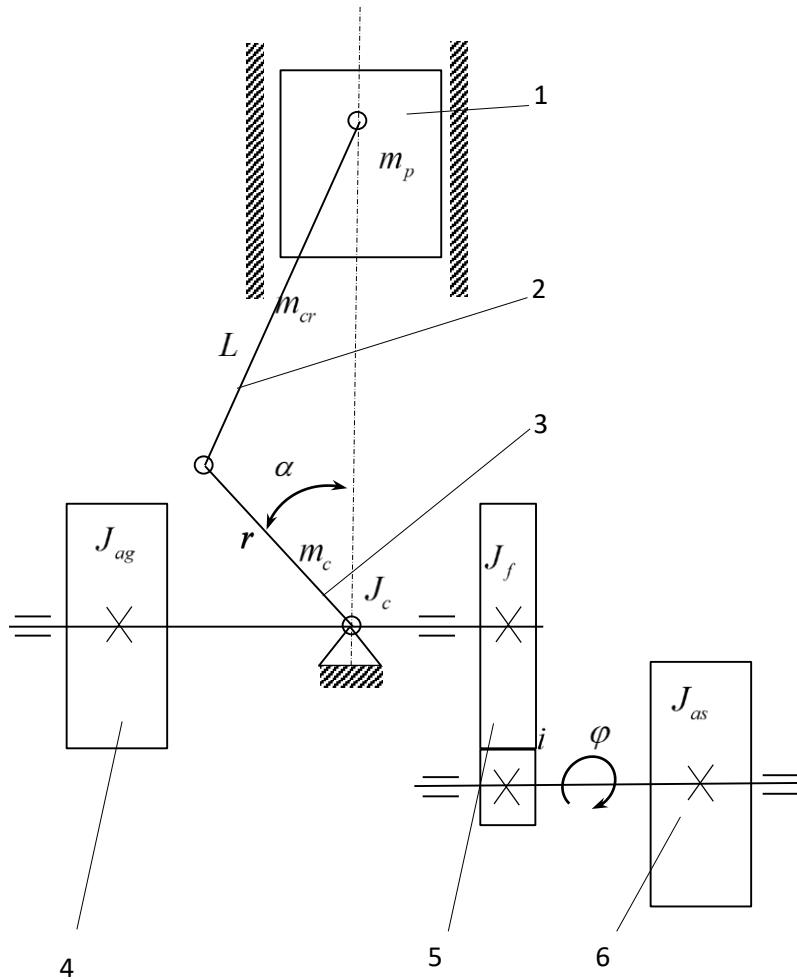


Fig. 1 The internal combustion engine kinematic diagram of diagnostics

Finally, systems moment of inertia considering flywheel transmission ratio consists of a constant J_1 and an alternating J_2 moment of inertia change component:

$$J_0 = J_1 + J_2 = J_{as} + (J_f + J_{ag} + J_c + m_2 r^2) \left(\frac{1}{i} \right)^2 + (m_p + m_1) \left(\frac{r(\sin(\varphi/i) + \frac{r}{2L} \sin 2\varphi/i)}{i} \right)^2, \quad (7)$$

Consider the change in the systems moment of inertia on commonly used generators with a starter launch FORTE example. This generator has a single cylinder internal combustion engine Honda GX 200 cylinder volume $2 \cdot 10^{-4} m^3$ with a piston stroke $5,4 \cdot 10^{-2} m$ that develops power $5,2 kW$. The single-phase alternator (KT-2) develops power $2,5 kW$. The presented data allow us to establish the approximate values of the masses and moments of inertia according to the values of the specific structural parameters of the engines (Table 1).

Table 1 System parameters

| | Mass, kg | Moment of inertia, $kg \cdot m^2$ |
|------------------|----------|-----------------------------------|
| Piston | 0,5 | - |
| Connecting rod | 0,7 | - |
| Crankshaft | 1,7 | 0,0008 |
| Flywheel | 1,7 | 0,003 |
| Rotor Alternator | 3,4 | 0,004 |
| Rotor starter | 0,8 | 0,00085 |

The graph (Fig. 3, a, b) shows the dependence of diagnostic system moment of inertia components change for power generating station internal combustion engine at one-time crankshaft rotation. From the graph of the variable component J_2 (Fig. 3, a), it is possible to note the harmonic nature of the change during the crankshaft rotation, but it floats at a reduced moment of inertia J_0 within 0,8%.

Considering the insignificant influence of the variable inertia component J_2 , the given systems moment of inertia can be calculated without significant loss of accuracy only by the first component:

$$J_0 = J_1 = J_{as} + (J_f + J_{ag} + J_c + m_2 r^2) \left(\frac{1}{i} \right)^2. \quad (8)$$

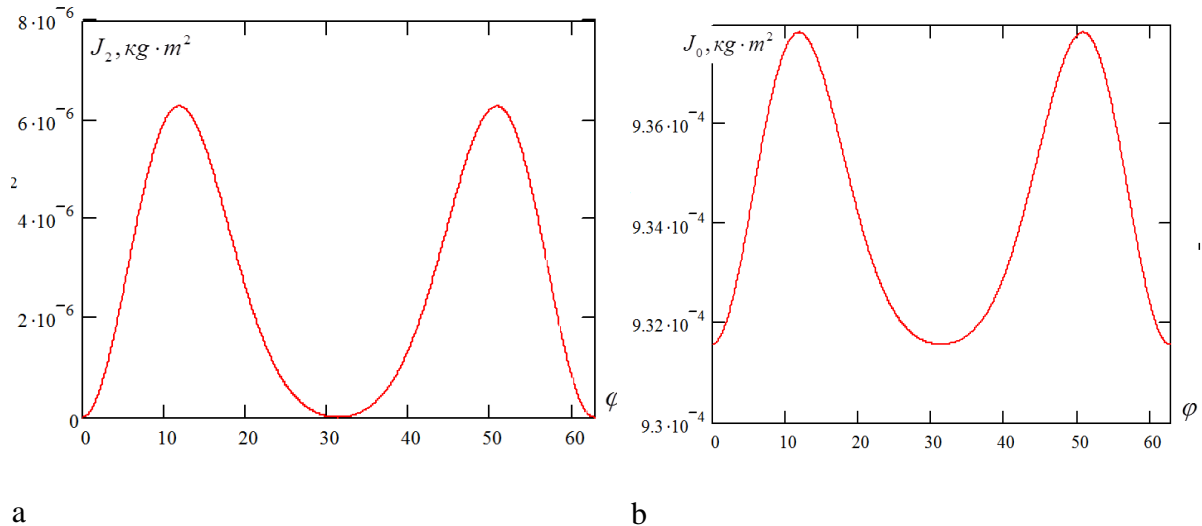


Fig. 2 Changes in components of the systems moment of inertia

Setting inertial system parameters for diagnosing power generating stations internal combustion engine allows to describe the process by using numerical methods for solving simulation and analysis of dynamical systems.

Considering the insignificant influence of the inertia variable component, the given systems moment of inertia can be calculated without significant accuracy losses only as a constant component.

Conclusion. The article contains new scientifically substantiated results of application and further development of methods and means of diagnosing an autonomous electric generator based on an internal combustion engine. In the course of the work the following scientific and practical results were obtained:

The inertial properties of the generator are investigated. It is established that the oscillations of the moment of inertia when driving the system of the internal combustion engine - stator is less than 0.5%.

References:

1. O.Plakhtyna A.Kutsyk, O.Kuznetsov. The computer diagnostics and testing of self-excite synchronous generator's control system. - Poland, Bydgoszcz Ukraine, Lviv Institute of electrical engineering ATR Lviv Polytechnic National University, 2008 – P. 254-258
2. Bogdan A.V., Diagnostika povrezhdenij obmotki statora avtonomnogo asinhronnogo generatora / A.V. Bogdan, A.N. Sobol' // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Jeletromehanika, 2013. № 1. P.70 – 71.
3. Bogdan A. V. Priznaki povrezhdenija obmotki statora asinhronnogo generatora / A.V. Bogdan, I.A. Potapenko, A.N. Sobol' // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva, 2007. № 8. P.13 – 14.
4. Gashimov M.A. Issledovanie v celjah diagnostiki fizicheskikh processov funkcionirovanija jelektricheskikh mashin pri neispravnostjah v obmotke statora i rotora / M.A. Zhelezko, S.V. Abdulzade // Jeletrotehnika, 2004. № 2. P. 20–27.

Banna Halbast
Geoengineering Department

**SUBSTANTIATIONS OF PARAMETERS OF GROUND ANCHORS FOR
CONTROLLING THE DEEP EXCAVATION STABILITY OF THE RETAINING
WALL**

Excavation Construction process in geo engineering field is vary according to the nature of the project for example if we excavate for foundation of a coplex the consideration is lower that making excavation for Dam or tunnel because the range of construction will become higher at the same time dealling with different soil types and load will be increase, among them making underground railroad for metro station because the propablitiy of soil and load deformation through out the construction line it is in high range, in this research we are focus on the basic design provisions for the platform section of the Kotelniki metro station. Station "Kotelniki", next to the station "Zhulebino", is the terminal station of the Tagansko Krasnopresnenskaya line of the Moscow metro.

***Key words:** underground Development, Excavation, Urban Construction, Anchorage System, Deep pit, Plaxis, Simulation Program, metro station*

Introduction. The station is scheduled for the construction of the Experimental Field in the city of Kotelniki, Moscow Region, southeast of Moscow, parallel to the southern side of the Novoryazanskoye Highway at the junction of Marshal Poluboyarov Street.

The platform section is a two-span frame three-level structure. At the platform platform level station (height 2.7m clean) are located two cable and ventilation ducts. Rectangular island platform with a central location columns in steps of 6.0m. Platform width 12m, length 163m. the upper level (above the floor of the platform) provides: at the adjoining lobby No. 1 and No. 2 placement of technological lobby premises: in the central part contains additional metro services and commercial subway area. The thickness of the tray is 0.5-0.8m of walls 0.4m of interfloor overlapping 0.4m of coating 0.6m. At the platform platform level round cross section Ø 0.9m, in the upper level square 0.8 * 0.8m.

The supporting structures of the platform section perceive horizontal forces transmitted from the “walls in the ground”, vertical loads from backfill and from automobile wheel load on the coating, loads from the insulation structure, load on the track rails from the metro rolling stock and the load from the movement of passengers, floors and dead weight of the structures.

For the main load-bearing structures of the platform section, heavy concrete of class B30 in terms of compressive strength is adopted.

For reinforcing load-bearing reinforced concrete structures, it is envisaged to use working reinforcement of periodic profile A400 and for transverse and indirect reinforcement, smooth reinforcement of class A240 according to SP 63.13330.2012.

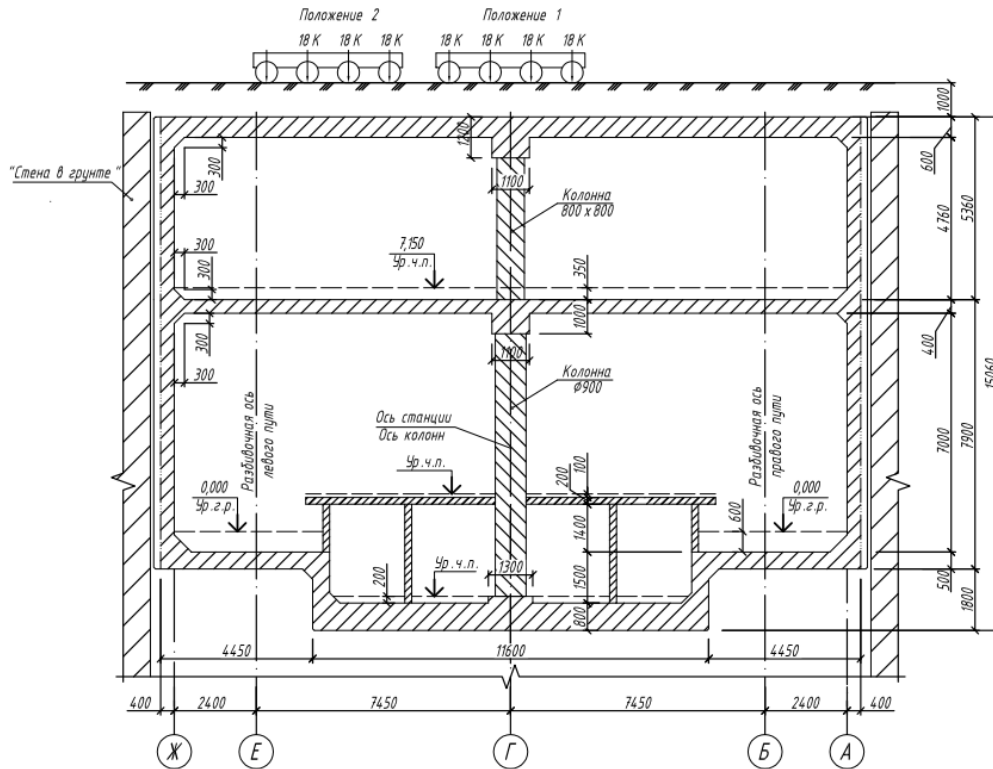


Figure 1. Platform Site Pattern Design Section

Purpose and objectives of the research. In this research we are evaluating the properties of the soil stiffness and types to examine whether it requires supporting element in it is construction and at the same time defining the retaining wall efficiency for bearing applied force and surrounding lateral forces, at the end applying anchorage system to minimize the deformation displacement into minimum level, here we depend on simulating programmes as PLAXIS as verification procedure for calculation database input.

Research materials and results:

Object soil layers Dimensions

| | |
|---|--|
| <p>1st = - 9.6 2nd = -19.6 3rd = - X</p> | |
| <p>NOTE: Red colors presents those layers that is within excavation range</p> | |

Table 1. Object soil layers Dimensions

Engineering-Geological conditions

| | |
|-------|--|
| IIE 1 | Sand of medium size, wet and saturated, medium density with strata of large |
| IIE 2 | The sand is shallow, moist and saturated, medium density, less often dense |
| IIE 3 | Sand cf. coarseness, moist and water saturated, medium density, less often dense |

Table 2. Engineering-Geological conditions

Soil layers Properties

| Layers No. | Layers Properties | Soil Norm |
|-----------------|--|-----------|
| 1 st | $\rho = 1.93 \text{ t / m}^3, \varphi = 30^\circ, \rho = 1.95 \text{ t / m}^3, \varphi = 31^\circ$ | <u>3</u> |
| 2 nd | $\rho = 1.93 \text{ t / m}^3, \varphi = 31^\circ, \rho = 1.95 \text{ t / m}^3, \varphi = 32^\circ$ | <u>6</u> |
| 3 rd | $\rho = 1.98 \text{ t / m}^3, \varphi = 32^\circ, \rho = 2.0 \text{ t / m}^3, \varphi = 32^\circ$ | <u>7</u> |

Table 3. Soil layers Properties

Distributed load Properties

| Pit Depth | Retaining Wall | Distributed Load capacity | |
|-----------|----------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 15 m | 22.5 m | A-A load = -27 kn/m^2 | B-B load = -27 kn/m^2 |

Table 4. Distributed load Properties

Results

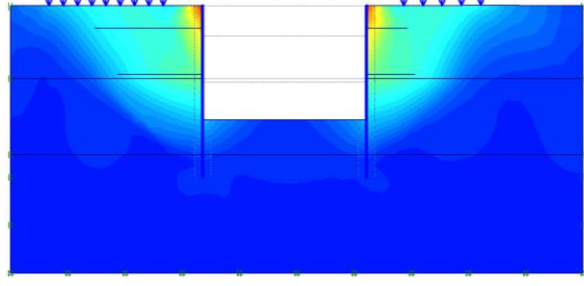
| Model No. | 1 | General Displacement Estimated Models |
|---|---------------|--|
| anchor angle | |  |
| anchor length | | |
| Tendons No. | | |
| First row of Anchor force kn/m | | |
| Second row of Anchor force kn/m | | |
| Horizontal displacement of retaining wall, Δ_{max} , m | 0.0375 | |

Table 5. Model 1

Note: the Displacement in Model No.13 is $>35 \text{ mm}$ which means failure will happen

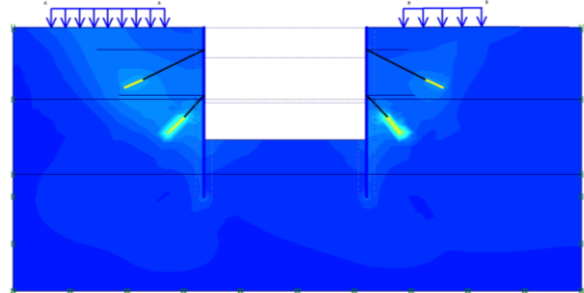
| Model No. | 2 | General Displacement Estimated Models |
|---|---------|--|
| anchor angle | 25°-45° |  |
| anchor length | 08 -03 | |
| Tendons No. | 4 | |
| First row of Anchor force kn/m | 100 | |
| Second row of Anchor force kn/m | 140 | |
| Horizontal displacement of retaining wall, Δ_{max} , m | 0.0208 | |

Table 6. Model 2

| | | |
|---|---------|---------------------------------------|
| Model No. | 3 | General Displacement Estimated Models |
| anchor angle | 25°-45° | |
| anchor length | 12-07 | |
| Tendons No. | 4 | |
| First row of Anchor force kn/m | 100 | |
| Second row of Anchor force kn/m | 140 | |
| Horizontal displacement of retaining wall, Δ_{max} , m | 0.013 | |

Table 7. Model 3

| | | |
|---|---------|---------------------------------------|
| Model No. | 4 | General Displacement Estimated Models |
| anchor angle | 25°-45° | |
| anchor length | 15-10 | |
| Tendons No. | 4 | |
| First row of Anchor force kn/m | 100 | |
| Second row of Anchor force kn/m | 140 | |
| Horizontal displacement of retaining wall, Δ_{max} , m | 0.0258 | |

Table 8. Model 4

| | | |
|---|---------|---------------------------------------|
| Model No. | 5 | General Displacement Estimated Models |
| anchor angle | 25°-45° | |
| anchor length | 18-13 | |
| Tendons No. | 4 | |
| First row of Anchor force kn/m | 100 | |
| Second row of Anchor force kn/m | 140 | |
| Horizontal displacement of retaining wall, Δ_{max} , m | 0.0215 | |

Table 9. Model 5

Comparison

| № Models | Length of anchors | Calculation results | | | |
|----------|-------------------|---|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| | | Horizontal displacement of retaining wall, Δ_{max} , m | Bearing moment, M, tm | Total displacement of grout body, m | Axial force of grout body, t |
| Model 1 | - | 37.27*10 ⁻³ | 14.16 | - | - |
| Model 2 | 8+3 | 3.42*10 ⁻³ | 19.67 | 6.58*10 ⁻³ | 7.52 |
| Model 3 | 13+8 | 2.09*10 ⁻³ | 15.78 | 4.45*10 ⁻³ | 7.73 |
| Model 4 | 15+10 | 2.59*10 ⁻³ | 15.93 | 5.16*10 ⁻³ | 7.84 |
| Model 5 | 18+13 | 3.12*10 ⁻³ | 9.24 | 4.24*10 ⁻³ | 6.55 |

Table 10. Comparison analysis

Note: the Displacement in Model No.13 is >35 mm which means failure will happen

Conclusion.

- 1- According to the calculation results the excavation project require Anchor installation because the displacement of wall piles was more than 35mm that will cause of wall failure in future
- 2- Datum That derived from Plaxis simulation programe showed that the installation angle of Anchor that were (25°) for the first row and (45°) for secondary row was suitable for implementing it for withstanding piles in this project.
- 3- However the lengths used for anchors in the simulation the results were positive that the maximum displacement recorded in model NO.2 were the displacement = 0.34 cm while in the model NO.3 the minimum displacement were recorded in which it was = 0.2 cm

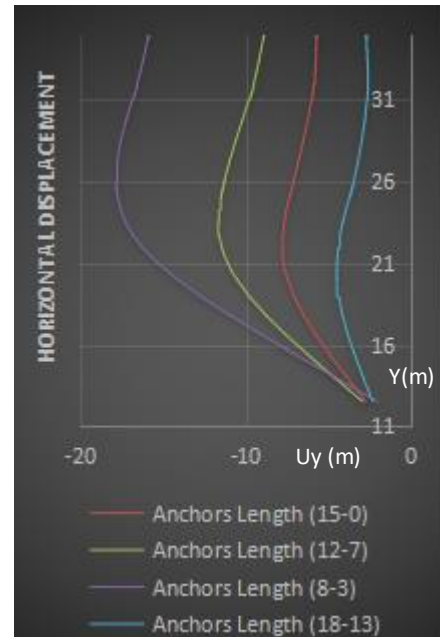


Chart 1. Horizontal displacement

- 4- One of the good and positive points in this soil condition was type of soil layers where all were contained sandy combination so it will allow water penetration to go downward and doesn't save it within their layers, that was minimized the underground water problem because water doesn't stand in excavation and construction territory.
- 5- In general the all 4 models of calculation were suitable for the project so choosing the best one is stand on (time + cost) of installation as for the cost however the length of anchor the more the cost we face also the more time need for installing it. At the same time the type of soil layers in this excavation condition known for it is stiffness with high strength that is why when we simulate the project without anchors the displacement of the pile was so close to standard value by the different only 2-3 cm in which was 37.2 cm so the anchor use doesn't require too length as we mentioned all types was in accept range so by taking into consideration the typology of soil layers, cost and time also estimating for future risks and different loads in surroundings we obligating to use the model NO.4 with the anchor length 13+8.

UDC 622.24

Benjamin Emeh-Laz Chimnonso

Department of electromechanical equipment for energy intensive industries

IMPROVING ENERGY EFFICIENCY OF DRILLING IN CONDITIONS OF GRANITE QUARRY

The article reports on the studies of how the efficiency of granite extraction at quarries can be increased by means of improving the drilling processes and factors such as feed rate, compression resistance. The author investigates drilling methods and the dependence of energy consumption on feed rate. A comparative analysis of drilling rig performance improvement depending on the feed rate is presented.

Key words: *drilling efficiency, rock destruction, granite quarry, drilling method, compressed core*

Introduction. Natural stones, such as marble, granite, limestone are traditional high-quality materials are widely used in construction and constitute an important source of economic wealth. The international natural stone quarry production sums up to 68.7 million tonnes per annum and is characterised as a low-tech, traditional sector with fragmented commercial activities and small size of companies [1].

Speaking about granite extraction, electrical energy, cooling water and steel are the major industrial requirements [2]. The resource efficiency of granite production chain is 0.31 [2]. Diesel fuel combustion for transport activities is the greatest contributor to GHGs emissions (68 %) compared to the purchased electricity and explosion process, with 31 % and 1 %, respectively [3].

Ukraine annually extracts about 104 million tonnes of granite; however, the domestic mining industry still uses energy intensive techniques [4]. The growth rate of Ukraine's economy at the present stage depends to a large extent on the volume of mineral production. The development of domestic mining should be based on modern energy efficient technologies and processes of destruction of rocks. Implementation of the EC directives for building products and for energy efficiency in buildings impose the requirement for evaluation and reduction of the energy consumption in stone quarries. Therefore, despite minor share of drilling processes in total energy consumption for granite extraction, it is actual to improve their energy and resource efficiency. Furthermore, in open cut operations the need to be competitive with world markets has place a heavy demand to be able to drill and blast considerable tonnages of ore in the quickest possible times [5].

When granite stone mining is carried out by a drill-blasting method, the drilling efficiency plays a major role. There are many factors of the drilling performance, for example, blast pattern [6], tools [7], pre-existing cracks [8] etc.

Purpose and objectives of the research. The purpose of this research is the increasing the efficiency of granite extraction at quarries by means of improving the drilling processes.

An object of the research is the process of drilling the granite in conditions of quarry.

A subject of the research is formation of compressed core in drilling process and its influence of energy consumption.

Objectives of the research:

1. To identify methods of drilling the granite.
2. To develop the mathematical model of drilling process taking into consideration the formation of compressed core.

3. To provide practical recommendations for energy efficient drilling.

Research materials and results. The following schemes of rock destruction are used for the extraction of granite blocks on quarries: drilling and blasting method, thermal destruction, separation of blocks by circular or string saws, wedge (halocline, pneumatic-liner), non-explosive method of destruction (see the full list in (Fig. 1)).

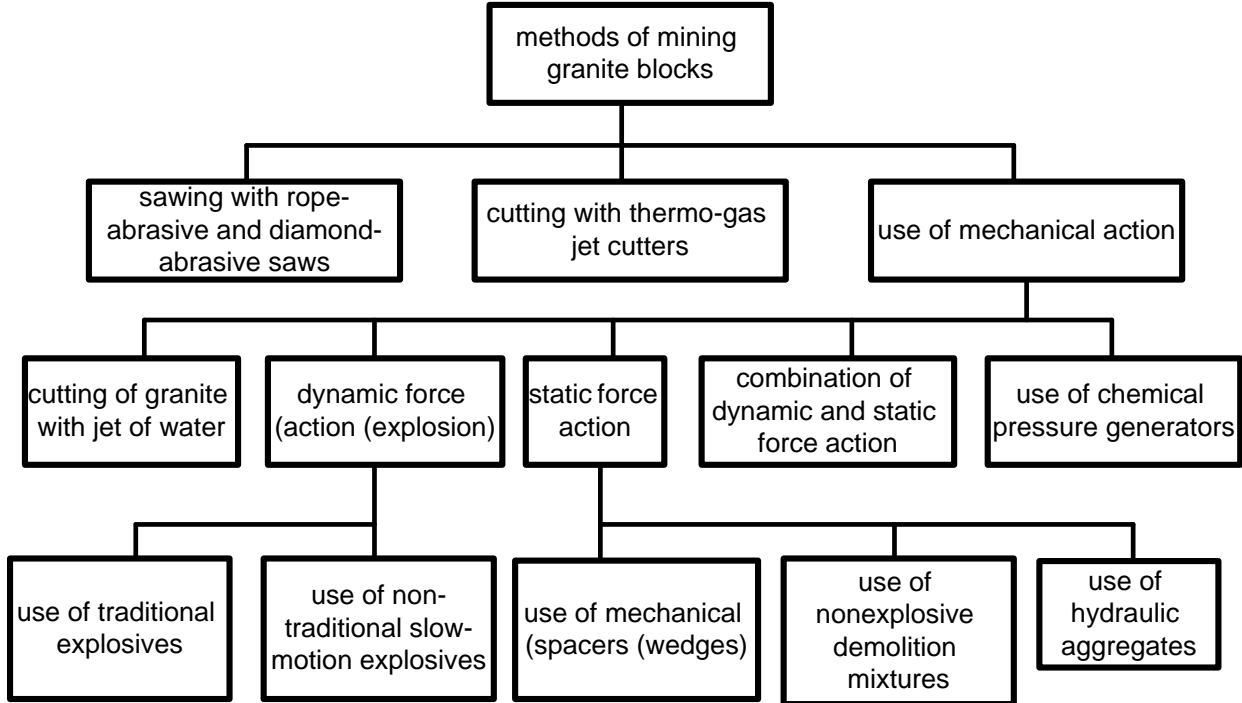


Figure 1 – Methods of mining the granite

In this paper, drilling and blasting method (and drilling in particular) are investigated.

Drilling rigs are one of the main energy consumers at quarries. The power consumption of drilling rigs could reach to 20-25% of the total consumption at quarry. The specific consumption of electricity for drilling rigs of various types is determined by the category of drilling of rocks, the mode of operation of the machine, etc.

For drilling, the result is the length of well, so the productivity of the process is measured in m/h (or in m³/h). The tool life is the number in meters when it should be replaced. One of the most widely used drilling rig for granite quarries is SBSH-250. Productivity of this drilling rig is 10-15 m/h for rocks with the strength f=10-14 (according to prof. Protodyakonov's scale). The drilling tool resource is 10-15 m with pneumatic cleaning and 15-30 m with water cleaning. SBSH-250 has the main drive of the rotator with a capacity of 60 kW, the compressor - 200 kW and a number of auxiliary drives. Total installed capacity is 386 kW. [9]

Theoretical productivity if the drilling rig, m³/h:

$$\Pi = S_p \cdot v_c, \quad (1)$$

S_p – well area, m;

v_c – feed rate, m/h.

Calculated volume for deepest well V_d , m³:

$$V_d = S_p \cdot h, \quad (2)$$

h - maximum depth of drilling, m.

Using the expressions (1) and (2), the theoretical time for drilling the maximum volume of the rock mass is calculated as T_d , hours:

$$T_d = \frac{\Pi}{V_d}, \quad (3)$$

According to [10], the depth of compressed core h_c , m:

$$h_c = \frac{\sqrt{N_{\Pi}^2 + N_P^2} \cdot \ln \left[(0.00013 \cdot E)^{1.67} \cdot \pi \cdot (1 - \nu^2) / (0.152 \cdot E) \right]}{28.2 \cdot a_{K1} \cdot (0.0083 \cdot E \cdot \eta_P \cdot N_i \cdot \sqrt{V_{\Pi}^2 + V_P^2})}, \quad (4)$$

N_{Π} and N_P – the average feed power and cutting power respectively, W;

E – modulus of elasticity of the first kind, Pa;

ν – Poisson's ratio, r.u.;

a_{K1} – contacting width of the tool, m;

η_P – cutting efficiency, r.u.;

N_i – number of tools according to the scheme of the impact, pcs;

V_n – feed rate, m/s;

V_p – cutting rate, m/s;

Volume of compressed core V_c , m³ [11]:

$$V_c = h_c^3 \cdot 1.45 \cdot k \cdot m, \quad (5)$$

k – number of inserts at the cone that are instantly pressed against the massif, pcs;

m – number of cones in the bit, pcs.

Specific energy consumption on drilling, kWh/m³:

$$q = \frac{\sqrt{N_{\Pi}^2 + N_P^2} \cdot T_d}{(V_d - V_c)} \quad (6)$$

Drilling productivity, m³/h:

$$\Pi = \frac{V_d - V_c}{T_d} \quad (7)$$

Using (1-7), the specific energy consumption and drilling productivity were calculated (see Table 1) for natural rock with the tensile strength of compression at 5.0 MPa, modulus of elasticity at 0.8 GPA, and Poisson's ratio at 0.3. Dependence of productivity and specific energy consumption on the feed rate is shown in Fig. 2.

Table 1 – Calculation results

| | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Feed rate V_n , m/s | - | 0.003 | 0.006 | 0.008 | 0.011 | 0.014 | 0.017 |
| Average depth of compressed core h_c , m | 0.005 | 0.086 | 0.074 | 0.056 | 0.042 | 0.034 | 0.028 |
| Volume of compressed core V_c , m ³ | 0.254 | 0.162 | 0.069 | 0.030 | 0.015 | 0.009 | 0.005 |
| Specific energy consumption on drilling q , kWh/m ³ | 878.86 | 819.14 | 765.70 | 745.64 | 737.99 | 734.67 | 732.90 |
| Drilling productivity Π , m ³ /h | 0.6643 | 0.7127 | 0.7624 | 0.7830 | 0.7911 | 0.7947 | 0.7966 |

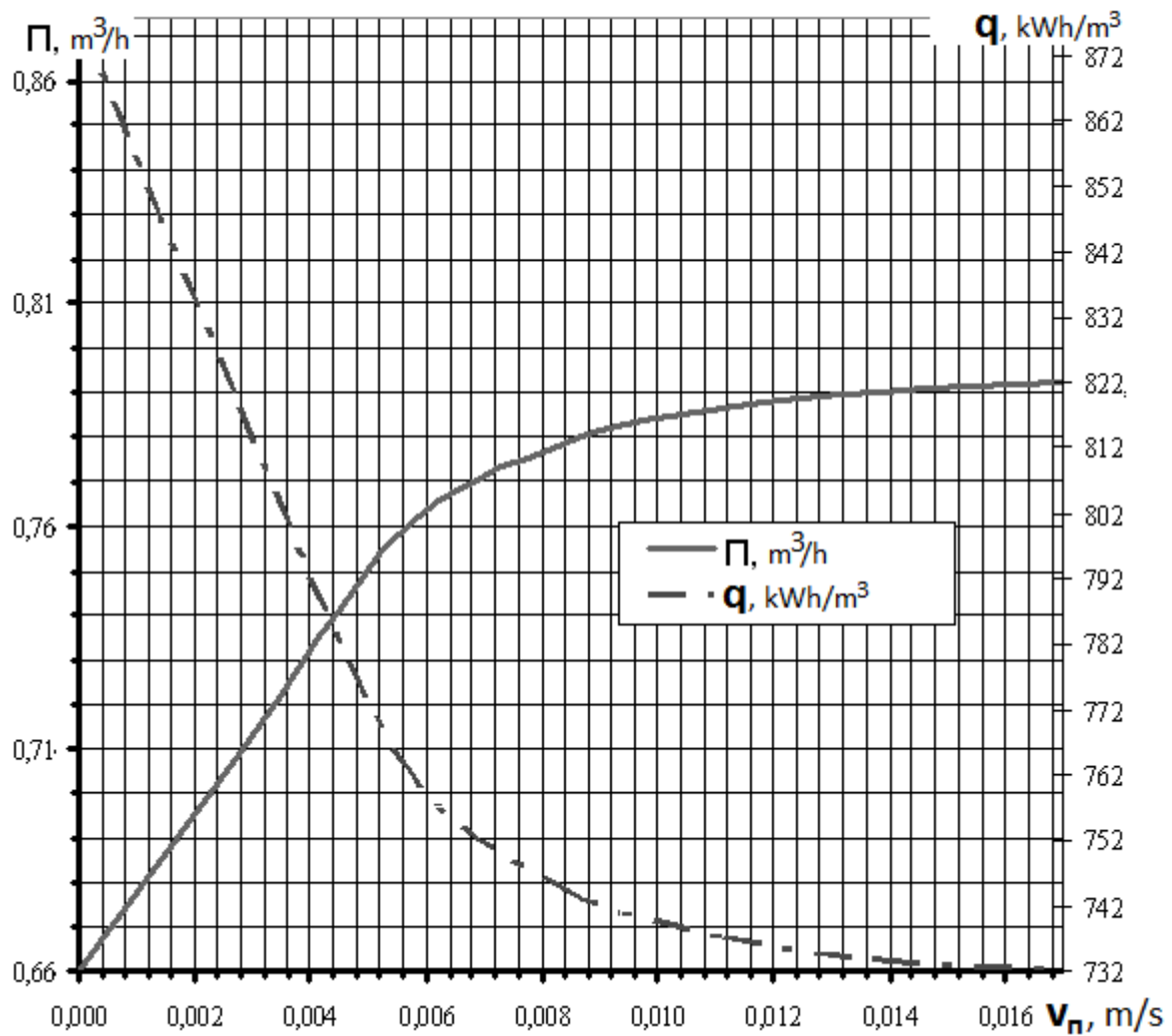


Figure 2 – Productivity and specific energy consumption depending on the feed rate

It is established that the dependence of the drilling capacity of the rock mass on the feed rate of the SBS - 250 MNA – 32 machine changes according to the semi-cubic parabola rule and has two characteristic sections. The first section - when the feed rate changes from 0.002 to 0.006 m / s, productivity increases rapidly from 0.66 to 0.78 m³ / h. Second section - with further feed rates up to 0.016 m / s, productivity increases more slowly and reaches 0.79 m³ / h.

Therefore it is established that dependence of the specific energy intensity of drilling of the rock mass is inversely proportional to the hyperbolic law and has two characteristic sections. The first section - when the feed rate changes from 0.002 to 0.006 m / s specific energy intensity rapidly decreases from 872.9 to 752.9 kW / h / m³. Second section - with further increased feed speeds up to 0.016 m / s specific drilling power consumption decreases more slowly and reaches 732.9 kW • h / m³.

Conclusion. Drilling is the one of rational methods of granite mining. Its performance depends on various factors, for example feed rate, compression resistance of natural rocks,

forming the compressed cores etc. Developed mathematical model allows us to identify specific energy consumption of drilling taking into consideration the formation of the compressed core.

When drilling a rock mass with a compression strength of 5.0 MPa, a modulus of elasticity of 0.8 GPa, a Poisson ratio of 0.3 drilling rig SBSH-250, it is advisable to maintain the feed rate of the machine 0.004 m / s, in this mode the productivity is 0.74 m³ / h and specific drilling power consumption will not exceed 787 kW • h / m³.

References:

1. Founti M.A., Giannopoulos D., Laskaridis K. Environmental Management Aspects for Energy Saving in Natural Stone Quarries / Global Stone Congress, 2010.
2. Mendoza JM.F., Feced M., Feijoo G. et al. Life cycle inventory analysis of granite production from cradle to gate / The International Journal of Life Cycle Assessment, 2014, Volume 19, Issue 1, pp. 153-165.
3. Kittipongvises S., Chavalparit O., Sutthirat C. Greenhouse Gases and Energy Intensity of Granite Rock Mining Operations in Thailand: A Case of Industrial Rock-Construction / Environmental and Climate Technologies, 2016, Vol. 18, pp. 64-75.
4. Terentyev O.M., Streltsova I.N., Kleshchev A.J. Mechanism of creating the prefracture zone of rock formations with magnetic and hydrocavitation load / Metallurgical and Mining Industry, 2015, No. 4, pp. 353-355.
5. Messaoud L. Influence of Fluids on the Essential Parameters of Rotary Percussive Drilling / Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 2009, Volume 14, Bundle G, pp. 1-8.
6. Saliu M.A., Akande J.M. Drilling and Blasting Pattern Selection for Fragmentation Optimization in Raycon Quarry Ore, Ondo State / Journal of Engineering and Applied Science, 2007, Vol. 2 (12), pp. 1768-1773.
7. Neugebauer R., Schubert A., Reichmann B. et al. Influence exerted by tool properties on the energy efficiency during drilling and turning operations / CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2011, Vol. 4, Issue 2, pp. 161-169.
8. Saadati M., Forquin P., Weddfelt K. et al. Granite rock fragmentation at percussive drilling - experimental and numerical investigation / International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 2014, 38 (8), pp.828-843.
9. SBSH-250MNA-32 machine. TU 2.08 2358-84: in 2 h 1993. Part 1: Technical description and instruction manual. 91-00.00.0000 MOT - 127 p.
10. Terentyev OM technical physics bases of mineral extraction with energy-saving destruction of molecular bonds of rocks [Text]: Abstract. diss. dt n: 05.15.03: protected 25.04.2009 - K., 2008. - 48 p.
11. Terentyev OM, Mozharovskaya OA, Trushevsky AV etc. Increase of energy saving of process of destruction of rocks by the machine SBSH-250 MNA-32 due to redistribution of energy on formation of a core of consolidation and formation of shaving / mining electromechanics and automatics. - №83, 2009. - p. 144-150.

UDC 621.31

DANGO Ibrahima
Power Supply Department¹

ANALYSIS OF ELECTRICITY LOSSES IN TRANSMISSION AND DISTRIBUTION GRIDS IN SENEGAL

Abstract. *One of the main objectives of the energy economy is the reduction of energy losses on the electricity grid. These losses have different nature and may be classified as technical losses and not technical ones. Reducing these losses contributes to lowering the price of electricity for consumers but also to improve the stability of the network. However, in the absence of reliable data on production, we will analyze in this article the losses related to transport and distribution because we cannot conduct an exhaustive study on the generalized losses on the electricity network without production losses.*

Key words: *Transmission losses, distribution losses, electricity access, technical losses*

Introduction. Access to electricity is a crucial issue because it is today the social and societal lung of any type of development. Without a mastery of electricity, we cannot claim to reduce poverty, improve health, access to drinking water, contribute to education, and protect the environment. The electricity grid is a complex and incredibly important system that should be considered as part of an integrated electricity market system [1-2]. The effective operation of the business-model for consumer-centric electricity market with the wide-spreading renewable energy sources is one of the most challenge and important efforts of the modern era for decision-makers in policy, regulation and business [3-4].

There is a problem that is one of the most relevant and needs to be solved in order to apply this new approach for electricity market design in Senegal. This problem is a reduction of losses during electricity transmitting to a variety of facilities often over long distances and distributing it to end users. As mentioned in [5-6] investigation of value and causes of technological losses will lead to new regulatory decisions and organizational measures to support the investment activity and to improve the efficiency of grids operation.

Purpose and objectives of the research is to analyze the energy situation of Senegal in terms of loss of electricity in transmission and distribution for improving efficiency of grids operation.

To reach the purpose the set of tasks was considered:

- to make the overview of the types of electricity losses in Senegal;
- to analyze the total losses in grids of Senegal during 2004-2014;
- to define the causes of losses and propose recommendation for improving efficiency of grids operation.

Research materials and results. The object of research considered in the paper is related to the transmission and distribution processes in the grids and the subject of research is devoted to the electricity losses during these processes in Senegal. It is well known that the losses may be classified either as the technical losses or non-technical ones. However, it must be noted, that a separate study of the different types of losses is not provided in this paper. The reason is that after finding the causes of these losses, we will advocate solutions to save electricity. It will increase opportunities to facilitate access to electricity to those who do not have.

Overview of the types of electricity losses in Senegal

Power plants' planning in a way to meet the power network load demand is one of the most important and essential issues in power systems. Transmission lines connect generation plants and substations in power network and the exploration, calculation and decrease of transmission and distribution losses in these power networks impact on decisions about the measures directed on improving the efficiency of grids operation.

The difference between the generated electricity and electricity, which is distributed to consumers, is known as transmission and distribution losses. [7]:

Distribution sector considered as the weakest link in the entire power sector. Transmission losses is approximate 17% while Distribution Losses is approximate 50%.

There are two types of transmission and distribution losses.

The technical losses are due to energy dissipated in the conductors, equipment used for transmission line, transformer, sub-transmission line and distribution line and magnetic losses in transformers [8]. The technical losses consist of the corona loss, Joule effect, magnetic losses, and skin effect. While the non-technical (commercial) losses include theft of electricity, vandalism to electrical substations, poor meter reading, poor accounting and record keeping, etc.

Non-technical losses (commercial losses), on the other hand, are caused by actions external to the power system or are caused by loads and condition that the Technical losses computation failed to take into account. Non-technical losses are more difficult to measure because these losses are often unaccounted for by the system operators and thus have no recorded information [9].

| Years | Production, GWh | Grid losses, % of production | Values of losses, GWh |
|--------------------|-----------------|------------------------------|-----------------------|
| 2004 | 1872 | 32,995 | 617,6664 |
| 2005 | 2080 | 30,149 | 627,0992 |
| 2006 | 2095 | 25,543 | 535,1259 |
| 2007 | 2306 | 19,014 | 438,4628 |
| 2008 | 2401 | 30,554 | 733,6015 |
| 2009 | 2489 | 16,97 | 422,3833 |
| 2010 | 2618 | 16,385 | 428,9593 |
| 2011 | 2560,1 | 15,709 | 402,1661 |
| 2012 | 2917,1 | 16,29 | 475,1956 |
| 2013 | 3037,9 | 16,653 | 505,9015 |
| 2014 | 3227,3 | 12,867 | 415,2567 |
| Total for 11 years | 27603,4 | 20,29394 | 5601,818 |

Table 1. Electricity losses in the grid in Senegal

SOURCE: International Energy Agency (IEA Statistics © OECD / IEA, iea.org/stats/index.asp), Energy Statistics and Balances of Non-OECD Countries, and Energy Statistics of OECD Member Countries the OECD and the United Nations Statistical Yearbook on Energy. ; Rapport SENELEC, CRSE

For the entire electrical system, from production to distribution, the threshold of overall losses considered as acceptable for international experts is between 15 and 16%. This percentage includes technical losses and losses non-technical.

In this specific case of Senegal (see Figure 1), the losses recorded are only those related to transmission and distribution, it is clear that in some years (2004, 2005) these losses far exceed the standards recorded (doubled the norm), and during these 11 years, Senegal is struggling to reduce these losses and thus favor a drop in the electricity price and a large extension of the network in the country. This is explained by several phenomena:

Main Reasons in the transmission the 90kV network of Senelec lacks guaranteed power at the level of major posts. The defects are many and give rise to many repairs to the detriment a well-programmed maintenance. Environmental security is aggravated by the fact that there is no regular and rigorous monitoring of the evolution of habitat near the operating infrastructure and corridors of airlines [10].

Main Reasons in the distribution side Indeed, the network is old, undersized and has low reconfiguration capacity in case of major disturbances. The stations as well as feeders are at the limit of saturation by the conjunction of a general increase in charges and an absence screaming investment over a period relatively long. The network is weakly automated; which makes it difficult to manage in real time and complicates its operation. The operation and maintenance of the network are subject to strong constraints related to the lack of resources, the lack of training of staff, the inconsistency of procedures and the postponement systematic investment budgets [10].

Moreover endogenous factors (poor control of billing, dishonest agents, etc.) and exogenous (fraudulent use of energy, etc.) to distribution companies are considered. In addition, the means to fight them and reduce them are to imagine. Measurements and controls on the ground are part of these means. These are relatively difficult and complex operations require organization and method. According to Mouhamadou Makhtar Cissé (ex General Manager of Senelec 2017), annual losses related to electricity fraud are estimated at around 27 billion CFA francs (\$ 45525564,00).

This enormous cost of losses could be used for the construction of a photovoltaic power plant of industrial size of 22MW minimum (if we refer to the construction of the Malicounda power plant in western, Senegal and which had cost \$ 37123746)

Conclusion. In a context of scarcity of investors in the electricity sector in Senegal, a new strategy of management of electrical systems is an emergency if we want to claim universal access to electricity for all citizens. Regular control and systematic of the electrical network, as well as the automation of the network, then become a requirement to optimize and improve the electrical network.

However, to achieve such goals, all actors in the electricity sector must be involved as well as a legally strong to support the control structures

References:

1. Integrated Electricity Market System /Strelkov M., Strelkova H., Ishchenko O. //2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). – IEEE, 2019. – С. 359-364.
2. Topological approach to analysis of electricity market design / Strelkova H., Strelkov M., Dango I. // Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку. Збірник наукових праць VI Міжнародної науково-технічної та навчально-методичної

конференції у місті Києві 04-07 червня 2019 р. – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 77-78.

3. Models and structures for consumer-centric electricity market / Strelkova H., Strelkov M. // Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку. Збірник наукових праць VI Міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференції у місті Києві 04-07 червня 2019 р. – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 79-80.

4. Prerequisites for Regulatory Innovations in Ukraine under Renewable Energy Sector Development / Strelkova H., Ghaderi A., Strelkov M., Ishchenko O.// 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). – IEEE, 2019. – С. 365-370.

5. Стрелкова Г.Г., Пустовойтов А.М. Технічний стан та перспективи розвитку розподільних електричних мереж України // Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку. Збірник наукових праць V Міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференції у місті Києві 17-19 квітня 2018 р. – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – С.50-51.

6. Стрелкова Г.Г., Пустовойтов А.М. Аналіз технологічних витрат електричної енергії в розподільних електричних мережах України // Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку. Збірник наукових праць V Міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференції у місті Києві 17-19 квітня 2018 р. – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – С.48-49.

7. Shahzad Bhatti , Nasir Gardezi , Shaun Ul Haq , Ahsan Javaid, Electric Power Transmission and Distribution Losses Overview and Minimization in Pakistan https://www.researchgate.net/publication/276269221_Electric_Power_Transmission_and_Distribution_Losses_Overview_and_Minimization_in_Pakistan

8. Eep. “Total Losses in Power Distribution and Transmission Lines: EEP.” EEP - Electrical Engineering Portal, 21 Dec. 2017, electrical-engineering-portal.com/total-losses-in-power-distribution-and-transmission-lines-1.

9. J.P Navani , N.K Sharma, Sonal Sapra TECHNICAL AND NON-TECHNICAL LOSSES IN POWER SYSTEM AND ITS ECONOMIC CONSEQUENCE IN INDIAN ECONOMY International Journal of Electronics and Computer Science Engineering Available Online at www.ijecse.org

10. CRSE AUDIT DE LA SECURITE D'APPROVISIONNEMENT EN ENERGIE ELECTRIQUE DU SENEGAL Arona Rachid NIANG et Associés <http://www.crse.sn/sites/default/files/2017-04/AuditCrse-2005.pdf>

UDC 621.311

Richard Sharadze
Power Supply Department**OPTIMAL DEVELOPMENT OF ENERGY GENERATION IN UKRAINE**

The article discusses the main scenarios for the development of energy generating capacities of Ukraine. The electric industry of the country and the main directions of its development are characterized. The change in the modes of consumption and production of electricity in the UES of Ukraine is analyzed. The main types of sources of electricity and their problems are described. The forecasts of the development of generating capacities using Strategies are investigated. The necessity of using multiple regression analysis to assess the relationship between factors is justified.

Keywords: energy, electric industry, generating capacity, consumption modes, energy network, strategy, regression analysis.

Introduction:

Electricity is a leading field of energy, which provides for the production of electricity at power plants and its delivery. Humanity's demand for electricity is increasing every year, and the reserves of natural fuels (oil, coal, gas, etc.) and nuclear fuel (uranium and thorium to produce plutonium in reactors) are exhausted. Therefore, today it is very important to find profitable sources of electric energy, both cheap and simple in design, operation, low cost of materials necessary for the construction of durable stations.

Purpose and objectives of the research:

The task and purpose of the study is to analyze the development scenarios of generating capacities and select the best option. Building a regression analysis model to assess the relationship between factors.

Research materials and results:

The main components of the electric power system are:

The electric power industry, as one of the basic sectors of the Ukrainian economy, has been successfully fulfilling its functions for a long period of time, despite the lack of sufficient financial resources, the mismatch of prices and tariffs with the real costs of generating and supplying electricity to consumers. But today, the technological level and depreciation of electric power equipment has already reached a critical point, when its further operation carries significant risks not only in fulfilling the main function - providing the economy and the population with electricity, but also about the occurrence of industrial accidents, uncontrolled increase in the cost of electricity, increase in specific fuel consumption and aggravation of environmental issues. That is, not reforming the electric power industry can slow down the development of projected economic growth. Updates to the fixed assets of the electric power industry today cannot be provided at the expense of the state, so the only way out of the crisis is to attract investment and credit, especially foreign ones. But for the necessary investment by investors in Ukraine, there are significant risks due to both the scale of the funds and the unfavorable investment climate.

Analysis of changes in levels, modes of consumption and production of electricity in the UES of Ukraine:

Electricity consumption in the network is uneven, which is a serious problem for the Ukrainian energy sector. Typically, the maximum consumption occurs at 10 am and 6 pm, and at least at three in the morning. The total installed capacity of power plants in the United Energy System of Ukraine reaches almost 55 GW. However, in reality, this power was never used, and at the moment the maximum load during the peak hours of the coldest winter days does not exceed 23 GW, that is, half of the installed capacity.

Electricity consumption in Ukraine is uneven throughout the year, primarily determined by temperature changes (Fig. 1.1 - 1.2).

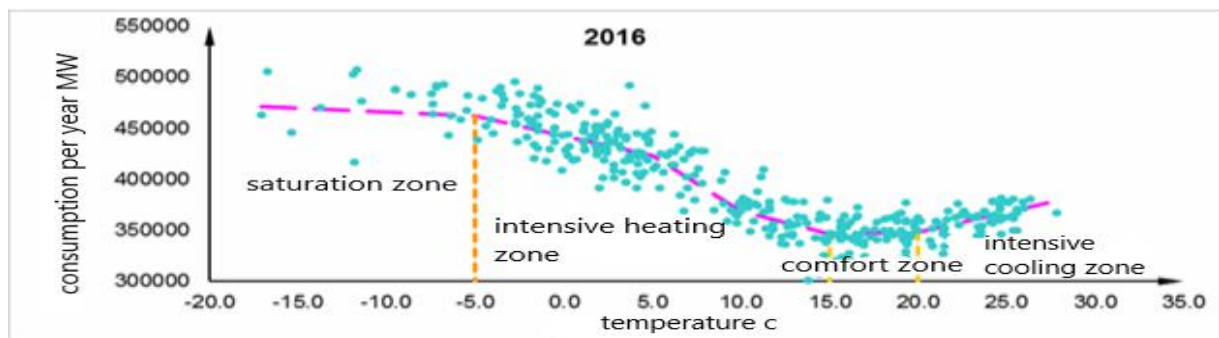


Figure 1.1 - Electricity consumption in the UES of Ukraine in 2016, depending on air temperature

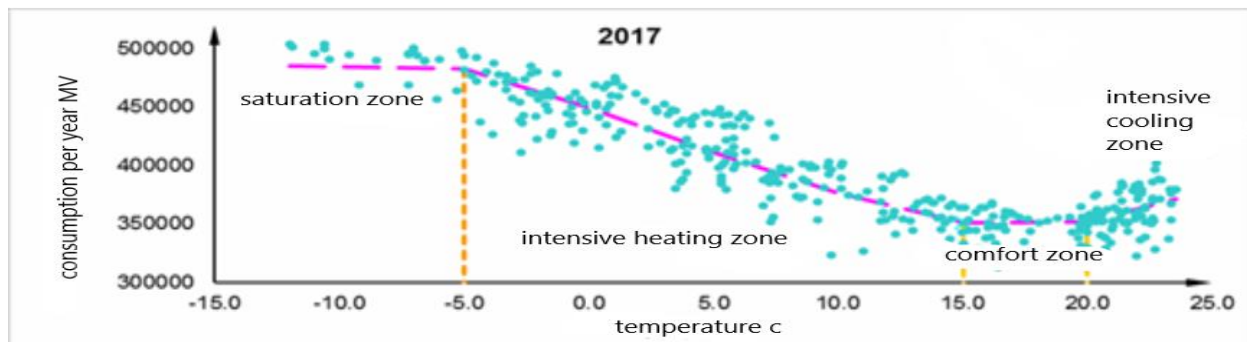


Figure 1.2 - Electricity consumption in the UES of Ukraine in 2017, depending on air temperature

regression analysis:

The first step in creating a model is the selection of factors that must be taken into account when making a forecast and affecting the forecast; taking into account a large number of factors when making a forecast increases the accuracy of the forecast.

For a more accurate result, it was necessary to analyze as many of these factors as possible. At the same time, attention was paid to their availability. Some data is easily accessible, for example, they can be extracted from existing information systems, they are stored in archive databases and are easy to receive. But there is information that is easy to collect, including information on long past years, which needed to be studied to study the dynamics of changes in processes. Based on this data, it is possible to predict electricity consumption. The second step in creating the model is to select the statistical method that will be used in the mathematical model to build the forecast.

Thermal Power Plants

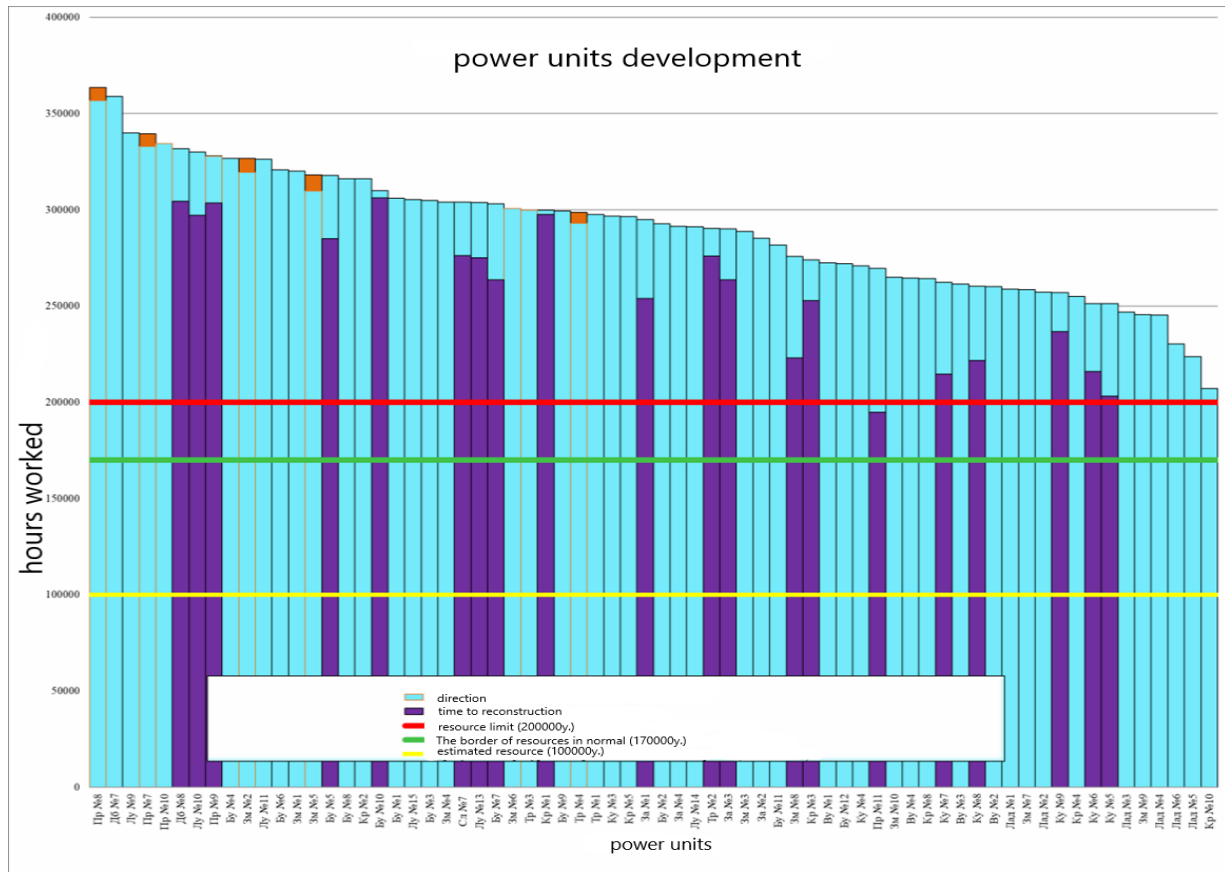


Figure 2.1 - the life of the TPP in 2018, the operating time of the power unit

Nuclear power

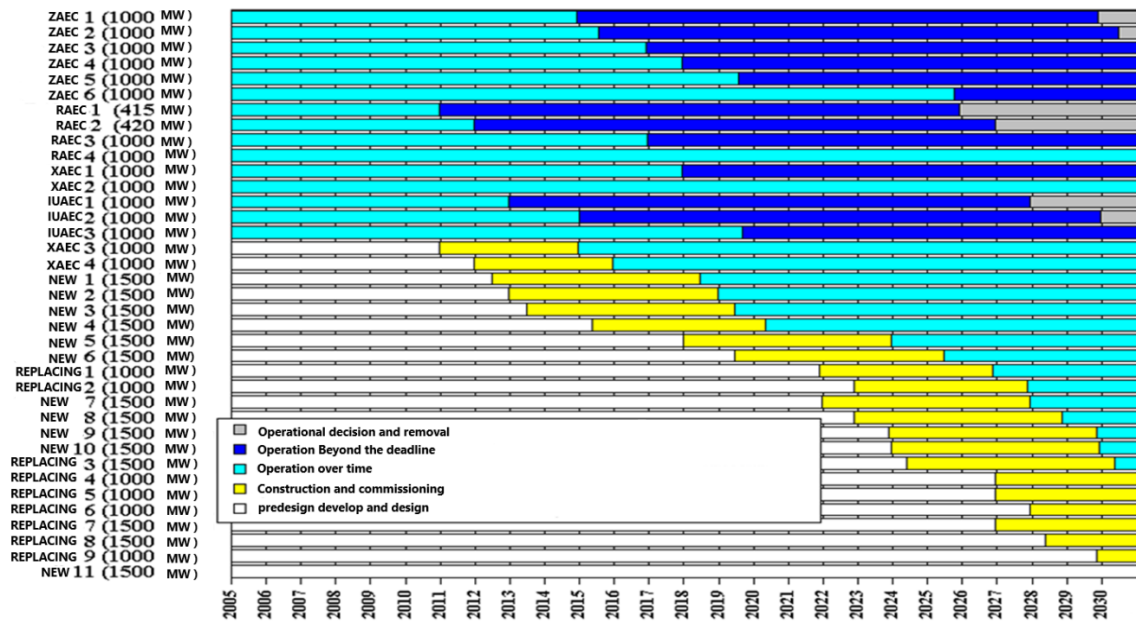


Figure 2.1 - the life of the NPP station from 2005-2030.

Scenarios

| Generation scenarios | Group of scenarios for economic development | Generation development concept | EPP development |
|--|---|--------------------------------|---------------------------------------|
| Atomic-gas scenarios of low-carbon economic development in RES development according to adjusted NPP indicators (AGS_NP_NES) | GSNR | atomic gas | adjusted assessment of NES indicators |
| Atomic-gas scenarios of low-carbon economy development with RES development according to the most ambitious goals (AGS_NR_MAC) | GSNR | atomic gas | Maximum development |
| Atomic-Coal Neoprotection Scenarios (ABC_NP) | SNLP | nuclear coal | moderate |
| Atomic-coal scenarios of inertia-optimistic economic development (ABC_IOR) | GIOS | nuclear coal | moderate |
| Coal-gas scenarios of inertia-optimistic economic development (HCG_IOR) | GIOS | coal and gas | moderate |
| Atomic-gas scenarios of inertial-pessimistic economic development (AGS_IPR) | GYPS | nuclear gas | adjusted estimate of NES indicators |
| Gas scenarios of inertia-pessimistic economic development (GS_IPR) | GYPS | gas | adjusted estimate of NES indicators |

Conclusion:

Nuclear energy is the basis of Ukraine's energy. Atomic energy is one of the cleanest (from an environmental point of view) production methods. Today, the achieved level of safety of nuclear power plants is quite acceptable. Mankind has substitutes for nuclear energy, but they require great expenses and efforts to achieve the same efficiency as nuclear power plants.

Prospects for the future. It is worth looking at the use of nuclear energy itself as a whole. This may be a change in the concept of energy generation or the abandonment of this technology and the use of alternatives that can replace nuclear power plants without loss of efficiency.

1. Completion and commissioning of power units of high degree of readiness.
2. Construction and commissioning of power units for which projects were developed and construction began in 2000.
3. Replacement of power units that are retiring at the end of their useful life from 2011 to 2027.

In Ukraine, ensuring the necessary stability of the energy system is associated with significant difficulties due to the shortage of reserve maneuvering capacities. With the growth of capacities of SES and wind farm, the difficulties and problems of ensuring the reliability of the power system will increase.

Nevertheless, renewable energy should be a priority in the further development of Ukraine's energy, because this is what is happening around the world.

Reference:

1. Energy Strategy of Ukraine until 2035
2. projects.censor [Электронный ресурс] – Access mode: <https://projects.censor.net.ua/energy/>
3. probability.univ.kiev.ua [Электронный ресурс] – Access mode: <http://probability.univ.kiev.ua/index.php?page=userinfo&person=mre&lan=ru>
4. ua.energy [Электронный ресурс] – Access mode: <https://ua.energy/majbutnye-ukrenergo/plan-rozvytku-oes-ukrayiny/zvit-z-otsinky-vidpovidnosti-dostatnosti-generuyuchyh-potuzhnostej>

УДК 621.313.17

Васькевич О.П.
Національний технічний університет
«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРНО-АСИНХРОННОЇ СИСТЕМИ ПРИВОДУ ЗАНУРЕНОГО ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСУ

Анотація. В роботі проведено опис трансформаторно-асинхронної системи приводу зануреного відцентрового насоса яка дозволяє підвищити надійність приводу та забезпечити довготривалість його роботи. Модернізацією є те що до корпусу заглибного відцентрового електронасосу, через муфту приєднується трансформаторно асинхронна система, яка являє собою трансформатор, який через спеціальні гермоводи з'єднаний з магнітопроводом статора двигуна за допомогою мідних стрижнів.

Ключові слова: трансформатор, гермоводи, відцентровий насос, обертове магнітне поле, герметизація, магнітопровід, багатовиткова обмотка.

Abstract. The paper describes the transformer-asynchronous drive system of a submersible centrifugal pump, which allows to increase the reliability of the drive and to ensure the durability of its operation. The modernization is that a transformer asynchronous system is connected to the body of the submersible centrifugal electric pump through a coupling, which is a transformer, which is connected to the motor stator wire by means of copper rods through special hermetics.

Keywords: transformer, pressurized water, centrifugal pump, rotating magnetic field, sealing, magnetic circuit, multi-turn winding.

Одним з різновидів механізованого способу експлуатації нафтових свердловин є насосний спосіб за допомогою відцентрових насосів, в яких використовується асинхронний двигун в якості приводу. Головною проблемою існуючих двигунів є вразливість багатовиткової обмотки приводного двигуна, висока вартість ремонту, обумовлена труднощами технічного обслуговування, а також малий ресурс герметичного ущільнення валу, що обертається, і як наслідок недостатня надійність всього електронасосу в наслідок цього. Це призводить до значних матеріальних при частому ремонті, адже процес підйому і опускання обладнання з свердловини є багатозатратним.

Дану проблему може вирішити трансформаторно-асинхронна система.

В основу модернізації поставлено задачу обмеження контактування робочої рідини з багатовитковою обмоткою приводного двигуна і збільшення його надійності внаслідок цього.

Поставлена задача вирішується тим, що до корпусу заглибного відцентрового електронасосу, через муфту приєднується трансформаторно асинхронна система, яка являє собою трансформатор, який через спеціальні гермоводи з'єднаний з магнітопроводом статора двигуна за допомогою мідних стрижнів. Виконання приводу заглибного відцентрового електронасосу у вигляді трансформаторно-асинхронної значно підвищує його надійність, завдяки виконанні обмотки АД одновитковою стрижневою, і герметичному виконанні багатовиткової обмотки трансформатора.

На рис. 1 зображено вигляд з боку конструкції двигуна заглибного відцентрового електронасосу з трансформаторно-асинхронною системою.

Трансформаторно асинхронна система (рис. 1) містить мідні стрижні 1, трансформатор перетворювача числа фаз 2, вал двигуна 3, пакет ротора 4, магнітопровід статора 5, підшипник 6, з'єднувальна муфта 7, насос 8. В середині магнітопроводів розташовані мідні стержні, які з'єднують магнітопроводи трансформатора та двигуна.

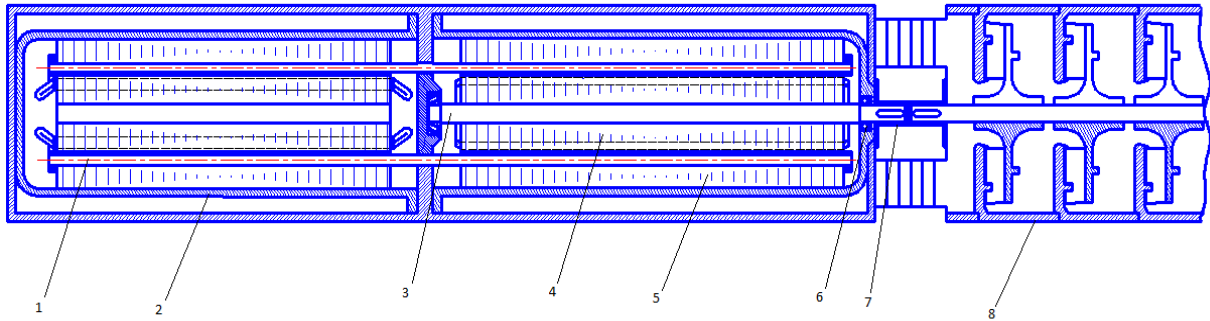


Рисунок 1 - Заглибний відцентровий електронасос з трансформаторно-асинхронною системою.

Двигун працює наступним чином. Обертове магнітне поле, створене трансформатором 2 проходить через стрижні 1, і наводить обертове магнітне поле в магнітопроводі двигуна 5. Це поле, проходячи через пакет ротора 4, наводить в його короткозамкненій обмотці ЕРС і створює електромагнітний момент, який обертає ротор, аналогічно звичайному асинхронному двигуну з короткозамкненим ротором.

Висновок: Розроблено систему яка дозволяє підвищити надійність та довготривалість роботи приводу зануреного відцентрового насосу. Конструкція вище описаного двигуна призначена для герметизованих об'єктів, тобто встановлення його в якості приводу є доцільним з точки зору збільшення надійності всієї насосної установки та збільшення міжремонтного періоду обладнання свердловини.

УДК 621.311.24; 621.548

Поліщук В.О.

ЗАСОБИ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

На прикладі комплексного використання енергетичного потенціалу водосховищ, як джерел потенційної механічної та теплової енергії води обґрунтовано структуру дослідження енергоефективності, оцінено можливість збільшення доходності.

Ключові слова: комплексне проектування, енергоефективність, тепловий потенціал, електромеханічна система

In favor of the integrated use of energy potential, the reservoir, as a source of potential potential and thermal energy, conducts energy efficiency research, verifying the need for resource use.

Keywords: integrated design, energy efficiency, thermal potential, electromechanical system

Ефективним засобом суттєвого покращення техніко-економічних характеристик електромеханічних систем (ЕМС) є їх комплексне проектування, завдяки визначенню структур, режимів та конструктивних параметрів електромеханічного обладнання з урахуванням синергетичного ефекту. Досягнення позитивного ефекту потребує: розробки математичних і програмних засобів визначення оптимальних структур, режимів і конструктивних параметрів електромеханічних складових систем, зокрема поновлювальних джерел енергії [1]; визначення вимог до електромеханічного обладнання цих систем відповідно до експлуатаційних умов.

Метою досліджень в напрямку розв'язання вказаної проблеми є розробка засобів комплексної оцінки та формування рекомендацій для підвищення ефективності, обґрунтування структури, режимів та конструктивних параметрів електромеханічних складових систем, зокрема використання поновлювальних джерел енергії [1].

Етапами дослідження є: розробка та обґрунтування застосування критеріїв ефективності конкретних ЕМС (з урахуванням капітальних вкладень, енергоефективності, витрат на обслуговування та витратні матеріали), стосовно проектного синтезу структур, конструктивних параметрів, режимів роботи і законів регулювання їх електромеханічних складових; обґрунтування методів оптимального проектування відповідно до умов проектного синтезу систем; розробка математичних і програмних засобів дослідження та пошуку оптимальних варіантів; дослідження впливу умов експлуатації та режимів роботи на оптимальні показники ефективності; розробка рекомендацій з вибору та проектування оптимальних структур, конструктивних параметрів, законів регулювання.

При розробці засобів підвищення ефективності використання поновлювальних джерел енергії отримано залежності та досліджено енергоефективність систем комплексного використання енергетичного потенціалу водосховищ, як джерел потенційної механічної та теплової енергії води. Досліджено величину ступеня

збільшення доходу енергопостачальника, яка може бути у десятки разів більша, порівняно з реалізацією тільки електричної енергії.

Висновки. Отримані вирази коефіцієнтів енергоефективності враховують структуру і величини параметрів даних систем і можуть бути використаними при їх оптимальному проектуванні.

1. Попович О.М. Комплексне використання енергетичного потенціалу водосховищ гідроелектростанцій / О.М.Попович, І.В.Головань, С.П.Шевчук, В.О.Поліщук // Гідроенергетика України. – 2016. - № 3-4. – С. 61-64.

УДК 621.224.24

Шевчук А.Р.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»

ГІДРОАКУМУЛЮЮЧА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ НА БАЗІ ШАХТИ

Анотація. В роботі проведено опис системи гідроакумуляції яка дозволяє модернізувати водовідливну систему шахт виведених з експлуатації тим самим, вирішивши, проблему їх «консервації». Основою модернізації є заміна звичайних насосів на оборотний гідроагрегат, який являє собою заглибний відцентровий електронасос переобладнаний для роботи в турбінному режимі.

Ключові слова: гідроакумуляція, шахта, гідроагрегат, відцентровий насос, турбінний режим, насосний режим.

Abstract. The paper describes a system of hydro-accumulation that allows to modernize the drainage system of decommissioned mines, thus solving the problem of their conservation. The basis of the upgrade is the replacement of conventional pumps with a reversible hydraulic unit, which is a submersible centrifugal pump converted for turbine operation.

Keywords: hydroaccumulation, mine, hydroelectric unit, centrifugal pump, turbine mode, pumping mode.

Запаси вугілля в шахтах не безмежні, тому після їх вичерпування постає питання припинення експлуатації шахти: зупинка очисних робіт, демонтаж та переміщення всього обладнання на денну поверхню, так званий процес «консервації». Головною проблемою даного процесу є те, що в ході очисних робіт частково, виробка проходить через водоносні горизонти, що призводить до надходження в підземний простір шахти значної кількості ґрунтових вод. Тому навіть при припиненні робіт на шахті водовідливна система шахти не перестає працювати тому, що приплив води не зменшується, а в деяких випадках навіть збільшується. Це призводить до значних витрат електроенергії, а оскільки кількість шахт, що припинили роботу невпинно росте, особливо на території Львівського кам'яно-вугільного басейну, тому питання альтернативних методів «консервації» доволі актуальне.

Дану проблему може вирішити система гідроакумуляції на базі шахти.

Основним в цій системі є процес акумуляції потенційної енергії води шляхом її накопичення в резервуарах з подальшим виробленням електричної енергії за рахунок обертання лопаток робочого колеса гідроагрегату, кінематичним потоком який утворений перепадом висот між резервуарами.

Схема системи гідроакумуляції на базі шахти показана на рис 1.а та 1.б.

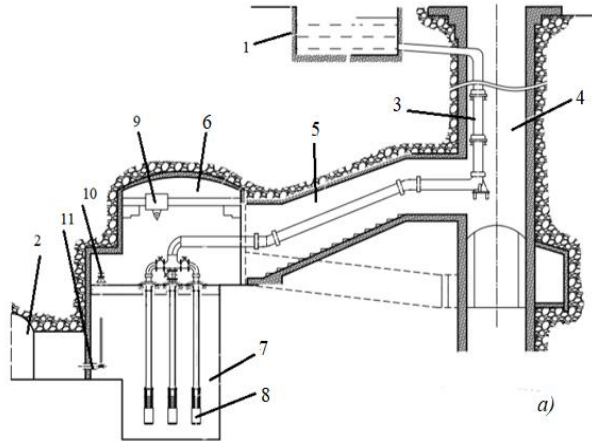


Рисунок 1.а – Система гідроакумулювання

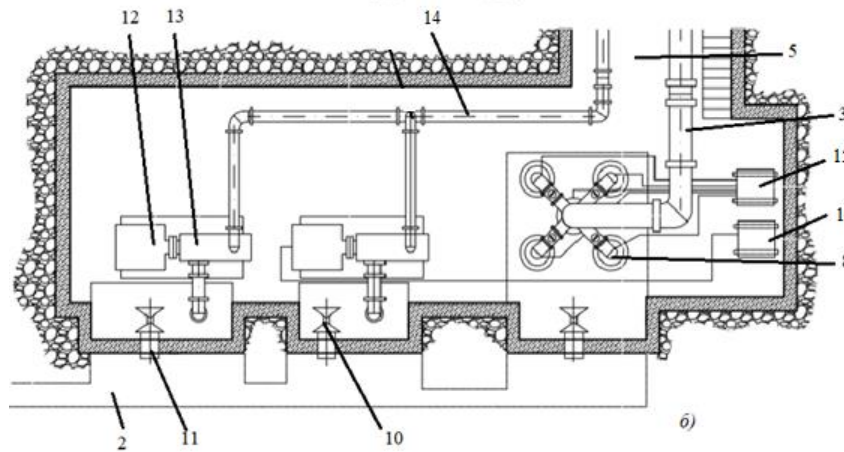


Рисунок 1.б – Система гідроакумулювання

Основними компонентами шахтної гідроакумулюючої системи є два резервуари верхній 1 та нижній 2 в яких зосереджений весь об'єм води. Верхній резервуар може бути штучним або природним (наприклад озером). Нижній резервуар є водозбірником шахти. Обидва робочих резервуари збільшенні в об'ємі для забезпечення повноцінного режиму роботи системи. Резервуари з'єднані напірним трубопроводом 3 який проходить через вертикальний ствол шахти 4, трубний ходок 5, насосну камеру 6 та погрузний колодязь 7.

Основне електромеханічне обладнання гідроакумулюючої системи розташоване в насосній камері 6.

В насосній камері розташовані погрузні відцентрові електронасоси, електродвигун 12 та сам резервний насос 13, напірний трубопровід резервних насосів 14 системи керування погрузним 15 та резервними насосами 16. Для зручності монтажних-демонтажних робіт насосна камера обладнана підвісним краном 9. В насосній камері

розташована руна засувка 10 яка регулює діаметр водопропускної труби 11 тим самим контролює подачу води в погрузний колодязь 7.

В даній системі є те, що роль оборотного гідроагрегату виконує погрузний відцентровий електронасос, за рахунок чого стає можливим створення гідроакумуляючої системи на базі водовідливної системи працюючої шахти.

Вибір електронасосу обумовлений тим, що для використання потужних турбін необхідно великі об'єми води та відповідно великі об'єми водозбірників, що в умовах шахти можливо лише при наявності природних колекторів чи часткового або повно затоплення дільниці шахти.

Принцип роботи даної гідроакумуляючої системи характеризується двома режимами роботи –турбінним (генераторним) та насосним.

Насосний режим характеризується підняттям води з нижнього резервуару(водозбірника) на денну поверхню тобто в верхній резервуар. Вода через водопропускну трубу з водозбірника потрапляє в погрузний колодязь в якому розташовані погрузні відцентрові електронасоси ЄЦВ.

За допомогою електронасосів вода по напірному трубопроводу подається в верхній резервуар.

Турбінний режим, режим під час якого проводиться генерація електричної енергії. Під час турбінного режиму вода з верхнього басейну скидається по трубопроводу до нижнього(водозбірника) створюючи кінематичний напірний потік. За рахунок цього потоку приводяться в дію лопатки робочого колеса електронасоса який в даному випадку працює як генератор.

Турбінний та насосний режими представляють собою режими тривалістю по 12 годин. Насосний режим припадає на нічний час, для використання дешевої електроенергії.

Висновок: Розроблено систему яка реалізує потенціал ґрунтових вод шахти з подальшим їх акумуляуванням в резервуарі, та використання перепаду висот між денною та підземною поверхнею шахти для генерації електроенергії.

**ПОРІВНЯННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЗГОРЯННЯ ТА ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ
ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

В роботі охарактеризовано стан поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ). Розглянуто існуючі державні документи, накази та Директиви ЄС, що стосуються відходів. Вивчено види енергетичної утилізації ТПВ. Проведено аналіз та порівняння технологій згорання та термічної обробки ТПВ за такими параметрами: основні характеристики, пропускна здатність на лінію, переваги, недоліки, якість золи, обсяг димових газів, вартість. Зроблено висновок щодо вибору технології для утилізації відходів.

Ключові слова: *тверді побутові відходи, утилізація, термічна обробка, спалювання, решітки, киплячий шар, газифікація, піроліз, нижча теплотворна здатність.*

The paper describes the state of solid waste management (MSW). Existing national waste documents, directives and EU directives have been considered. Studied types of energy utilization of MSW. Conducted analysis and comparison of technologies of combustion and thermal treatment of MSW according to the following parameters: key waste characteristics, throughput per line, advantages, disadvantages, ash quality, flue-gas volume, cost information. The conclusion was made regarding the choice of technology for waste disposal.

Keywords: *solid household waste, utilization, heat treatment, burning, grating, fluidized bed, gasification, pyrolysis, lower calorific value.*

Вступ. Поводження з твердими відходами є основною проблемою для багатьох міських органів місцевого самоврядування, де урбанізація, індустріалізація та економічне зростання призвели до збільшення утворення твердих побутових відходів на людину. Ефективне поводження з відходами є головним завданням у містах з високою щільністю населення. У 1900 році в світі проживало 220 мільйонів городян, що становило 13% від загального числа людей, які виробляли менше 300 тис. тон сміття в день. До 2000 року 2,9 мільярда людей, що живуть в містах (49% населення Землі), виробляли понад 3 млн. тон твердих відходів на день. До 2025 року обсяги утворених відходів збільшаться вдвічі [1].

У разі збереження поточної системи споживання і формування відходів, до 2050 р. людству, яке до того часу зросте приблизно на 2 млрд. чол., буде необхідно підвищити виробництво продовольства на 60%, що в свою чергу призводить до збільшення кількості відходів [2].

За підрахунками вчених, якщо темпи росту кількості побутових відходів не зменшаться, виробництво сміття в світі до 2100 року, внаслідок зростання чисельності населення до 9,5 млрд. чол. та урбанізації до 80%, зросте в три рази порівняно з нинішнім рівнем і досягне 11 млн. тон в день [3].

Частково проблема поводження з ТПВ була проаналізована в роботах [4-13]: розглянуто теоретичні та практичні аспекти кризи утилізації ТПВ, здійснено аналіз

результативності механізмів державного управління у сфері безпеки поводження з твердими побутовими відходами наведено шляхи їх подолання, показано практичні аспекти впровадження сучасних і прибуткових способів поводження з відходами.

Втім, незважаючи на достатньо велику кількість досліджень в галузі, дане питання залишається відкритим, оскільки кількість сміття не зменшується, змінюється морфологічний склад та з'являються сучасні технології подолання даної проблеми.

Мета та завдання. Метою даної роботи є дослідження сучасного стану поводження з відходами, вивчення ієрархії пріоритетів щодо поводження з відходами, розгляд видів енергетичної утилізації, аналіз технологій згорання та термічної обробки ТПВ.

Завдання:

- охарактеризувати стан поводження з відходами;
- розглянути існуючі державні документи, накази та Директиви ЄС, що стосуються відходів;
- порівняти технології згорання та термічної обробки ТПВ;
- систематизувати дані;
- зробити висновок.

Матеріал і результати досліджень. Основними документами, що стосуються сфери поводження з відходами є закони України «Про відходи» та «Про охорону навколишнього природного середовища».

З метою покращення стану навколишнього середовища та наближення до стандартів ЄС, у 2014 році було підписано Угоду про асоціацію. Передбачається наближення галузевого законодавства України до вимог джерел права ЄС у сфері управління відходами [14].

Одним із базових орієнтирів Директиви 2008/98/31/ЄС є встановлення ієрархії пріоритетів щодо поводження з відходами:

- 1) запобігання утворення відходів;
- 2) підготовка до повторного використання;
- 3) перероблення (анаеробний розклад органічних відходів, якщо зброджений органічний осад (digestate) використовується як добриво);
- 4) інший тип утилізації (спалювання та спільне спалювання з високим рівнем утилізації/відновлення енергії; перетворення відходів в матеріали, що використовуються як тверде, рідке або газоподібне паливо);
- 5) видалення (на сміттєзвалища; спалювання та спільне спалювання з обмеженим рівнем утилізації/відновлення енергії; використання зібраного звалищного/полігонного газу).

Енергетична утилізація, в свою чергу, поділяється на три основні види:

1. Збір біогазу на полігонах і звалищах ТПВ із подальшим виробництвом електричної та/або теплової енергії;
2. Механіко-біологічне оброблення ТПВ із можливим отриманням біогазу та/або твердого палива з ТПВ із подальшою утилізацією на цементних заводах або у спеціалізованих ТЕЦ/котельнях;
3. Термічне оброблення/утилізація змішаних (залишків після сортування) ТПВ із подальшим виробництвом електричної та/або теплової енергії [15].

Термічне оброблення ТПВ є найбільш ефективним методом зменшення кількості відходів та потреби в захороненні. Можливі такі види термічної утилізації муніципальних відходів:

- 1) виробництво тепла та електроенергії з RDF (Refuse Derived Fuel) / SRF (Solid Recovered Fuel), що отримані після механіко-біологічної обробки;
- 2) класичний сміттєспалювальний завод – спалювання змішаного потоку ТПВ після вилучення ресурсоцінних компонентів;
- 3) експериментальні технології: газифікація, піроліз [16].

У разі якщо характеристики палива для застосованої технології являються непридатними, це часто може призвести до низької ефективності або ненадійної роботи. Таблиця 1 дає порівняння основних застосованих технологій горіння та термічної обробки і факторів, що впливають на їх застосування та експлуатаційну придатність [16-21].

Таблиця 1. Порівняння технологій згоряння та термічної обробки та факторів, що впливають на їх застосовність та експлуатаційну придатність

| Технологія | Основні характеристики і відходів та придатність | Пропускна здатність на лінію | Оперативна / екологічна інформація | | Якість золи | Обсяг димових газів | Інформація про вартість |
|---|--|--|--|---|---|---|---|
| | | | Переваги | Недоліки / обмеження використання | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Рухом а решітка з повітряним охолодженням | <ul style="list-style-type: none"> • низькі та середні значення теплоти згорання (нижча теплотворна здатність 5 - 16,5 ГДж / т); • комунальні та інші неоднорідні тверді відходи; • може приймати частку мулу та/або медичні відходи з побутовими відходами; • застосовується в більшості сучасних установок | від 1 до 50 т / год, більшістю випадків від 2,5 до 30 т / год. | <ul style="list-style-type: none"> • дуже широко зарекомендував себе у великих масштабах; • надійний; • низькі витрати на обслуговування; • тривала операційна історія; • можуть приймати неоднорідні відходи без спеціальної підготовки; | як правило, не підходить для по-рошків, рідин або матеріалів, які випадають через решітку | загальний органічний вуглець від 0,5% до 3% | 4000 – 7000 м ³ /т вхідних відходів, залежить від теплотворної здатності | висока потужність знижує питомі витрати на тонну відходів |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|--|---|---|---|---|---|
| | для очищення сміття; | | | | | | |
| Рухом а решітка з рідинним охолодженням | те саме, що і решітки з повітряним охолодженням, за винятком: • нижча теплотворна здатність 10 - 20 ГДж / т | від 1 до 50 т / год, більшість випадків від 2,5 до 30 т / год. | як решітки з повітряним охолодженням, але: • більш висока теплоємність, що підлягає обробці; • можливий кращий контроль горіння | як решітки з повітряним охолодженням, але: • існує ризик витoku рідини через решітки; • більш висока складність; | загальний органічний вуглець від 0,5% до 3% | 4000 – 7000 м ³ / т вхідних відходів, залежить від теплотворної здатності | трохи вища капітальна вартість, ніж для решіток з повітряним охолодженням |
| Статична решітка з механізмом транспортування золи / відходів | • комунальні відходи вимагають відбору або подрібнення; • менше проблем з порошками тощо, ніж з пересувними решітками; | зазвичай низька <1 т / год | менше обслуговування - відсутні рухомі частини | • тільки для відібраних та попередньо оброблених відходів; • менша пропускна здатність; • деякі статичні решітки потребують додаткового палива; | <3% з підготовленими відходами | трохи нижчий, ніж інші решітчасті системи, де застосовується поетапне згоряння (вище, якщо використовується пальне для підтримки) | як у рухомих решітках |
| Ротаційна піч | • може приймати рідини та пасти; | <10 т / год | • дуже добре за- | пропускна здатність | загальний органічний | 6-10000 м ³ / т | більш висока питома вартість |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------------------|---|---------------------|---|---|--|-------------------------------------|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> • тверді відходи більш обмежені, ніж для колосників (через вогнетривкі пошкодження); • часто застосовується до небезпечних відходів; | | <p>рекомендував себе;</p> <ul style="list-style-type: none"> • широкий спектр відходів;; • добре вигорає - навіть небезпечні відходи; | нижча за решітки | вуглець <3 % | вхідних відходів | ь через зменшення потужностей |
| Киплячий шар | <ul style="list-style-type: none"> • лише тонко розділені постійні відходи; • обмежене використання для сировини ТПВ; • часто застосовується до мулів; | 1-10 т / год | <ul style="list-style-type: none"> • гарне змішування; • зола хорошої якості вилугування; | <ul style="list-style-type: none"> • необхідна ретельна робота, щоб уникнути замічення шару; • більша кількість золи; | загальний органічний вуглець <3 % | відносно нижчий ніж у решіток | вартість може бути нижчою. Додаткові витрати на підготовку відходів |
| Киплячий шар - обертовий | <ul style="list-style-type: none"> • широкий діапазон значень теплоти (7 - 18 МДж/кг); • грубо подрібнені ТПВ можуть оброблятися; • комбіноване спалювання мулу; | Від 3 до 22 т / год | <ul style="list-style-type: none"> • гарне змішування/висока турбулентність; • широкий спектр нижчої теплової здатності; • сильне вигорання; | <ul style="list-style-type: none"> • потрібно подрібнення ТПВ; • більша кількість золи, ніж на решітках; | загальний органічний вуглець <3%, але часто 0,5 - 1% | від 4000 до 6000 м ³ / т | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------------------------|---|--|---|---|--|-------------------------------|--|
| Киплячий шар-циркулюючий | <ul style="list-style-type: none"> лише тонко розділені постійні відходи. Обмежене використання для сировини ТПВ; часто застосовується до мулів; | 1 - 20 т / год, найчастіше використовується понад 10 т / год | <ul style="list-style-type: none"> гарне змішування; більша гнучкість палива; літаюча зола хорошої якості вилуговування; | <ul style="list-style-type: none"> циклон, необхідний для збереження матеріалу шару; більша кількість попелу; | загальний органічний вуглець <3% | відносно нижчий ніж у решіток | вартість може бути нижчою. Витрати на підготовку. |
| Газифікація - нерухомий шар | <ul style="list-style-type: none"> змішані пластмасові відходи; інші подібні послідовні потоки; газифікація менш широко використовується/доведена, ніж спалювання; | до 20 т / год | <ul style="list-style-type: none"> низький рівень вилуговування; хороше вигорання, якщо всмоктується кисень; знижене окислення металів, що підлягають вторинній переробці; | <ul style="list-style-type: none"> обмежена кількість відходів; не повне горіння; високий рівень кваліфікації; менш широко введено; | <ul style="list-style-type: none"> низький рівень вилуговування нижньої золи; хороше вигорання з киснем; | нижчий, ніж у прямого горіння | високі витрати на експлуатацію/обслуговування |
| Газифікація - захоплений потік | <ul style="list-style-type: none"> змішані пластмасові відходи; інші подібні послідовні потоки; не підходить для необроблених ТПВ; газифікація менш | до 10 т / год | <ul style="list-style-type: none"> низький ступінь вилуговування; знижене окислення металів, що підлягають вторинній переробці; | <ul style="list-style-type: none"> обмежена кількість відходів; не повне горіння; високий рівень кваліфікації; менш широко | <ul style="list-style-type: none"> низький ступінь вилуговування | нижчий, ніж у прямого горіння | високі витрати на попередню обробку / обслуговування |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------------------|---|----------------|--|--|---|--|---|
| | широко використовується/доведена, ніж спалювання; | | | доведено; | | | |
| Газифікація - рідкий шар | <ul style="list-style-type: none"> • змішані пластмасові відходи; • подрібнені ТПВ; • залишки подрібнювача; • осадки; • відходи, багаті металами; • інші подібні послідовні потоки; • газифікація менш широко використовується/доведена, ніж спалювання; | 5 - 20 т / год | <ul style="list-style-type: none"> • може використовувати низькі температури реактора; • відокремлення горючих речовин; • може ефективно поєднуватися з плавленням золи; • знижене окислення металів, що підлягають вторинній переробці; | <ul style="list-style-type: none"> • обмежений розмір відходів (<30 см); • менш широко доведено; | <ul style="list-style-type: none"> • у поєднанні з камерою для плавлення золи - зола перевіряється; • якість золи без камери - інформація не надається; | нижчий, ніж для прямого горіння | нижча, ніж інших газифікаторів |
| Піроліз - короткий барабан | <ul style="list-style-type: none"> • тільки попередньо оброблені ТПВ; • високі | ~ 5 т / год | <ul style="list-style-type: none"> • відсутність окислення металів; | <ul style="list-style-type: none"> • обмежені відходи; • необхідне управління процесом; • високий | <ul style="list-style-type: none"> • залежно від температури процесу; • отриманий залишок вимагає | дуже низький через низький надлишок повітря, необхідного для | висока підготовка, експлуатація та капітальні витрати |
| Піроліз - середній барабан | <ul style="list-style-type: none"> • інертні потоки металу; • залишки подрібнювача / пластмас; | 5 – 10 т / год | <ul style="list-style-type: none"> • відсутність енергії згоряння металів; | | | | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|--|---|---|---|-------------------------------------|--------------|---|
| | • піроліз менш широко використовується/ доведений, ніж спалювання; | | • можлива нейтралізація реакторної кислоти; | рівень кваліфікації; • широко не доведено; | подальшої обробки, іноді спалювання | горіння газу | |

Висновки. В даній статті проводилось порівняння технологій згорання та термічної обробки, їх основні характеристики та параметри. Порівнювались різновиди таких основних технологій, як: спалювання на решітках, киплячий шар, газифікація та піроліз. У кожного методу є своє переваги та недоліки. Наприклад, рухома решітка має найбільшу продуктивність – від 1 до 50 т/год, але в свою чергу ця технологія має дуже великий обсяг викиду димових газів. У киплячому шарі обсяг димових газів менший, проте є обмеження на ТПВ. Технологія газифікації може утилізувати більше видів відходів, ніж, наприклад, киплячий шар, що є перевагою, але ці відходи повинні бути попередньо підготовлені, що суттєво підвищує вартість даного типу утилізації. У піролізу великою перевагою є надзвичайно низький обсяг викиду димових газів, проте утилізованими можуть бути тільки попередньо оброблені ТПВ, а це вимагає в свою чергу додаткових вкладень коштів, що здорожчує дану технологію.

Технологію утилізації потрібно обирати відповідно до вихідних параметрів відходів, їх кількості, складу, стану тощо. Параметри обов'язково повинні бути враховані, оскільки це є запорукою вищої ефективності, надійності, продуктивності та довговічності обладнання.

Список використаної літератури:

1. Производство мусора в мире к 2100 году увеличится втрое [Електронний ресурс]. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <https://zn.ua/WORLD/proizvodstvo-musora-v-mire-k-2100-godu-uvelichitsya-vtroe-131972.html>.
2. Світове населення можна прогодувати більш ефективно [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://vkurse.ua/ua/society/mozhno-prokormit-bolee-effektivno-fao.html>.
3. Виробництво сміття у світі до 2100 року збільшиться втричі [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://dt.ua/WORLD/virobnictvo-smittya-u-sviti-do-2100-roku-zbilshitsya-vtrichi-131056.html>.
4. Утилізація та рекуперация відходів / [О. І. Бондар, М. П. Горох, І. В. Корінько та ін.]; за ред. О. І. Федоренка. – К.: ДЕІ, 2005 р. – 460 с.
5. Коваленко А. М. Методология обращения с отходами в контексте устойчивого развития: монографія / А. М. Коваленко – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. – 207 с.
6. Метлова Л. П. Теорія та практика поводження з відходами: [монограф.] / Л. П. Метлова. – НАН України. Інститут економіки промисловості: Донецьк, 2004. – 168с.
7. Малей О. В. Утилизация, переработка и снижение производства отходов как путь к сбалансированному природопользованию / О. В. Малей // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення. – 2006. – Вип. XXVIII. – С. 43–46.
8. Касимов А. Н. Промышленные отходы. Проблемы и решения. Технологии и оборудование: учеб. пособ. / А. М. Касимов, В. Г. Семенов, А. А. Романовский. – Харьков: ХНАГХ, 2007. – 411 с.

9. Коваленко А. М. О цивилизованных и прибыльных способах обращения с отходами / А. М. Коваленко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 5/6 (47). – С. 46–49.
10. Берлінг Р. З. Державне управління поводженням з твердими відходами: автореф. дис. канд. екон. наук: 08.02.03 / Р. З. Берлінг. – Національний ун-т «Львівська політехніка». – Львів, 2004. – 22 с.
11. Шафоростова М. М. Удосконалення державного управління поводженням з відходами на основі розвитку функцій екологічного аудита: автореф. дис... канд. наук з держ. управ. 25.00.02 / М. М. Шафоростова. – Донецький державний університет управління Міністерства освіти і науки України. – Донецьк, 2006. – 28 с.
12. Берюх О. В. Формування державної політики у сфері поводження з відходами виробництва та споживання: автореф. дис. канд. наук з держ. управ. 25.00.02 / О. В. Берюх. – Донецький державний університет управління Міністерства освіти і науки України. – Донецьк, 2013. – 25 с.
13. Хижнякова Н. О. Інвестиційне забезпечення реформування систем поводження з твердими побутовими відходами: автореф. дис. канд. екон. наук: 08.08.01 / Н. О. Хижнякова. – Львів: Б.В., 2005. – 19 с.
14. УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ ТА РЕСУРСАМИ: короткий опис Директив ЄС та графіку їх реалізації [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.if.gov.ua/files/uploads/Waste_brochure.pdf.
15. The List of Wastes [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.veolia.co.uk/sites/g/files/dvc1681/files/document/2014/11/How_to_classify_your_waste.pdf.
16. Матвеев Ю. Б., Гелетуха Г. Г. Перспективи енергетичної утилізації твердих побутових відходів в Україні Біоенергетична асоціація України. – 2019. – №22. – С. 48.
17. Maarten van Blijderveen. IGNITION AND COMBUSTION PHENOMENA ON A MOVING GRATE / Maarten van Blijderveen. – Enschede: Uitgeverij BOXPress, Oisterwijk, 2012. – 161 с.
18. Michael L. Murphy. Fluidized Bed Technology Solution to Animal Waste Disposal [Електронний ресурс] / Michael L. Murphy – Режим доступу до ресурсу: <http://brbock.com/RefFiles/FluidBedSolutions.pdf>.
19. Jitka Hrbek. Fluidized bed conversion of biomass and waste [Електронний ресурс] / Jitka Hrbek, Kevin Whitty. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://task33.ieabioenergy.com/download.php?file=files/file/2017/Skive/WS/WS%20Report-final.pdf>.
20. Anjireddy Bhavanam. Biomass Gasification Processes in Downdraft Fixed Bed Reactors: A Review / Anjireddy Bhavanam, R. C. Sastry. // International Journal of Chemical Engineering and Applications. – 2011. – №2. – С. 425–433.
21. Аналіз потенціалу твердих побутових відходів як сировини для виробництва альтернативних палив в Україні / І. Л.Трофімов, А. В. Яковлева, О. В. Іванченко, Л. С. Верягіна // Енергетика: економіка, технології, екологія / І. Л.Трофімов, А. В. Яковлева, О. В. Іванченко, Л. С. Верягіна. – Київ, 2016. – С. 105–111.

Науковий керівник Гребенюк Т.В.

**ІЄРАРХІЧНИЙ ПІДХІД У ПОВОДЖЕННІ З ВІДХОДАМИ ЯК
АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА ДЛЯ ЦЕМЕНТНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

Проаналізовано стан поводження з відходами на території України. Розглянуто морфологічний склад твердих побутових відходів поближених територій до цементних підприємств. Визначено основні критерії для виробництва вторинного палива з відходів на основі залишкового підходу, а також потенціал вторинного використання ресурсів з метою впровадження принципів ієрархічного поводження з відходами.

Ключові слова: ієрархія відходів, цементна промисловість, RDF паливо, ТПВ.

The state of waste management in the territory of Ukraine is analyzed. The morphological composition of solid household waste of the territories close to cement enterprises is considered. The main criteria for the production of secondary fuel from waste based on a residual approach are identified, as well as the potential for the secondary use of resources to implement the principles of hierarchical waste management.

Keywords: waste hierarchy, cement industry, RDF fuel, MSW.

Вступ. Прийняті Україною міжнародні зобов'язання визначають необхідність обмеження викидів вуглекислого газу задля внеску в уповільнення глобального підвищення температури. Національна стратегія поводження з відходами до 2030 року визначає пріоритетним напрямом перехід від захоронення відходів до комплексного поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ). Ці питання потребують вирішення з урахуванням світового досвіду ієрархії поводження зі сміттям. Цементна промисловість має потенціал впливу на вирішення ситуації з відходами та викидами вуглекислого газу. Вона є одним з основних джерел впливу, бо споживає велику кількість енергетичних ресурсів, зокрема вона виробляє 5 % світових викидів CO₂. 40 % витраченої енергії припадає на спалення палива задля нагріву газового середовища до 2000 °C. Для виробництва 1 т клінкеру необхідно близько 200 кг вугілля. У той самий час для України актуальне питання великої кількості сміття та перенавантаженості полігонів. Положення щодо поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) почали розробляти майже всі області. Це зумовлено тим, що переважаючим способом поводження з відходами є їх вивезення та захоронення на сміттєзвалищах. Завдяки впровадження систем роздільного збору сміття, 5,8 % відходів були передані на переробку, більшість з яких транспортують на утилізацію або сміттєспалювальний завод для отримання енергії.

Мета та завдання. Метою роботи є аналіз морфологічного складу твердих побутових відходів та визначення рекомендацій для поводження з відходами з врахуванням ієрархічного підходу. Завданнями роботи є: проаналізувати відходи областей, які розташовані біля цементних потужностей; визначити основні характеристики відходів для подальшого використання в якості вторинного палива; визначити найбільш прийнятний спосіб оброблення відходів з подальшим виробництвом палива; надати рекомендації у відповідності до ієрархічного підходу щодо поводження з відходами.

Матеріал і результати досліджень. Спалювання відходів вирішує питання з їх накопиченням, проте варто враховувати екологічну складову самого процесу виробництва. Таким чином, за результатами порівняльного аналізу впливу з точки зору впливу на людину, було доведено, що термічна утилізація в обортових печах цементних заводів екологічно безпечнішою, ніж на сміттєспалювальних заводах [1].

Використання ТПВ з екологічної точки зору на цементних потужностях обумовлене рядом технологічних переваг:

- Високі температури горіння понад 1200 °С та тривалість перебування в гарячій зоні понад 7 секунд, що забезпечує розпад діоксинів і фуранів;
- Відсутність потреби в додатковому обладнанні за умови спільного спалювання палива;
- Наявність ефективних пиловловлювачів в пічних установках, що зменшує ймовірність викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище.

ТПВ мають високий потенціал для виробництва RDF палива та застосування його в цементній промисловості разом з традиційним паливом. Це дозволяє стверджувати, що цементна промисловість може створити цінність відходам задля вирішення глобальних екологічних питань.

Аналіз морфологічного складу ТПВ. Більшість типів відходів придатні для подальшого використання з метою отримання енергії. Проте, більшість з таких ресурсів можуть бути перероблені або використані повторно. З метою зваженого аналізу відходів в потенціальних територіях України доцільно приймати до уваги розроблену та широко використовувану в країнах ЄС ієрархію відходів. Згідно якої, перевага при поводженні з відходами надається запобіганню утворенню та переробці відходів. Спільна ж обробка відходів має бути застосована лише після цих етапів, але перед утилізацією та захороненням чи спалюванням на сміттєспалювальних заводах. З цією метою проаналізовано морфологічний склад ТПВ за потенційно привабливими територіями.

Цементне виробництва представлене переважно на підприємствах західної та центральної України. Деякі з них, які розташовані на територіях воєнного конфлікту та тимчасово окупованих територіях, виключені з огляду за рахунок низького інвестиційного потенціалу. Досвід європейських країн показав, що економічно доцільним є найближче розташування полігонів або сортувальних ліній до виробництва. Саме тому, розглянуто лише області в яких знаходяться потужності виробництва, що дозволяє зменшити витрати на транспортування сировини. Відсоткове відношення різних видів відходів наведено у табл.1.

Таблиця 1. Частки відходів на територіях цементних потужностей

| Тип відходів | Частка відходів, % від загальної маси відходів | | | | | | | |
|-----------------|--|------------------------|------------------|-----------------|--------------|-------------------|-----------------------|-----------------|
| | Львівська обл. | Івано-Франківська обл. | Хмельницька обл. | Рівненська обл. | Одеська обл. | Миколаївська обл. | Дніпропетровська обл. | Харківська обл. |
| Харчові відходи | 26 | 21 | 47 | 29 | 35 | 3 | 39,5 | 33,6 |
| Вуличний відсів | 15 | - | - | - | 10 | 34 | 25,3 | - |

| | | | | | | | | |
|------------------|-----|-----|----|-----|----|----|-----|------|
| Пластмаси, ПЕТ | 13 | 5 | 5 | 10 | 9 | 24 | 7,9 | 11,0 |
| Папір, картон | 10 | 41 | 28 | 7 | 15 | 10 | 5,9 | 21,7 |
| Текстиль | 8 | 2 | 4 | - | 3 | 4 | 2,9 | 2,4 |
| Дерево | 5,5 | 5 | 2 | 1,6 | 2 | 5 | 1,1 | 1,9 |
| Скло | 4 | 12 | - | 13 | - | - | 7,4 | 9,2 |
| Метал чорний | 1,5 | 10 | 3 | 1 | 2 | - | 2,5 | 2 |
| Метал кольоровий | - | 1,3 | | 0,2 | | | | 0,5 |
| Шкіра, гума | 1,8 | 3 | 1 | - | 2 | 6 | 1,4 | - |

Вимоги для ТПВ. При виробництві RDF палива для цементної промисловості враховують основні характеристики ТПВ для найбільшої економічної та екологічної цінності. Головні показники наведені у табл. 2 [2].

Таблиця 2 Показники ТПВ як альтернативного палива

| № | Показник | Значення показника | Одиниця виміру | Значення показника |
|---|----------------------|--------------------|----------------|--------------------|
| 1 | Загальна вологість | W_t | % | 7,0 - 25,5 |
| 2 | Зольність | A | % | 14,0 - 17,3 |
| 3 | Вихід летких речовин | V | % | 64,2 - 78,0 |
| 4 | Вміст хлору | Cl | % | $0,80 \pm 0,04$ |
| 5 | Вміст фтору | F | Ppm | $47,0 \pm 4,5$ |

Ієрархічний підхід у поводженні з відходами. Ієрархічний підхід разом з критеріями вибору відходів для подальшого використання в цементній промисловості дозволяє розподілити відходи на потенційну та непридатну вторинну сировину. Остання має використовуватися як горюче в якості альтернативного палива, за умови дотримання відповідних вимог до показників .

Основою для вторинного палива RDF такі компоненти: органічні відходи, деревина, папір або картон, пластик, текстиль, TetraPak та резина. З врахуванням екологічної складової цільовий підхід до виробництва RDF палива поступається залишковому, який дозволяє зменшити ресурси для виробництва нової продукції та є більш економічно вигідним. Такий підхід потребує більшу кількість операцій, потребує великі площі і витрати. Проте, його застосування дозволяє вийняти цінні матеріали, які можна використовувати повторно.

Важливим етапом у реалізації залишкового підходу є сортування, може проводитися вручну або автоматизовано. При застосування першого, вкрай проблематично розпізнати деякі елементи, такі як ПВХ та виділити з потоку об'єкти розмірами менше 50 мм. Ззовні різні матеріали можуть бути схожими, проте склад та доцільність подальшого використання на вищому рівні здатна визначити автоматизована система сортування. Найбільш прийнятним варіантом є саме об'єднання методів з впровадження ручного сортування перед автоматичним, що дозволяє виділити ресурсоцінні матеріали та підвищити точність автоматизованих пристроїв [3].

Органічні компоненти, включаючи харчові відходи та вуличний відсів, що містяться в ТПВ можуть бути перероблені механізованими методами, яка може включати відділення з подальшим компостуванням. Усереднений вміст вторинної сировини у ТПВ для паперу та картону складає 63,3 %. Ця маса може бути в подальшому перероблена, решта – на виробництво RDF палива. Для пластмаси, яка включає ПЕТ та

поліетиленову плівку показник корисної сировини у масі відходів складає 20,1 %, який може бути відправлений на переробку, а 79,9 % на виробництво палива та подальше спалювання у цементних печах [4]. Текстильні відходи і деревина становлять малу частку та можуть бути відправлені на дроблення та використання як складових палива. Гума може бути перероблена або направлена на створення палива і спалення на цементних заводах.

Такий підхід дозволяє реалізовувати відповідальні методи поводження зі сміттям та впроваджувати принципи циркулярної економіки для цементної промисловості, як одного з головних джерел викиду вуглекислого газу в процесі виробництва продукції, тим самим зменшувати вуглецевий слід та вплив на довкілля.

Висновки. Проблема поводження з відходами потребує вирішення згідно міжнародних зобов'язань та національних документів. Найбільші викиди серед розглянутих областей припадають на органічні відходи, пластмаси і папір. Згідно з принципами ієрархічної стратегії, для подальшої обробки як вторинного палива доцільно використовувати відходи пластмас, паперу і картону, текстилю, гуми. Дослідження визначає шляхи поводження зі сміттям з метою збереження більшої кількості ресурсів і отримання економічних переваг.

Список використаної літератури:

1. Енергетичне використання горючих відходів як спосіб зниження негативного впливу на довкілля [Електронний ресурс] / С. Я.Хруник, Ю. Л. Новицький, М. А. Саницький, О. Т. Мазурак // Національний університет “Львівська політехніка”. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/16649/1/38-Khrunyk-201-207.pdf>.
2. Багданас В. В. разработка требований к производству альтернативного топлива на полигонах твердых коммунальных отходов / В. В. Багданас, І. О. Тихонова. // Успехи в химии и химической технологии. – 2017. – №9. – с. 62–64.
3. Перспективы использования комплекса оптико-механической сортировки с целью извлечения энергетического потенциала ТБО / Я. В.Базилева, Д. Л. Борисов, В. Н. Коротаев, Я. И. Вайсман. // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. – 2013. – №3. – с. 138–145.
4. Ільїних Г. В. Определение потоков вторичного сырья при внедрении раздельного сбора отходов на основании данных об их морфологическом составе / Г. В. Ільїних, Н. Н. Слюсар, В. Н. Коротаев. // Вестник ПГТУ. Урбанистика. – 2011. – №2. – с. 29–39.

Науковий керівник Ткачук К.К.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПТАШИНОГО ПОСЛІДУ

В даній статті розглянуто спосіб підвищення ефективності роботи біогазових установок з комбінованим завантаженням шляхом додавання в якості компонента попередньо дигеризованого пташиного посліду.

***Ключові слова:** біогаз, біогазова установка, ефлюент, дигерування, пташиний послід, птахофабрика.*

In this article the way of increase of overall performance of biogas installations with the combined loading by addition as component a digestion bird's dung is considered previously.

***Key words:** biogas, biogas plant, effluent, digestion, bird droppings, poultry farm.*

Вступ. Створення великих птахофабрик на промисловій основі викликає значні порушення екологічної рівноваги, забруднення навколишнього середовища територій підприємств та прилеглих територій. Забруднення повітряного середовища відбувається через те, що при зберіганні у чистому вигляді послід швидко злежується та випускає неприємний запах, обумовлений виділенням продуктів розкладу. У посліді розвиваються патогенна мікрофлора та яйця гельмінтів. Забруднюючі речовини потрапляють також у водні об'єкти та ґрунти поблизу підприємств.

Аналіз літературних джерел за темою дослідження і постановка проблеми. В Україні біогазові технології не мають широкого поширення у промислових масштабах. Наявні лише поодинокі випадки їх використання, в режимі дослідних установок без підтвердження їх економічної ефективності на рівні експертних висновків [1].

Сам процес утворення газу – це так зване метанове бродіння. Його суть полягає в анаеробному бродінні (без доступу повітря), яке відбувається внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів і супроводжується рядом біохімічних реакцій.

Основними елементами біогазових установок є: реактор для біомаси (метатенк), газгольдер, нагрівальний пристрій і пристрій для перемішування субстрату, ємність гомогенізації, насосна станція, сепаратор тощо [2].

Переробка в реакторі біогазової установки чистого курячого посліду являє собою складну задачу. Західноєвропейські виробники біогазових установок роблять основний акцент на переважаючу частину силосної кукурудзи в структурі сировини, що закладається в установку [3]. В той же час, у птахофабрик немає достатнього об'єму посівних площ для вирощування енергетичних культур (наприклад, силосної кукурудзи). Таким чином, створення біогазової установки працюючої на 100% курячому посліді являється актуальною технологічною проблемою.

Мета та завдання. Метою роботи є підвищення ефективності роботи біогазової установки шляхом додавання в якості компонента попередньо дигеризованого пташиного посліду.

Для досягнення поставленої мети поставлено наступні завдання:

- Визначення основних причин низької ефективності біогазових установок;

- Аналіз методів підвищення ефективності роботи біогазових установок;
- Розробка нового методу використання пташиного посліду для підвищення ефективності роботи біогазових установок.

Матеріал та результати досліджень. Рішення проблеми і усунення недоліків відомих способів переробки пташиного посліду можливо при використанні нового способу переробки курячого посліду, суть якого полягає у наступному: приведення вихідних значень показників загрузочним шляхом розбавлення та наступної мікробіологічної обробки еффлюентом в анаеробних умовах з подальшим використанням його в біогазових установках з комбінованою загрузкою [4].

Мікробіологічна обробка пташиного посліду представляє собою укладку пташиного посліду на відстані не менше 1-2 м один від одного. Потім послід доводиться до вологості, необхідної для попереднього дигерування (65-70 %).

Далі здійснюється процес попереднього дигерування, що включає внесення рідкої фракції еффлюента з характеристиками, приведеними в табл. 1 в анаеробних умовах, в кількості 20 % від загальної маси пташиного посліду.

Таблиця 1. Характеристики еффлюента

| Найменування показників | Значення характеристик в початковій вологості | | |
|-------------------------|---|-------|---------|
| | % | мг/кг | мг/л |
| Азот | 0,157 | 1570 | 1440 |
| Фосфор | 0,046 | 460 | 422 |
| Калій | 0,113 | 1130 | 1037 |
| Нітратний азот | 0,0096 | 96 | 88,1134 |
| Амонійний азот | 0,146 | 1460 | - |
| Мідь | 0,00001 | 0,1 | 0,09 |
| Цинк | 0,000086 | 0,86 | 0,79 |
| Марганець | 0,00611 | 6,11 | 5,61 |
| Залізо | 0,00028 | 2,8 | 2,57 |
| Вологість | 95,4 | - | - |
| Органічна речовина | 3,022 | - | - |
| pH | 7,9 | - | - |
| Сухий залишок | 4,6 | - | - |

В якості добавок використовують еффлюент, що утворюється в результаті анаеробного зброджування багатокомпонентної сировини, в склад якої входить послід крупного рогатого скота, тирса нехвойних дерев, відходи м'ясної та молочної продукції, мінеральні добрива. Після чого створюють анаеробні умови і ферментують протягом 7-9 діб. При цьому відбувається збільшення температури субстрату, початкове розщеплення (при вологості 70%) з утворенням та виділенням газу з присутністю в них CO₂, водних парів, H₂S в невеликих кількостях [4].

По закінченню обробки курячий послід завантажується в приймальний резервуар у кількості 15% від загальної маси субстрату, переміщується з іншими компонентами загрузочної сировини. Отримана суміш підігрівається, після чого надходить в камеру гомогенізації. Звідти дозовано надходить в реактор, після чого вихід біогазу збільшується на 50%.

Висновки. У роботі розглянуто проблему забруднення навколишнього середовища відходами виробництва продукції птахівництва. Проаналізовано використання біогазових установок для утилізації та переробки пташиного посліду.

Запропоновано новий спосіб використання відходів птахівництва для отримання біогазу. Використання мікробіологічної обробки пташиного посліду дозволяє підвищити ефективність роботи біогазової установки з комбінованим завантаженням.

Список використаної літератури:

1. Богоявленский Р.Г., Рыжов В.А. Мировые тенденции в области современных технологий утилизации твердых промышленных и бытовых отходов / Богоявленский Р.Г., Рыжов В.А. – М.: ЭКОС, 2010. – С. 42–51.
2. Біогаз [Електронний ресурс] // Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії.. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Біогаз>
3. Кучерук П.П., Матвеев Ю.Б., Ходаківська Т.В., Гелетуха Г.Г., Морозова Є.В., Перерва Є.С. Дослідження ефективності сумісного зброджування гною свиней та силосу кукурудзи // Механізація, екологізація і конвертація біосировини в тваринництві. – 2011. – 8, №2. – С. 45-53.
4. Идигенов Б.Б., Садчиков А.В., Кокарев Н.Ф. Применение субстратов с быстрым расщеплением для повышения метаноотдачи биогазовых установок с комбинированной загрузкой // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6.

Науковий керівник Ремез Н.С.

ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ УТИЛІЗАЦІЇ НАДЛИШКОВОГО МУЛУ ШЛЯХОМ СПАЛЮВАННЯ НА СТАНЦІЯХ АЕРАЦІЇ

В роботі проаналізовано вплив мулових полів на довкілля. Розглянуто методи утилізації збродженого мулу. Запропоновано метод спалювання. Наведена порівняльна характеристика для чотирьох найбільш розповсюджених методів спалювання надлишкового мулу.

Ключові слова: осад стічних вод, зброджений осад, піч киплячого шару, утилізація шляхом спалювання.

The influence of silt fields on the environment is analyzed. The methods of utilization of fermented sludge are considered. The method of combustion is proposed. A comparative description of the four most common methods of burning excess sludge is given.

Key words: sewage sludge, fermented sludge, fluidized bed furnace, incineration.

Вступ. На сьогодні існує значна потреба у повторному використанні та переробці відходів. Саме це дозволяє вирішити низку екологічних проблем, що виникли в суспільстві. Однією з таких проблем є утилізація надлишкового мулу на станціях аерації, який є результатом біологічної очистки стічних вод.

Зольність надлишкового мулу складає 25-30%. Відпрацьований мул включає органічну частину, яка складається з: білків (до 50%), жирів (30%) та вуглеводів (до 10%). Вологий осад містить приблизно вдвічі менше білків, але майже втричі більше вуглеводів. Також осад містить яйця гельмінтів та має значну бактеріальну забрудненість. [1]

До 1985 року в Україні методом утилізації було використання мулу в сільському господарстві, однак через високий вміст солей важких металів, його використання як добрива було заборонено. Зараз всі відходи очищення стічних вод з метою утилізації вивозяться на мулові майданчики.

Стічні води м. Києва очищуються на Бортницькій станції. Проектна потужність станції становить 1,8 млн. м³/добу стічних вод.

Для мулу який утворюється під час очищення стоків, виділено три поля загальною площею 272 га. На даний час функціонує два.

Обсяг мулу на полях – понад 10 млн. м³ при проектній ємкості 3 млн. м³. Щодоби на поля скидається ще близько 12 тис. м³ збродженого мулу. Цей обсяг стримують насипні дамби, їх використання хоч і запобігає поширенню забруднення довкілля надмуловою рідиною на прилеглих територіях, але не запобігає загрози виникнення аварійних ситуацій.

Саме через переповненість полів у 2013 році стався прорив однієї з дамб, в результаті чого відбулося забруднення надмуловою рідиною прилеглих територій та підземних вод. На сьогоднішній день ситуація незмінна і ризик аварій лише зростає.

Існують такі проблеми, викликані утилізацією надлишкового мулу шляхом зберігання на мулових майданчиках:

1. Відсутність земельних площ під додаткові мулові поля.
2. Неприємний запах, який поширюється за межі станцій аерації.
3. Забруднення атмосфери випаровуванням з полів парникових газів.
4. Ризик забруднення прилеглих територій та підземних вод внаслідок прориву насипних дамб.

Станція очищення стічних вод є важливим комплексом споруд, що підтримують життєдіяльність міста. Проте ці споруди знаходяться у аварійному стані і потребують реконструкції, у зв'язку з чим міська влада отримує багато скарг від мешканців, які проживають поряд, на неприємний запах. [2]

Концентрація речовин, що спричиняють неприємний запах на межі захисної зони станції аерації:

- Сірководень – 2,20-6,01 мг/м³;
- Метилмеркаптан – 1,90-5,00 мг/м³;
- Етилмеркаптан – 3,00-8,51 мг/м³.

Підземні води в районі Бортницької станції аерації (БСА) залягають на глибині 20-30 м (Полтавський горизонт). Підйом рівня підземних вод можливий 1,2 м від зафіксованого. Ділянка потенційно підтоплювана. Тип території за потенційною підтоплюваністю – третій. Враховуючи той факт, що фільтрація води з іонами важких металів на мулових полях відбувається постійно, їх концентрація весь час змінюється. Процес фільтрації відбувається в одному і тому самому місці та не ізольований від навколишнього середовища, а отже існує загроза забруднення підземних вод іонами важких металів.

Мета та завдання: зменшення антропогенного навантаження на мулові поля за рахунок вибору та обґрунтування ефективного методу утилізації зброженого осаду.

Матеріал і результати досліджень.

Закордонний досвід утилізації осадів стічних вод показує, що на сьогодні знаходять застосування такі основні напрямки утилізації [3]:

1. Сільське господарство (Португалія – 87%, Іспанія – 65%, Велика Британія – 69%, США – 47%);
2. Спалювання (Німеччина – 51%, Нідерланди – 68%);
3. Виробництво будівельних матеріалів (Японія – 52%);
4. Експорт до інших країн для спалювання або компостування (Люксембург).

Як спосіб утилізації зброженого мулу рекомендується спалювання з подальшим отриманням електричної енергії. Було розглянуто різні методи які застосовуються на сучасних утилізаційних заводах. В табл. 1 наведена порівняльна характеристика для чотирьох найбільш розповсюджених методів спалювання надлишкового мулу. З таблиці видно, що піч з киплячим шаром має найбільш гнучкий графік роботи, що є головним фактором при роботі з муловим осадом.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика показників роботи печей для спалювання осадів стічних вод.

| Піч | Багатоподова | Барабанна | Циклонна | З киплячим шаром |
|----------------------------|--------------|-----------|----------|------------------|
| Продуктивність, т/год | 13 | 35 | 40 | 30 |
| Ефективність, % | 90 | 91,7 | 94 | 92,5 |
| Вологість осаду, % | 50-60 | 60-70 | 5-10 | 60-67 |
| Зольність осаду, % | 40 | 35 | 50 | <50 |
| Кількість утвореної золи , | 10 | 8,3 | 6 | 7,5 |

| | | | | |
|--|---------|----------|------|---------|
| % | | | | |
| Температура газів, що відходять з камери горіння, °С | 310-520 | 650-1000 | 1200 | 850-950 |

| | | | | |
|---|----------|---------|----------|----------|
| Питоме навантаження робочого об'єму по знищеній до ГДК речовині, кг/(м ² ·год) | 200-400 | 10-80 | 600-850 | 300-800 |
| Коефіцієнт надлишку повітря | 1,08-1,2 | 1,1-1,6 | 1,04-1,6 | 1,04-1,3 |

Піч киплячого шару представляє собою вертикальний сталевий циліндр, футерований зсередини вогнетривкою цеглою. Всередині печі є топкова камера, конусна частина з повітророзподільними безпровальними ґратами і куполоподібним склепінням (рис. 1).

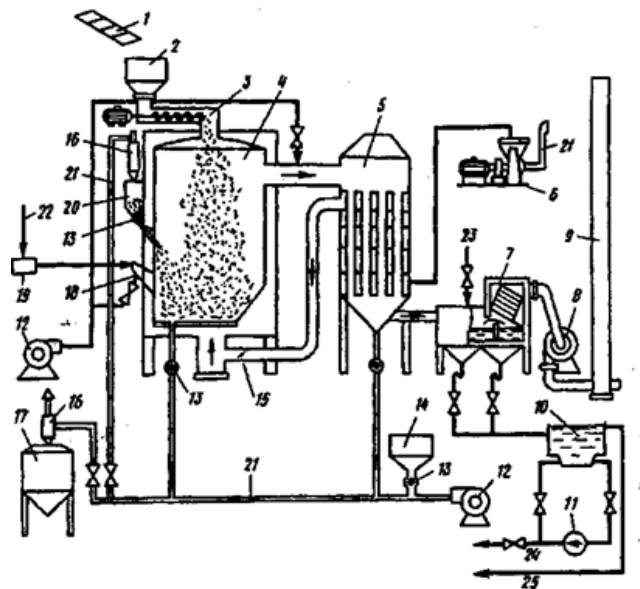


Рисунок 1. Схема спалювання осаду в печі киплячого шару:

1 - стрічковий конвеєр; 2 - бункер завантаження осаду; 3 - шнековий живильник; 4 - піч киплячого шару; 5 - рекуператор; 6 - повітродувки; 7 - мокрий пиловловлювач; 8 - димососи; 9 - димова труба; 10 - золова ємність, 11 - насос перекачування золової води; 12 - вентилятор; 13 - шлюзовий живильник; 14 - бункер для піску; 15 - заслінка; 16 - циклонний розвантажувач; 17 - бункер вивантаження золи; 18 - газовий пальник; 19 - газорегуляторні установки; 20 - бункер - дозатор; 21 - повітропровід; 22 - трубопровід паливного газу; 23 - водопровід; 24 - золо-провід; 25 - каналізаційний трубопровід.

У футерованій циліндричній печі киплячого шару осад спалюється при температурі до 850 ° С. Утворена при цьому зола виходить з печі разом з димовими газами. Повітря в піч подається знизу-вгору, забезпечуючи «кипіння» піску і інтенсифікуючи перемішування і теплообмін. Повітря для киплячого шару попередньо

підігрівається в казані-стилізатора до 550 ° С. У котлі-утилізаторі також йде підігрів діатермального масла для опалення. [4]

Димові гази після котла-утилізатора з температурою 200-220 ° С надходять в багатоступеневу систему газоочистки:

- У електрофільтрі зола відділяється від димових газів і, осідаючи, безперервно надходить в золоуловлювач.
- В системі мокрих скрубєрів проводиться очищення димових газів від шкідливих сполук: HCl, SO₂, а також важких металів.
- Димосос забезпечує розрідження у всьому тракті димових газів і направляє очищені гази в димову трубу.

Дана установка спалює 30 т/год з ефективністю 92,5%. Вихід золи складає 7,5%. Основними вимогами до осаду є вологість в межах 60-67%, зольність менше 50% та діаметр фракції до 10мм.

Застосування способу спалювання збродженого осаду в печі киплячого шару дозволить отримати прибуток в розмірі 23,28 млн грн/рік за рахунок реалізації виробленої електроенергії обсягом 41245 Мвт/рік.

Висновок. Більш доцільним способом утилізації збродженого мулу є спалювання, що дозволить:

1. Мінімізувати площі під мулові поля;
2. Отримувати додатково теплову та електричну енергію та використовувати її на власні потреби підприємства;
3. Решту теплової та електричної енергії планується реалізувати населенню.
4. Зменшити антропогенне забруднення довкілля;
5. Зменшити ризики можливих аварійних ситуацій.

Список використаної літератури:

1. Семенова, О. І. Шляхи утилізації осадів очисних споруд / О. І. Семенова, Н. О. Бублиєнко, К. В. Пономаренко // Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водо підготовки : матеріали міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 18-19 листопада 2015 р. К. : Центр учбової літератури, 2015. – С. 158-159.
2. Офіційний сайт компанії ПрАТ «АК «Київводоканал». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vodokanal.kiev.ua/rek-bsa/>
3. Шквірко О. М., Тимчук І. С., Мальований М. С. Адаптація світового досвіду утилізації осадів стічних вод до екологічних умов України. Науковий вісник НЛТУ України. 2019, т. 29, № 2. С. 82-87.
4. Замалиев А.Н. Сжигание илового осадка в псевдооживленном слое // «Научному прогрессу – творчество молодых»: материалы XI Международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам, Йошкар-Ола, 22-23 апреля 2016 года: в 4 ч. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. Том 1. С. 178
5. Петрук В. Г. Методи переробки осадів стічних вод / Петрук В.Г., Васильківський І.В., Безвознюк І.І., Петрук Р.В. та інш. – Вінниця: ВНТУ, 2013. - 423с

Науковий керівник Жукова Н.І.

УДК 622.2

Головчук Лілія Анатоліївна
Кафедра інженерної екології

ЗМЕНШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ВІД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИДОБУТКУ БЛОЧНОГО КАМЕНЮ

Проаналізовано стан гірничовидобувного комплексу на території України. Розглянуто методи відокремлення моноліту від масиву для видобутку блочного каменю. Визначено переваги застосування алмазного канату для відокремлення блоків, а також розраховано оптимальні кути заведення канату.

Ключові слова: методи відокремлення каменю від масиву родовищ, алмазно-канатне різання, вибухові роботи.

The condition of the mining complex in the territory of Ukraine is analyzed. Methods of separating a monolith from an array for block stone extraction are considered. The advantages of using a diamond rope for the separation of blocks are determined, as well as the optimal angles of routing.

Keywords: methods of separation from wood stone deposits, diamond-rope cutting, blasting.

Вступ. Активну участь у зміні структури та балансу речовин беруть гірничовидобувні комплекси. Продуктивність праці, ріст автоматизації робіт та зниження собівартості видобутку – позитивні сторони при створенні гірничих підприємств. Проте природоохоронні зміни провокують утворенню екологічних проблем.

В життєвому циклі при видобутку сировини буро-вибухові роботи є небезпечним процесом. Буріння свердловин нерозривно пов'язане з виробництвом вибухових робіт для розпушення скельних порід, які підлягають розробці відкритим способом. Масові вибухи в кар'єрах є потужним джерелом пилогазовиділення – 200-600 т пилу/рік, 6,0-8,0 тис. м³ шкідливих газів за вибух. Миттєвий викид такої кількості шкідливих речовин вимагає контролю за станом зміни їх концентрацій в атмосфері, переміщенням, розсіюванням, нейтралізацією і можливістю управління деякими процесами. При вибухах в кар'єрі обов'язковим є застосування засобів боротьби зі шкідливими викидами. Дані заходи повинні проводитись на етапі підготовки відокремлення моноліту від масиву за допомогою вибуху [1].

Мета роботи. Зменшення екологічного навантаження від технологічних процесів гірничо-видобувного комплексу із застосуванням науковообґрунтованих підходів до оптимізації відділення каменю від масиву родовищ.

Завдання: Розглянути методи відокремлення моноліту від масиву для видобутку блочного каменю. Визначити переваги застосування алмазного канату для відокремлення блоків. Розраховувати оптимальні кути заведення канату.

Переваги застосування алмазного канату для відокремлення блоків від масиву. В сьогоденні стало популярним застосовувати алмазне пиляння, для відділення блоку від масиву у підприємств, які займаються видобуванням блочного каменю. Дана технологія має такі переваги у порівнянні із іншими, як: економічно-доцільний, зручний

у використанні та малий вплив на екологічний стан навколишнього середовища. Поверхня готового блока на кожній грані має значну мікротріщинуватість при застосуванні буроклинових та буровибухових технологій для відокремлення монолітів від масиву. Дана проблема обумовлює необхідність у відокремленні тріщинуватої частини блоку шляхом пасерування монолітів із застосуванням алмазно-канатного різання.

Різноманітність конструкцій сучасних алмазних канатів дає можливість використання алмазно-канатного способу різання для видобування каменю будь-якого типу. Алмазно-канатні установки надзвичайно мобільні та гнучкі у технологічному плані порівняно з застарілим типом канатного різання – канатно-абразивними установками, та іншим видобувним обладнанням. Ці установки не мають обмеження по висоті видобувного уступу та не потребують великого об'єму підготовчих робіт. При комплексній механізації лаконічно поєднуються із іншим обладнанням. Широка зацікавленість алмазними канатними установками яскраво показує перспективність використання даного каменевидобувного обладнання.

Для збільшення конкурентоспроможності товарів вітчизняних каменевидобувних і каменеобробних підприємств на внутрішньому і міжнародному ринку варто накопичувати продуктивність видобутку блоків природного каменю та покращувати їх якість. Алмазно-канатне різання є одним із способів досягнення цієї мети завдяки універсальності, технологічній гнучкості, простоті конструкції та високому ступеню ресурсозбереження [2].

Найекономічніший результат буде досягнуто при найменшій кількості заходок. Залежно від кута α забурювання також буде змінюватися кінцева ширина траншеї (рис. 1) та кількість заходок (рис 2). Графік описує залежність:

$$\alpha = 13,79 \cdot n + 50,42$$

де α – кут заведення канату;
 n – кількість заходок.

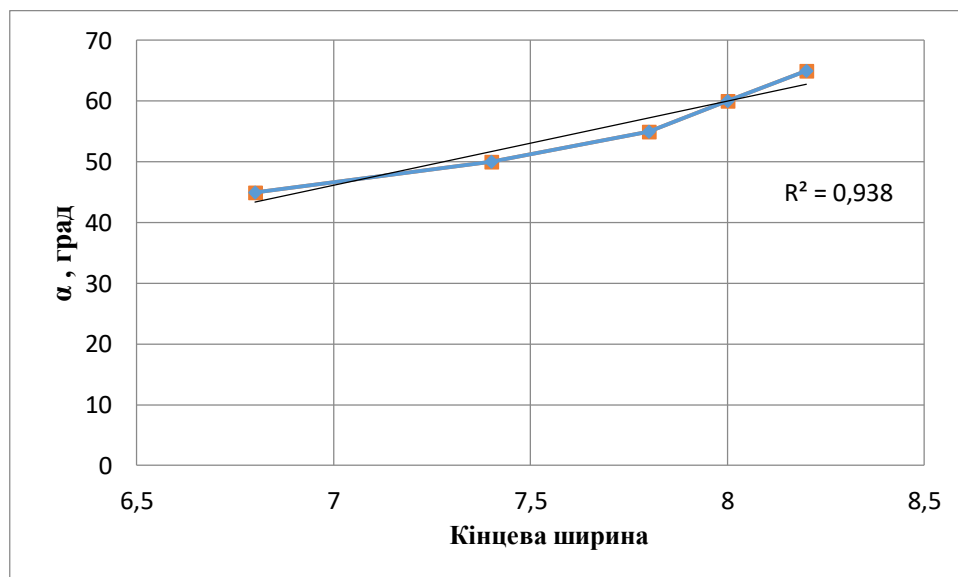


Рисунок 1. Залежність зміни кінцевої ширини траншеї для досягнення проектної глибини 6 м

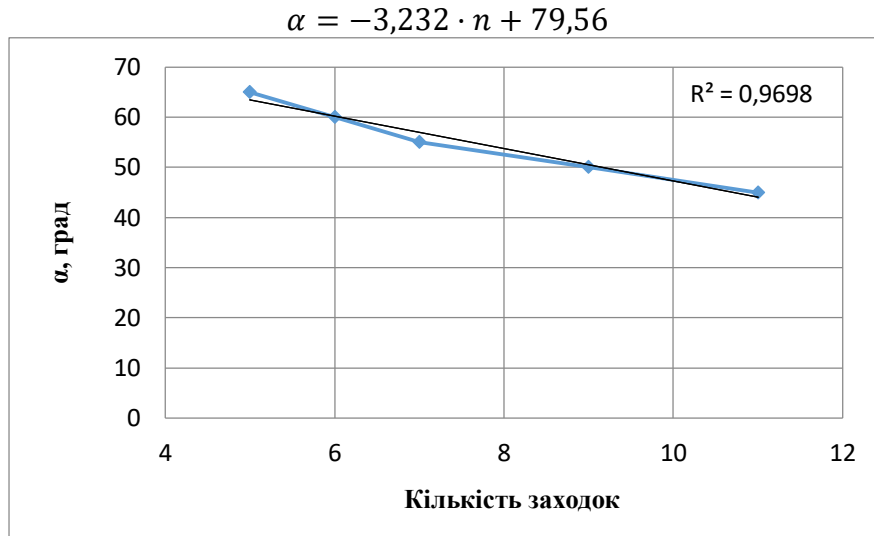


Рисунок 2. Зміна кількості заходок для досягнення проектної глибини 6 м

З графіка видно, що найбільш оптимальним та економічно вигідним буде забурення під кутом 65 град. При якому кількість заходок рівна п'яти.

Висновки. При видобуванні блоків декоративного каменю якісно-кількісні втрати каменю та викиди в навколишнє середовище формуються при всіх виробничих кар'єрних процесах, але найбільше вони утворюються при підготовці каменю до виймання. Найоптимальніший результат буде досягнуто при меншій кількості заходок, але при цьому потрібно приймати до уваги оптимальні об'єми товарних блоків. Тому розраховано оптимальні кути заведення канату: при однаковій початковій ширині 9 м та глибині 6 м, видно, що найбільший вихід товарних блоків буде при куті заведення канату $\alpha=60^\circ$; при змінній початковій ширині для досягнення проектної 6,6 м та глибині 6 м, видно, що найбільший вихід товарних блоків буде при куті заведення канату $\alpha=50^\circ$. Залежність між кутом заведення канату при відпрацюванні постільної площини є лінійною від кінцевої ширини траншеї. Також було доведено, що при зміні методу руйнування гірських порід з буро-вибухових робіт на відділення блоків від масиву із застосуванням алмазно-канатного різання та НРЗ викиди пилу та шкідливих газів зведуться практично до нуля.

Список використаної літератури:

1. Бакка М.Т., Гуменюк І.Л., Редчиць В.С. Екологія гірничого виробництва: Навчальний посібник. – Житомир: ЖДТУ, 2004. – 307 с.
2. Коробійчук В.В. Обґрунтування способу проведення капітальних траншей алмазно-канатною установкою // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – № 4 (59). – Житомир. – 2011. – С. 141–146

Науковий керівник Ткачук К.К.

**ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ
ГІДРОЦИКЛОНІВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД НА
МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ**

В статті обгрунтовано доцільність встановлення гідроциклонів на металургійних підприємствах. Проведено аналіз дійсних конструкцій на прикладі циліндроконічного гідроциклону. Проаналізовані аспекти роботи гідроциклону, що впливають на його роботу. Представлений гідроциклон який рекомендовано до впровадження в Дніпровському металургійному заводі. Описані його конструкційні особливості, наведені переваги та недоліки.

Ключові слова: гідроциклон, ефективність, продуктивність

In article there is a feasibility of installing hydrocyclones at metalmetalurgical factories. The analysis of the actual structures by the example of cylindrical conical hydrocyclone. Aspects of hydrocyclone operation that influence its operation are analyzed. Introduced hydrocyclone which is recomposed for implementation in the Dnipro Metallurgical Plant. Its design features are described, advantages and disadvantages are given.

Key words: hydrocyclone, efficiency, taperangle, solidparticle.

Вступ. Використання води на металургійних підприємствах є важливим етапом реалізації кінцевого виготовлення та обробки сировини. Вода потрібна для охолодження обладнання та очищення газів, підготовки продукції. Стічні води характеризуються високим вмістом суспензії і високою жорсткістю. Також вода може використовуватися для :

- 1- Гасіння клінкеру, кадмієвого і електролітного вилуговування. Вона забруднюється суспензіями, міддю, цинком, хлоридами, сульфатами. $pH = 1 - 7,6$;
- 2- грануляції шлаків, охолодження кесонів, грануляції міді.

Зазвичай основними забрудниками стічних вод на металургійних підприємствах виступають: зважені речовини, ціаніди, кислоти, при виготовленні феромарганцю додається ще висока лужність, роданіди, сульфати і хлориди. Для очищення можуть застосовуватися коагулятори, відстійники, флотатори, гідроциклони, гравійний і піщані фільтри.

Сучасні методи очищення стічних вод на металургійних підприємствах включають в себе технологічні спорудження для виділення металів з стічних вод (іонний обмін, зворотний осмос, адсорбція, електродіаліз та механічного очищення - відстійники, фільтри та гідроциклони, що знайшли більшу популярність через свою відносну дешевизну, надійність та простоту конструкції.

При всьому різноманітті конструктивного виконання можна виділити чотири основні групи: циліндричні, конічні, циліндроконічні гідроциклони, а також турбоциклони. Найбільшого поширення, як в вітчизняному промисловому виробництві, так і за кордоном, отримали циліндроконічні гідроциклони [1-3].

Проведено аналіз роботи гідроциклонів зарубіжної фірми AKW [4]. На Рис.1 представлені залежності вловлювання частинок від зміни діаметра гідроциклону. Даний

графік дозволяє визначити, які гідроциклони необхідно використовувати для улову частинок заданого розміру. Наприклад, для частинок кварцового піску розміром 50 мікрон теоретично повинен підійти гідроциклон діаметром від 200 до 270 мм. зрозуміло, ймовірність улову частинок заданого розміру буде вище на гідроциклоне меншого діаметра (тобто 200 мм).

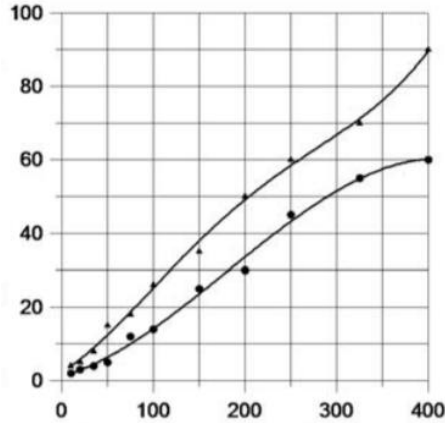


Рисунок 1. Залежність діаметра вловлених частинок, мкм (по вертикалі) від діаметра гідроциклону, мм (по горизонталі)

Важливим технологічним показником є продуктивність гідроциклону. На рис. 2 представлені мінімальна і максимальна продуктивності гідроциклонів в залежності від їх діаметрів.

Залежно від розміру вловлення частинок (рис.1) можна визначити яку максимальну і мінімальну продуктивності може забезпечити один гідроциклон.

Для очищення великого потоку рідини від дрібнодисперсних частинок доцільне використання батарейних гідроциклонів. Видно, що для тонкого очищення необхідні гідроциклони розміром від 40 до 100 мм, а для надтонкою з тієї ж продуктивністю доцільне використання батарейних гідроциклонів діаметром менше 40 мм.

Аналіз проводився на основі даних, отриманих для гранульованих шлаків, міді, кварцового піску з максимальною масовою часткою шламу в суспензії 10%.

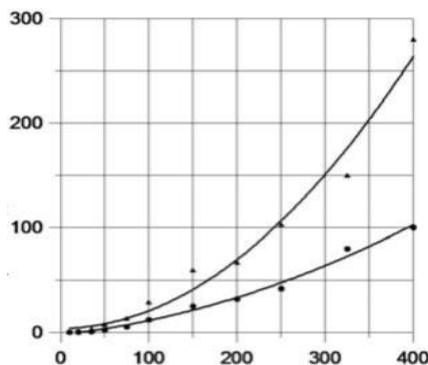


Рисунок 2. Залежність продуктивності, м³/год (по вертикалі) від діаметру гідроциклону, мм (по горизонталі)

Однією з найбільш важливих характеристик гідроциклону є ступінь поділу. Відомо, що сила, що діє на частинку в полі відцентрових сил, прямо пропорційна масі і

квадрату лінійної швидкості, і обернено пропорційна радіусу гідроциклону. На рис. 3 показано, як змінюється ступінь поділу в залежно від розмірів частинок. аналіз був проведено для гідроциклону діаметром 350 мм при відділенні кварцового піску, гранульованої міді та шлаків [5].

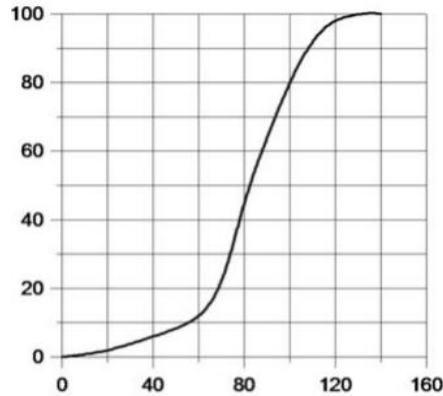


Рисунок 3. Залежність рівня розподілу, % (по вертикалі) від розмірів частинок, мкм (по вертикалі)

Проаналізувавши вплив конструктивних факторів на роботу гідроциклону, була підібрана конструкція гідроциклону для очистки суспензії на Дніпровського металургійного заводу.

Гідроциклон складається з циліндричного корпусу 1, 2, тангенціально розташованого патрубку 4 для введення забрудненої рідини, нижнього сопла 3 для відведення згущеного осаду, патрубку 5 для виходу очищеної рідини, фланцевих з'єднань 6, 7, 8, 9, розвантажувальної насадки, що включає втулку 11, упор 12, гайки 13. Кут між твірною частини називається кутом конусності гідроциклону. Зі зменшенням кута конусності ефективність очищення змінюється. Гідроциклон встановлюється в вертикальному положенні і кріпиться до рами з допомогою фланця 12. Потім до нього кріпиться підвідний і зливний трубопроводи рис. 4.

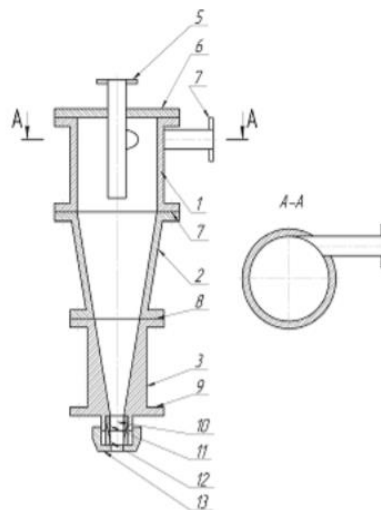


Рисунок 4. Гідроциклон: 1 – циліндр; 2 – конус; 3 – сопло; 4 – патрубок входу; 5 – патрубок виходу; 6,7,8,9 – фланцеві з'єднання; 10 – вихід шламу; 11 – втулка; 12 – упор; 13 – гайка

Ефективність роботи гідроциклона визначається співвідношенням його конструктивних розмірів. Оптимальне співвідношення конструктивних розмірів гідроциклону залежить від фізичних властивостей забрудненої рідини (в'язкості суспензії, в'язкості дисперсної середовища, вмісту в ній твердих частинок, їх гранулометричного складу і їх питомої ваги) [6].

Зміна зазначених конструктивних співвідношень i , в першу чергу, так званого розвантажувального співвідношення (відношення діаметра розвантажувального отвору до діаметра зливного отвору) є одним з основних методів регулювання роботи гідроциклона (продуктивності, крупності розділення, виходу верхнього зливу і розвантажувальної рідини і вмісту в них твердих частинок).

Висновки.

В даній статті було доведено доцільність встановлення гідроциклонів для металургійних заводів. Встановлено залежності вловлення частинок від діаметра гідроциклону, також визначено залежність продуктивності від діаметру гідроциклона. Знайдено залежність рівня розподілу від розміру частинок. Розглянуто будову та функціональну складову, визначено переваги та недоліки гідроциклона.

Список використаної літератури:

1. Терновский, И.Г. Гидроциклонирование / И.Г. Терновский, А.М. Кутепов. М.: Наука, 1994. - 350 с.
2. Валеєв, С.И. Гидродинамика цилиндрических и цилиндроконических гидроциклонів с малым расходом через верхний слив. / Н.И. Степанов, В.А. Иванов, В.А. Булкин // Вестник Казанского государственного технологического университета 1998, №2 - с. 56-59.
3. Пат. 2465060 РФ, МПК В04С5 00/06, В03В5 34/06. Гидроциклон системы фракционного разделения суспензий руд тонкого помола / С.Г. Валухов, В.Н. Веселов, А.И. Житенёв, В.П. Запорожец, Н.П. Селиванов; заявитель и патентообладатель ЗАО "ТЭН". - № 2011139037/05; заявл. 26.09.2011; опубл. 26.09.2011, Бюл. № 45 - 5с.
4. Найденко В.В. Применение гидроциклонів в технологических процессах очистки природных и сточных вод/ В.В. Найденко// Исследование и промышленное применение гидроциклонів. Горький. 1981. 180 с
5. Шестов Р.Н. Гидроциклоны / Р.Н. Шестов Л.: Машиностроение, 1967, - 77 с.
6. Поникаров, С.И. Интенсификация технологических процессов использованием центробежного поля / И.И Поникаров, В.А. Булкин, О.А. Перелыгин // Вестник Казанского технологического университета. 1998, №1, - С.96.

Науковий керівник Репін М.В.

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЗАХИСТУ ЛЮДИНИ ВІД ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ МОБІЛЬНИХ ТЕЛЕФОНІВ

Проаналізовано проблему користування мобільних телефонів, роль їх електромагнітного випромінювання як причини виникнення раку та утворення пухлин головного мозку. Зроблено огляд існуючих досліджень на базі яких запропоновано використання екрануючих матеріалів для зменшення впливу на здоров'я людини.

Ключові слова: мобільні телефони, електромагнітне випромінювання, радіохвилі, ефект екранування.

Key words: mobile phones, electromagnetic radiation, radio waves, shielding effect.

Вступ. За даними статистичних сайтів кожного дня продається більше 2000000 смартфонів [1]. Для кожного з нас мобільний телефон став не просто помічником, а й невід'ємною частиною нашого організму. Ми прокидаємося із дзвінком нашого будильника і лягаємо гортаючи соціальні мережі. В залежності від стилю життя дзвінки починаються у середньому з 9 години ранку та продовжуються до 19 години вечора, з яких мобільним зв'язком я користуюсь 40 хвилин на день, при рівні звукового впливу навушників на рівні 91 дБ за 21 годину 34 хвилини протягом тижня; а мій загальний екранний час користування телефоном 5 годин 44 хвилини на день, і 41 година 57 хвилин на тиждень. І це враховуючи, що я користуюсь постійно лише одним месенджером у середньому за день 1 годину 55 хвилин, пошуковою системою – 1 годину 27 хвилин та хостінгом Youtube лише 27 хвилин на день. Серед друзів я найменш активний користувач соціальних мереж, прихильник розмов по телефону та мій телефон слугує більше плеєром, ніж гаджетом без якого мені аж ніяк не обійтись. Середньостатистичний користувач витрачає, в свою чергу, 3 години 51 хвилину на день на такі соціальні мережі, як Facebook, Instagram, Snapchat, а також найпопулярніший хостінг Youtube, що за все життя складає 5 років 4 місяці, не враховуючи час, витрачений на перегляд телевізійних програм та фільмів, який складає 7 років 8 місяців за все життя [2]. Зараз все більша і більша кількість користувачів оформлюють підписку на цифрові сервіси : новини, музика та мобільне телебачення, і наприклад компанія Apple прогнозує охопити аудиторію у 500 млн платних підписників на таких сервісах уже у наступному році.

Такі дані свідчать лише про те що у всьому світі мобільні телефони перетворюються на мультизадачні гаджети і час їх використання серед населення збільшується. Стільникові телефони (включно зі смартфонами) віддають у навколишнє середовище енергію у формі радіочастотних хвиль, що підвищує стурбованість суспільства з приводу їх використання.

Мета роботи. Аналіз впливу електромагнітного випромінювання мобільних телефонів на здоров'я людини та визначення способів його зменшення.

Завдання: розглянути ЕМВ стільникового телефону та причини занепокоєності суспільства; запропонувати спосіб підвищення рівня захисту населення від радіохвиль.

Актуальність проблеми використання смартфонів. Радіохвилі є формою електромагнітного випромінювання, що розподіляються за частотою в межах 0,3...3 ГГц, а за довжиною хвилі в межах 1...10 метрів, тобто відносяться до діапазону ультрависоких частот та ультракоротких хвиль і використовуються у сфері бездротового (LAN, Bluetooth, GPS), космічного, радіорелейного, вищезазначеного мобільного зв'язку і телебачення [3]. Антена, що передає або приймає сигнал в радіусі або межі базової станції стільникового зв'язку, розташовується всередині конструкції телефону, який під час розмови знаходиться безпосередньо близько до нашого мозку.

Так, як і звичайне видиме світло та тепло, радіочастотні хвилі є формою неіонізуючої радіації і їх енергії недостатньо, щоб викликати рак напряму пошкоджуючи внутрішньоклітинну структуру ДНК. Вони відрізняються від більш сильного іонізуючого випромінювання, такого як рентгенівське, гамма-променів та ультрафіолетових променів, що руйнують хімічні зв'язки ДНК.

При дуже високих рівнях радіохвилі можуть нагрівати тканини тіла. (Явище — основа роботи мікрохвильової печі). Але енергія виділяється на дуже низькому рівні і недостатня для підвищення температури тіла.

З огляду на суспільну занепокоєність у 1996 році Всесвітня організація охорони здоров'я провела ретроспективне дослідження Interphone. За результатами їхнього дослідження було виявлено, що ефект мікрохвильового опромінення від мобільних телефонів суттєво залежить від інтенсивності користування мобільним телефоном. Так, ризик розвитку гліом у користувачів мобільних телефонів зростав у 3,77 рази, якщо вони мали 1640 годин користування мобільним зв'язком протягом 1-4 років життя (наприклад, користувалися мобільним телефоном понад годину щодня протягом 4-х років). Ризик розвитку менінгіом зростав у таких користувачів у 4,8 рази [4].

Датське когортне дослідження. Велике довготривале дослідження порівняло всіх людей у Данії, які мали підписку на стільниковий телефон у період між 1982 і 1995 роками (близько 400 000 осіб) з людьми, які не мають передплати, щоб шукати можливе збільшення пухлин мозку. Останнє оновлення дослідження відбулося за людьми через 2007 рік. Використання стільникового телефону, навіть більше 13 років, не було пов'язане з підвищеним ризиком виникнення пухлин мозку, пухлин слинної залози або раку в цілому, а також не було зв'язку з жодним мозком підтипу пухлини або з пухлинами в будь-якому місці в мозку.

Українськими вченими оцінювалися відповідність рівнів мікрохвильового випромінювання комерційних мобільних телефонів національним санітарним нормам та суб'єктивні відчуття 173 студентів вишів 2-го та 4-го рівнів акредитації віком від 17 до 19 років (53,8 % становили дівчата, 46,2 % – хлопці) під час тривалого користування мобільним зв'язком [5]. На момент опитування (2011 р.) студенти користувалися мобільним телефоном від 3-х до 6-ти років. Проведене дослідження виявило, що інтенсивність мікрохвильового випромінювання мобільних телефонів національних користувачів у ряді випадків не відповідає національним нормам електромагнітної безпеки. Рівень щоденного користування мобільним телефоном опитаною студентською молоддю у більшості випадків (82,6 %) значно перевищує міжнародні норми. При цьому суб'єктивні відчуття фізичного дискомфорту або болю (у голові чи у вусі) під час тривалих розмов з мобільного телефону виникають у 20–63,6 % студентської молоді і тісно корелюють з інтенсивністю щоденного користування мобільним телефоном

Способи підвищення рівня захисту людини від ЕМВ. Для зменшення впливу ЕМВ поширення набуває застосування екрануючих матеріалів. виготовлення екранів

базується на теорії електромагнітної інтерференції. Коли електромагнітна хвиля проходить крізь екран, вона частково поглинається і розсіюється. Складний механізм поширення, поглинання і відбивання ЕМВ в широкому діапазоні частот пропонує безліч матеріалів для створення таких екранів. Металеві екрани відомі уже давно і мають широке використання. Вони відзначаються високою ефективністю, яка збільшується у разі підвищення частоти падаючого ЕМВ. Виготовляють їх з суцільних і перфорованих листів, сіток, ґрат, трубок. Екрануючі властивості листового металу вищі, ніж у сітки, проте сітка технологічно зручніша. Однак металічні листи мають високу ціну, а виготовлення з них екранів і їх експлуатація потребують великих витрат. Коррозія та напруженість зварювальних швів при монтажі знижують надійність та довговічність таких екранів, тому останнім часом наряду з традиційними методами застосовують фольгові та металізовані матеріали, струмопровідні фарби та клеї, радіопоглинаючі будівні матеріали. Одним з їх різновидів є захисна екрануюча тканина, що містить пряжу з арамідних і металевих волокон, пряжа виконана багатокomпонентною із шпательних волокон, узятих у наступному співвідношенні 5-15% – поліамідне волокно, 20-41% – арамідне волокно, 44-70% – металеве волокно, причому структура тканини складається з однієї уточної та однієї основної ниток. Як арамід застосований метаарамід, параарамід або їх суміш. Металеві волокна виконані з неіржавіючої сталі. Вони можуть бути забезпечені гальванічним покриттям. Поверхнева щільність пряжі знаходиться в діапазоні 110-600 г / м². Тканина може бути виготовлена полотняним, саржевим, сатиновим, атласним або змішаним переплетенням. Розмір шпательних волокон становить 40-55 мм. Електричний опір тканини становить не більше 10 Ом.

Оцінка ефективності дії екрануючого матеріалу. Для оцінки ефективності дії екрануючого матеріалу використовується такий параметр як ефективність екранування (або екранне затухання) – це ступінь ослаблення складових поля (електричної або магнітної), що визначається як відношення діючих значень напруженості полів в даній точці простору при відсутності і наявності екрану. Оскільки таке відношення може набувати великих значень, то зручніше користуватися логарифмічним представлення цієї величини. Вимірюється екранне затухання в децибелах (дБ) [6,7,8]. Теорія вимірювання. Ефективність екранування вимірюється передачею СВ-сигналу та вимірюванням рівень переданого сигналу приймальною антеною (або зондом) з і без щита за умови, що: у налаштуванні нічого не змінюється, крім розміщення щита; ізоляція між двома сторонами щита більша, ніж передбачалося ефективністю екранування (вплив сигналів, які могли обійти щит, має бути достатньо мінімізований). Потім ефективність екранування визначається:

$$(в дБ) = 20 \log (E1 / E2) \quad (1)$$

де E1 і E2 - сигнали, виміряні приймальною антеною з і без щита, використовуючи однакові настройки фізичного тесту для обох вимірювань.

Оскільки аналізатори спектру зчитують потужність, ефективність екранування визначається в дБ, як різниця між двома захищеними та незахищеними рівнями потужності, зчитується в дБ/м.

Детальний порядок випробувань. Генератор аудіосигналів був встановлений для генерації 60 та 300 Гц сигналів, які були посилені для потужності приводу дротяної котушки для генерації великих магнітних полів. Дріт золотник використовувався як генератор магнітного поля і розміщувався всередині корпусу, заповненого ферритовою плиткою і має прямокутний отвір трохи менше, ніж матеріали досліджуваного

екіпування. Калібрований зонд Гауссового метра розміщувався у фіксованому положенні, зверненому до відкриття. Було відмічено динамічний діапазон зонда, і налаштовувався необхідний динамічний діапазон системи наступним чином: отвір було закрито товстим сталевим шаром ферритової плитки; рівень звукового струму збільшувався до мінімального; дійсне показання, відзначене специфікаціями лічильника Гаусса, було досягнуто без підсилення переходу стиснення; рівень був записаний як L_1 (якщо підсилювач увійшов, якщо підсилювач увійшов у фазу стиснення до досягнення цього мінімуму, точка рівня Гаусса при стисненні була записана як L_1); потім металферритову пластину зняли і зонд, розміщений на такій самій відстані від отвору, як і металферритова плита (якою являється товщина феритового штабеля); цей рівень був записаний як L_2 . Різниця двох рівнів магнітного поля була встановлена як максимальний динамічний діапазон(DR) системи.

Потім матеріал розміщували для покриття та екранування всього отвору; рівень звукового струму повільно збільшувався до рівня незахищеного (відкритого) стану; а Рівень Гаусса був записаний як L_3 . Ефективність екранування обчислювали як

Частота = 300 Гц; $L_1 = 12$ мГ (екранування товстими феритовими плитками); $L_2 = 3,2$ Гаусса; $DR = (3,2 - 0,012) / 3,2 = 99,63\%$; $L_3 = 56$ мГ (екранування матеріалу); 300 Гц) = $(L_2 - L_3) / L_3 = 98,25\%$.

Частота = 60 Гц; $L_1 = 79$ мГ (екранування товстими феритовими плитками); $L_2 = 6$ Гаусса; $DR = (6 - 0,079) / 6 = 98,68\%$; $L_3 = 290$ мГ (екранування матеріалу). 300 Гц) = $(L_2 - L_3) / L_2 = 95,16\%$.

Процедура, що використовується для вимірювання високої частоти, вимагала адекватного рівня ізоляції між передавальною та приймальною сторонами вимірювальної системи. У міру необхідності було підтверджено, що рівень ізоляції перевищує передбачену ефективність екранування принаймні на 6 дБ. Динамічний діапазон системи (DR) був встановлений аналогічно низькочастотному методу.

де P_2 — потужність вимірюється спектральним аналізатором, на якому підсилювач все ще працює лінійної області, але поблизу стиснення, коли щита не встановлено, і P_1 на 3 дБ вище порогового значення шуму [6].

Калібровані генератори сигналів використовувались для подачі сигналів на різних частотах. А передавальну антену розміщували всередині металевому корпусу (обличчям до отвору або матеріалу) для отримання поля. Сигнали, що приймаються антеною, розташовані поза корпусом і звернені до отвору або матеріалу, підсилюються і подаються в аналізатор спектру. Різниця в двох вимірах (один з матеріалом і один з отвором), записана аналізатором спектру, була використана для визначення ефективності екранування, як розраховано нижче:

у

де u – будь-яке регулювання для збільшення рівня вихідного сигналу генератора до перевищення рівня шуму мінімум на 3 дБ;

- показник у дБм за спектром аналізатора, коли встановлено матеріал,
- показник у дБм за спектром аналізатора, коли корпус відкритий.

Параметри аналізатора спектру були такими: дозвільна роздільна здатність = 300 Гц, пропускна здатність відео = 1 КГц, інтервал = 20 КГц, динамічний діапазон близько 90 дБ.

Примітка. Якщо сигнали навколишнього середовища були присутні на тестових частотах, тестові частоти булитрохи зміщені (менше 10 КГц), щоб уникнути перекриття.

Аналіз результатів випробувань наведений в таблиці показує, що виготовляється з запропонованої тканини, дозволяє забезпечити захист людини від випромінювань в широкому діапазоні радіочастот, відповідних більшості груп промислових і побутових джерел електромагнітних випромінювань [7].

Таблиця 1. Результати тесту випробувань матеріалу в радіоелектропромисловості

| Частота, МГц | Ефективність екранування, дБ | | Ефективність екранування, % | |
|--------------|------------------------------|-------------|-----------------------------|----------|
| | Горизонтальна | Вертикальна | | |
| 800 | -36,1 | -30,9 | 99,97545 | 99,91872 |
| 1700 | -34,9 | -26,1 | 99,96764 | 99,75453 |
| 1900 | -34,2 | -25,8 | 99,96198 | 99,73697 |
| 2100 | -33 | -24,5 | 99,94988 | 99,64519 |
| 5000 | -28,9 | -21,1 | 99,87118 | 99,22375 |

Висновки. Проблема користування мобільними телефонами досить суперечлива і вимагає проведення більш глибоких досліджень із залученням різних вікових та соціальних груп, а також операторів мобільного зв'язку і виробників смартфонів. Виявлено, що для підвищення рівня захисту здоров'я людини можна використовувати екрануючі матеріали для створення аксесуарів, які легко знайти у повсякденному житті.

Список використаної літератури:

6. Worldometer -Realtime worldstatistics [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.worldometers.info/>.
7. Багданас В. В. разработка требований к производству альтернативного топлива на полигонах твердых коммунальных отходов / В. В. Багданас, І. О. Тихонова. // Успехи в химии и химической технологии. – 2017. – №9. – с. 62–64.
8. Перспективы использования комплекса оптико-механической сортировки с целью извлечения энергетического потенциала ТБО / Я. В.Базилева, Д. Л. Борісов, В. Н. Коротасєв, Я. И. Вайсман. // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. – 2013. – №3. – с. 138–145.
9. Interphone study reports on mobile phone use and brain cancer risk. // International Agency for Research on Cancer. – 2010.– №200. – С. 2.
- CHNOLOGIES OF SOCIETY DEVELOPMENT [Електронний ресурс] / [В. Gajdzik, Y. Bilotserkivska, T. Zubro та ін.] // The Academy of Management and Administration in Opole. – 2019. – Режим доступу до ресурсу:
11. Про затвердження Державних санітарних норм допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови [Електронний ресурс] // МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/z0281-19>.

12. Сильченко Е. В. Разработка тканей для специальной профессиональной одежды с защитой от электромагнитного излучения : дис. канд. техн. наук : 05.19.02 / Сильченко Елена Владимировна – Москва, 2018. – 147 с.

Науковий керівник Тверда О.Я.

ЗАЛЕЖНІСТЬ МІЦНОСТІ ПАПЕРОВОЇ ПЛИТИ НА ОСНОВІ ВОЛОКНИСТОГО СКОПУ ВІД ЇЇ ОСНОВНИХ СКЛАДОВИХ

У роботі досліджено залежність міцності на вигин зразків паперових плит на основі волокнистого макулатурного скопу від її основних складових. Встановлено, що зі зменшенням вмісту целюлози з одночасним збільшенням вмісту полівінілацетатного клею міцність паперової плити зростає.

Ключові слова: міцність, волокнистий скоп, паперова плита, переробка відходів.

It is observed the dependence of the bending strength of samples of paper plates based on fibrous osprey on its main components. It was found that the strength of the paper plate increases with a decrease in the content of cellulose with a simultaneous increase in the content of PVA adhesive.

Key words: bending strength, fibrous osprey, paper plate, waste recycling.

Вступ. Переробка макулатури в картонно-паперовому виробництві має важливе значення з точки зору ресурсозбереження, проте, ряд технологічних етапів, зокрема розпуск макулатури, груба та тонка очистка, сортування, фракціонування тощо відбувається з утворенням твердих відходів. Крім того, внаслідок низької якості вторинної сировини в порівнянні з первинною локальні споруди очистки стічних вод картонно-паперових підприємств зазнають додаткового навантаження через високий вміст волокна у стоках, відокремлення якого знову ж таки відбувається з утворенням відходів. Незначна частка відходів переробки макулатури та очистки стічних вод повторно повертається у виробничий цикл, підлягає утилізації. Значна частина відходів картонно-паперового виробництва у зв'язку з відсутністю технологій утилізації та рециклінгу підлягає розміщенню на промислових полігонах. За даними Держкомстату, найбільше утворюється волокнистого макулатурного скопу: на промислових полігонах України розміщено 55 548,6 т [1] волокна, накопиченого на очисних спорудах протягом 2017-го року та 55 436,132 т [2] протягом 2018-го року.

Аналіз останніх досліджень і публікацій вітчизняних учених галузі свідчить про намагання розв'язати проблему шляхом розробки технології утилізації та повторного використання волокнистого скопу. У роботі [3] запропоновано додавання зневодненого волокнистого скопу до розпущеної, очищеної від домішок, готової до відливки паперової маси в обсязі до 6 % при виробництві групи паперу санітарно-гігієнічного призначення. Варто зауважити, що додавання волокнистого скопу до картонної чи паперової маси істотно впливає на фізико-механічні властивості кінцевого виробу, що проявляється у зменшенні міцності, еластичності паперу та опору на розтяг.

У роботі [4] розроблено склад конструкційно-теплоізоляційного матеріалу на основі золи та волокнистого скопу. Вченими встановлено, що матеріал з вмістом 60% золи, 20% цементу, 10% скопу та 10% негашеного вапна забезпечить теплопровідність 0,17 Вт/(мК). У роботах [5, 6] розроблено технологію отримання біоетанолу та біометану, що утворюється внаслідок аеробного та анаеробного зброджування волокнистого макулатурного скопу в біореакторі. Важливим недоліком запропонованої технології є утворення значного обсягу побічних відходів, що в даному випадку

неприпустимо. Крім того, у роботі [5] запропоновано ідею використання волокнистого скопу як компонента дерево-волокнистих плит і сировини для будівельних матеріалів.

Проведений детальний аналіз досліджень і публікацій підтверджує, що ідея використання волокнистого скопу як основи паперової плити подальшого розвитку не набула. Враховуючи перспективність ідеї, вважаємо за доцільне дослідити можливість вирішення проблеми розміщення волокнистого скопу на промислових полігонах шляхом повторного використання останнього як основи екологічно прийнятної паперової плити.

Мета та завдання. Метою роботи є встановлення залежності міцності при вигині паперової плити на основі волокнистого скопу від зміни її складу.

Для досягнення мети поставлено наступні завдання:

- з'ясувати склад волокнистого макулатурного скопу;
- визначити властивості, яким повинна задовольняти клейова суміш для склеювання волокнистого скопу;
- дослідити міцність при вигині паперових плит з різним складом основи.

Матеріал і результати дослідження. Під час дослідження в якості зразка використано волокнистий скоп, що утворюється під час очистки стічних вод на локальних очисних спорудах ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат». Відповідно до висновку державної санітарно-епідеміологічної експертизи №12.2-18-1/12489 від 07.06.2019, скоп волокнистий макулатурний, що утворюється на підприємстві, відповідає встановленим медичним показникам і критеріям безпеки і має склад, визначений методом інфрачервоної спектроскопії, представлений у табл. 1.

Таблиця 1 – Склад волокнистого скопу, що утворюється ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат»

| Компонент | Целюлоза | Геміцелюлоза | Лігнін | Екстрактивні речовини | Мінеральні речовини |
|-----------|----------|--------------|--------|-----------------------|---------------------|
| Вміст, % | 49 | 23 | 24 | 3,6 | 0,4 |

Враховуючи склад та властивості відповідного зразка волокнистого скопу, встановлено, що клейова суміш для його склеювання повинна відповідати таким вимогам:

- забезпечувати достатню міцність для готового виробу;
- бути середньої консистенції між густою і рідкою для того, щоб волокнистий скоп не коробився від надлишкової вологи, але одночасно рівномірно розподілявся по склеюваній поверхні;
- володіти хорошими адгезивними властивостями, оскільки склеюється пористий матеріал;
- забезпечувати еластичність клейового шву при застиганні;
- не роз'їдати волокнистий скоп, не руйнувати волокна целюлози, геміцелюлози;
- не містити токсичних речовин, випаровування яких здатне нанести шкоду здоров'ю людини, а також різких неприємних запахів;
- забезпечувати довговічність клейового з'єднання.

У табл. 2 представлено асортимент поширених клейових сполук і проведено аналіз їх відповідності попередньо встановленим вимогам.

Таким чином, встановлено, що в якості клею для формування паперової плити на основі скопу можливо використовувати універсальний полівінілацетатний клей, що задовольняє всім встановленим критеріям.

Відповідно до затвердженої методики [8], досліджувані зразки плити повинні відповідати геометричному співвідношенню [(25h+50) мм × 75 мм], де h – товщина плити, мм. Оскільки товщина досліджуваних зразків складає 3 мм, їх розміри становлять 125 × 75 мм.

Зразки паперових плит відтворено подібно технології виробництва деревоволокнистих плит сухим методом. Для цього волокнистий скоп (та целюлозу) з'єднано з універсальним ПВА клеєм і спресовано та висушено протягом 1 хв при температурі 80 °С під навантаженням 5 МПа за допомогою термопресу Schulze BIGomatik 70100.

Таблиця 2 – Асортимент клейових сполук та аналіз їх відповідності вимогам

| Клей [7] | Відповідність клею вимогам відповідно до [7] | | | | | | |
|--------------------------------|--|----------------------|------------------------------|---|-------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| | Забезпечення міцності паперової плити | Середня консистенція | Високі адгезивні властивості | Забезпечення еластичності клейового шву | Не руйнує волокна скопу | Не містить токсичних речовин | Забезпечення довговічності з'єднання |
| Силікатний | + | + | + | - | + | + | + |
| Термоклей | + | - | + | - | + | + | + |
| Гуміарабік | + | + | + | + | + | + | - |
| Крохмально-борошняний клейстер | - | - | - | - | + | + | - |
| ПВА Канцелярський | + | - | + | + | + | + | + |
| ПВА Побутовий | + | - | + | + | + | + | + |
| ПВА Універсальний | + | + | + | + | + | + | + |
| ПВА Будівельний | + | - | + | - | + | + | + |

Далі спресовані висушені зразки плит встановленого розміру досліджено на міцність на вигин за допомогою гідравлічного пресу Holzmann WP 100H. Всього досліджено 6 зразків з різними співвідношеннями основних складових, що представлені в табл. 3. Зразок №1 являє собою 200 г чистого скопу, зразок №2 – 200 г скопу та 20 г клею, зразок №3 – 200 г скопу та 30 г клею, зразок №4 – 200 г скопу та 40 г клею, зразок №5 – 200 г скопу та 45 г клею, зразок №6 – 200 г скопу та 50 г клею.

Таблиця 3 – Склад зразків паперових плит, що випробовувалися на міцність на вигин та їх межі міцності

| № зразка | Склад зразка паперової плити, масові % | | | | | Межа міцності на вигин, Н/мм ² |
|----------|--|--------------|--------|------------------------------------|------------------------|---|
| | Целюлоза | Геміцелюлоза | Лігнін | Екстрактивні й мінеральні речовини | Клей ПВА універсальний | |
| 1 | 49 | 23 | 24 | 4 | 0 | 27,5 |

| | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|-------|--------|------|
| 2 | 44,545 | 20,91 | 21,819 | 3,636 | 9,091 | 28,5 |
| 3 | 42,609 | 20 | 20,87 | 3,478 | 13,043 | 28,9 |
| 4 | 40,833 | 19,166 | 20 | 3,333 | 16,666 | 29,3 |
| 5 | 40 | 18,775 | 15,592 | 3,265 | 18,367 | 29,5 |
| 6 | 39,2 | 18,4 | 19,2 | 3,2 | 20 | 29,7 |

У результаті обробки експериментальних даних встановлено, що зміна міцності на вигин паперової плити на основі волокнистого скопу є лінійною залежністю і описується наступним рівнянням множинної регресії:

$$P = 43.1605 - 8118.7961x_1 + 15192.9244x_2 - 6.4911x_3 + 11717.6206x_4 - 0.000893x_5, \quad (1)$$

де P – межа міцності паперової плити на вигин, Н/мм²;

x_1 – масова частка целюлози;

x_2 – масова частка геміцелюлози;

x_3 – масова частка лігніну;

x_4 – масова частка екстрактивних та мінеральних речовин;

x_5 – масова частка універсального полівінілацетатного клею.

Висновки. Міцність на вигин паперової плити на основі волокнистого скопу залежить від складу її основних елементів. Зі зменшенням частки целюлози, геміцелюлози, лігніну, екстрактивних та мінеральних речовин з одночасним збільшенням частки універсального полівінілацетатного клею межа міцності на вигин зростає. Найбільшої межі міцності на вигин досягнуто паперовою плитою з наступним складом: целюлоза – 39,2%, геміцелюлоза – 18,4%, лігнін – 19,2%, домішки – 3,2%, клей ПВА – 20% - 29,7 Н/мм², що на 8% вища у порівнянні з чистим волокнистим макулатурним скопом.

Залежність міцності на вигин паперової плити на основі волокнистого скопу від основних її складових носить лінійний характер. Враховуючи коефіцієнт кореляції, що складає -0,99, можна стверджувати про сильний зв'язок залежності.

Відповідно до класифікації волокнистих плит [8], плита товщиною 3 мм повинна забезпечувати міцність на вигин не менше 29 Н/мм². Встановлено, що зразки №4-6 відповідають даним вимогам. Крім того, встановлено, що зразки паперових плит №4-6 відповідно до їх межі міцності відносяться до групи твердих волокнистих плит, тому можуть використовуватись в якості задніх стінок корпусних меблів, у будівельних конструкціях тощо.

Перелік використаних джерел:

1. Утворення відходів за класифікаційними угрупованнями державного класифікатора відходів у 2017 році [Електронний ресурс] // Держстат України. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/uv_zaklass/uv_zaklass_17u.xls (дата звернення 18.11.2019). – Назва з екрана.

2. Утворення відходів за класифікаційними угрупованнями державного класифікатора відходів у 2018 році [Електронний ресурс] // Держстат України. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/uv_zaklass/uv_zaklass_18u.xls (дата звернення 18.11.2019). – Назва з екрана.

3. Ванчаков М. В. Технология и оборудование для переработки макулатуры / М. В. Ванчаков, А. Г. Кулешов, Г. Н. Коновалова. – СПб: ГОУВПО, – 2010. – 98 с.

4. Новосад П.В. Теплоізоляційні матеріали на основі техногенних відходів / П.В. Новосад, Л.І. Челядин, В.Л. Челядин // Теорія і практика будівництва : зб. наук. праць. –

2009. – № 655. – С. 208-213.

5. Семінський О. О. Екобезпечні способи перероблення вологого осаду стічних вод целюлозно-паперового виробництва / О. О. Семінський, Ю. В. Мазепа, Г. Л. Рябцев. // XI Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів». – 2016. – С. 7–36.

6. Семінський О.О. Вплив температури на утворення біогазу з відходів целюлозно-паперового виробництва / О.О. Семінський, Ю.В. Мазепа // VI Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» : тези доп. – К. : НТУУ «КПІ», 2010. – С. 96.

7. Віхрєва Н.Д. ДСТУ EN 923:2008 Клеї. Терміни та визначення понять / Н. Д. Віхрєва. // Державний науково-дослідний інститут «Еластик». – 2008. – С. 7–36.

8. Кравченко І.В. ДСТУ EN 310:2006 Плити деревостружкові та деревоволокнисті. Визначення міцності на вигин перпендикулярно до поверхні плити / І.В. Кравченко. // Український науково-дослідний інститут «Ресурс». – 2007. – С. 3–10.

Науковий керівник Кофанова О.В.

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ВОДОВИКОРИСТАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

У статті проведено аналіз сучасного стану системи водопостачання, плати за водовикористання та водовідведення в Україні, порівняння її з Європейськими успіхами у даній сфері, а також пошук рішень для її вдосконалення, направлених на підвищення якості, доступності та надійності. Проаналізовано показники які впливають на якість водопостачання, проведено роботу з аналітичними та статистичними даними Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства.

Ключові слова: водопостачання, водовідведення, водокористування, комунальне господарство.

The article analyzes the current state of the water supply system, the payment for water use and drainage in Ukraine, comparing it with the European successes in this field, as well as finding solutions for its improvement aimed at improving quality, accessibility and reliability. Indicators that influence the quality of water supply were analyzed, work was done with analytical and statistical data of the Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services.

Keywords: water supply, drainage, water management, public utilities.

Актуальність теми. Потреби населення та промислових підприємств у прісній воді завжди займають одні з перших позицій для повноцінного функціонування.

Запаси прісної води в Україні у 8,5 разів менші від світового показника (на одного мешканця) і складають 1,04 тис м³[1].

Попри порівняно низьких запасах, також, далеко не всі мають можливість отримувати воду в достатній кількості і відповідного до стандартів рівня якості.

На стан сфери водопостачання та водовідведення впливають наступні фактори: фінансово-економічний, технічний, адміністративний, правовий, екологічний, політичний та соціальний.

Одним із факторів, які впливають на якість водопостачання та водовідведення, також, слід виділити систему нарахування плати, яка є досить застарілою в сучасних реаліях в порівнянні із закордонними.

Слід зазначити, що основними причинами забруднення поверхневих вод є скидання побутових і промислових стічних вод у водні об'єкти та через міську каналізацію, а також надходження у результаті поверхневого стоку води від діяльності сільськогосподарських угідь та забудованих територій.

Витрати свіжої води в Україні на одиницю виробленої продукції значно перевищують показники у країнах Європи: Німеччина – у 4,3 рази, Швеція та Великобританія – 4,2 рази, Франція – у 2,5 рази[6].

На якість поверхневих вод негативно впливає також скид шахтно-кар'єрних вод, які практично без очистки скидаються у поверхневі води в обсязі 295,3 млн м³[7].

Каналізаційні стоки потребують додаткового очищення, стічні води доволі часто потрапляють напряму у водні об'єкти без попередньої очистки чи підготовки.

При такому безперервному погіршенні загального стану поверхневих вод є постійна необхідність в очищенні та доочищенні стічної та вже підготовленої питної води. Якість якої погіршує зношена система водопостачання, внаслідок недотримання користувачами правил скидання, водовідведення, та підтримки відповідних систем(навіть внутрішньобудинкових) у незадовільному стані.

Аналіз літератури. В Україні нарахування плати за водовикористання та водовідведення проводиться згідно Постанови від 5 липня 2019 р. № 690 «Про затвердження Правил надання послуг з централізованого водопостачання та централізованого водовідведення і типових договорів про надання послуг з централізованого водопостачання та централізованого водовідведення», Наказу 22.11.2018 № 315 «Про затвердження Методики розподілу між споживачами обсягів спожитих у будівлі комунальних послуг» та Закону України «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання».

Встановлено, що існує три основних типів нарахування плати(згідно тарифів) – плата по показникам лічильника(за його наявності) згідно Статті 9 «Загальні правила комерційного обліку» або по загальнобудинковому обсягу, розрахована на кожного споживача за наданими в попередньому розділі формулами для холодної та гарячої води згідно Статті 10 «Розподіл обсягів комунальних послуг між споживачами», а також за нормативними обсягами разі відсутності загальнобудинкового приладу обліку.

За спеціальне водовикористання передбачена рентна плата. Згідно статті 255.1 Податкового кодексу України, платниками рентної плати за спеціальне використання води є:

первинні водокористувачі - суб'єкти господарювання незалежно від форми власності: юридичні особи, їх філії, відділення, представництва, інші відокремлені підрозділи без утворення юридичної особи, постійні представництва нерезидентів, а також фізичні особи - підприємці, які використовують та/або передають вторинним водокористувачам воду, отриману шляхом забору води з водних об'єктів[8];

суб'єкти господарювання незалежно від форми власності: юридичні особи, їх філії, відділення, представництва, інші відокремлені підрозділи без утворення юридичної особи, постійні представництва нерезидентів, а також фізичні особи - підприємці, які використовують воду для потреб гідроенергетики, водного транспорту і рибництва[8].

Головною проблемою системи плати за водовикористання та водовідведення в Україні, є те, що плата нараховується після надання послуги промисловим чи комунальним підприємствам. Таким чином, підприємства з водопостачання та водовідведення не мають коштів на ліквідацію аварій в разі понаднормового водовикористання, підтримання систем водозабезпечення у належному стані та забезпечувати безперебійність відповідних систем.

Дослідженням в даній темі присвятили свою увагу наступні науковці та дослідники: Сокол Л., Крилова І., Сяська О., Козлова І., Крутікова К.

Цими дослідниками був проведений аналіз закордонної практики, зокрема Європейської в сфері водовикористання та водовідведення, наведено основні особливості у системі нарахування плати за водокористування, рентна плата, джерела фінансування.

Встановлено основні джерела забруднення поверхневих та ґрунтових вод господарськими, промисловими, комунально-житловими та іншими джерелами. Оpubліковано аналітичні та статистичні дані що до водовикористання, водоочищення,

розподілу водних ресурсів. А також шляхи часткового вирішення проблеми забруднення поверхневих вод, основні аспекти систем водопостачання та водовідведення в Україні та світі.

Мета статті. Метою даної статті є вдосконалення системи нарахування плати за водовикористання та водовідведення, виявлення чинників які найбільше впливають на якість водопостачання та аналіз Європейського досвіду в даній сфері.

Виклад основного матеріалу. Для покращення системи нарахування плати за водопостачання водовикористання та водовідведення, для початку, розглянемо як цей механізм працює в країнах Євросоюзу. Особливості систем кожної наведеної країни знаходяться в таблиці 1.

Таблиця 1. Особливості системи водовикористання та водовідведення в країнах Європи і в Україні

| Країна | Особливості системи |
|-----------|--|
| Україна | <ul style="list-style-type: none"> - Існує три основних типів нарахування плати(згідно тарифів): плата по показникам лічильника; розрахована на кожного споживача за відповідними формулами для холодної та гарячої води згідно; за нормативними обсягами разі відсутності загальнобудинкового приладу обліку. - За спеціальне водовикористання передбачена рентна плата. - Плата нараховується після водовикористання та водовідведення. - Відсутність постійного грошового резерву на випадок аварій чи понаднормових навантажень. - Тарифи складаються без врахування платоспроможності. - Відсутній запланований об'єм водовикористання. |
| Німеччина | <ul style="list-style-type: none"> - Фінансову основу водокористування складають платежі за використання водних ресурсів. - Розмір щорічної плати визначається на плановий рік. - Складається кошторис витрат, в якому окремо визначаються витрати на забезпечення водозабору, прийом і очистку стічних вод, підтримку рівня води у водному джерелі та на інші види робіт. Він визначається щоб ці внески могли забезпечити роботи з: регулювання режиму стоку вод, пропуску паводків і повеней; підтримки рівня поверхневих вод, постачання води для населення і промисловості; відведення стічних вод; ліквідації наслідків скиду стічних вод[4]. - Більша частина комунальних підприємств належить державі. |
| Франція | <ul style="list-style-type: none"> - Використання води здійснюється за двома видами податкових виплат: плата за водоспоживання, яка йде на поліпшення стану водних ресурсів та плата за порушення якості стану водних ресурсів. - За водопостачання відповідають муніципалітети, а за тарифи, якість наданих послуг та за дотримання нормативів - мерія. |

| | |
|----------------|---|
| | <p>- Плата визначається за формулою: $Y = ax + b,$ де Y – розмір плати, який визначається за середньою вартістю води з урахуванням передбачених системою тарифікації надбавок до базової ціни; x – обсяг використаної води; a – собівартість 1 кубометру води; b – абонементна плата, яка стягується навіть при відсутності забору води. Визначення оптимальних значень параметрів a і b є важливою задачею, яка несе як соціально-політичний, так і економічний характер[4].</p> |
| Нідерланди | <ul style="list-style-type: none"> - Найбільші річки, озера, канали і прибережні води знаходяться в державній власності - Система платного водокористування побудована на принципі повного відшкодування витрат на водогосподарські заходи. - Ставка податку варіюється від чисельності населення території та її географічних особливостей. - Кожне Водне Управління(з 12) встановлює свій тариф, який розраховується в залежності від обсягу стічних вод, витрат на очистку і управління якістю водних об'єктів. - Провінція має право обмежувати забір підземних вод. - На території країни функціонує комбінована система каналізації для стічних і зливових вод. |
| Великобританія | <ul style="list-style-type: none"> - Платежі за забір води з водних об'єктів і за скид стічних вод диференційовані по регіонам країни. - Всі водопровідно-каналізаційні підприємства знаходяться в приватній власності. - Контроль за діяльністю підприємств забезпечується шляхом державного ліцензування. - Приватні підприємства не фінансуються з державного або місцевого бюджетів. - Підприємства володіють значними ресурсами, величезними оборотами і надійними джерелами надходження доходів. - Контроль за виконанням зобов'язань щодо забезпечення споживачів водою покладений на Інспекцію з питної води. |

Порівнявши як працює система плати за водовикористання та водовідведення в країнах Євросоюзу та в Україні, встановлено що є ряд рішень які доцільно використати для покращення системи нарахування плати за водовикористання та водовідведення в Україні. Чудовим рішенням є плата за водовикористання наперед, це дозволяє державі, чи приватним компаніям, які займаються водопостачанням, мати кошти на випадок аварій, розуміти які об'єми води будуть використані та які навантаження на водну мережу слід очікувати. Також варто прийняти до уваги наступні рішення, такі як: варіативна ставка податку в залежності від чисельності населення території та її особливостей; право обмеження забору підземних вод; підприємства з водопостачання та водовідведення володіють значними ресурсами, оборотами і надійними джерелами доходів.

Напрямок подальшого дослідження є розробка формули з нарахування плати за водовикористання та водовідведення з врахуванням іноземного досвіду, що дозволить підвищити якість, доступність та безперебійність водопостачання.

Висновки з дослідження. Проведено аналіз джерел з даної теми, зокрема наукових статей, наукової літератури, нормативних документів та звітів і встановлено що система водопостачання та водовідведення, а також система плати за водовикористання доволі застарілі в порівнянні з досвідом країн Євросоюзу.

Встановлено, що якість водопостачання в Україні страждає за рахунок браку коштів внаслідок заборгованостей користувачів, застарілості обладнання. Тарифи встановлюються без врахування платоспроможності абонентів, відсутність запланованих об'ємів водовикористання призводить до неспроможності в періоди пікових навантажень на систему водовикористання та водовідведення забезпечувати відповідний рівень якості водопостачання, підтримання ефективної роботи каналізації, надання достатніх об'ємів води, забезпечувати безперебійність роботи системи можливість оперативної ліквідації аварій.

Аналіз Європейського досвіду показав, що Діяльність підприємств має повністю фінансуватися за рахунок абонентів, за винятком заходів загальнодержавного значення, що фінансуються з державного бюджету. Тарифи визначаються з використанням підходу, що передбачає оцінку вартості води і витрат, необхідних для реалізації водогосподарських заходів. Розмір щорічної плати розраховується в залежності від запланованих заходів напротязі року.

Розроблено рекомендації, щодо врахування іноземного досвіду, при розробці формули для нарахування плати за водовикористання та водовідведення.

Список використаної літератури:

- 1) Сяська О.В. Аналіз зарубіжного досвіду регулювання процесів водокористування та перспективи його застосування в Україні. Збірник наукових праць. Луцький національний технічний університет. – Випуск 10 (38). – Луцьк, 2013. С. 213-224.
- 2) Biswas A. Integrated Water Resources Management: Reassessment /A. Biswas // Water International. – 2004. – Vol. 29, № 2. – P. 248–256.
- 3) Kozlova I. Water pricing in the Russian Federation and the Netherlands /I. Kozlova, K. Krutikova, T. Botterweg, E. Uiterwaal // Ros NIIVKh & RIZA, RIZA Werkdocument, 2003.064x.
- 4) Государственная водохозяйственная политика во Франции. Французский опыт в поддержку международных инициатив [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.cawater-info.net/review/pdf/wa-ter_france.pdf.
- 5) Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2012 році. – К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 450 с.
- 6) Крилова І. І. Аналіз сучасного стану сфери водопостачання та водовідведення в Україні. Інвестиції: практика та досвід. 2018. № 23. С. 118–125.
- 7) Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2016 році. База даних "Мінрегіон України"[Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/teplovodopostachannya-ta-vodovidvedennya/natsionalnadopovid/proekt->

natsionalnoyi-dopovidi-pro-yakistpitnoyi-vodi-ta-stan-pitnogo-vodopostachannya-vukrayini-u-2016-rotsi/.

8) Стаття 255 Податкового кодексу України «Рентна плата за спеціальне використання води». Сайт Державної фіскальної служби України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://sfs.gov.ua/nk/rozdil-ix--rentna-plata-za-tr/>

Науковий керівник Тверда О.Я.

УДК 631.6.02

Зіневич Віра Сергіївна
Кафедра інженерної екології

АНАЛІЗ ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ВОДОЙМ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ, ЗАСМІЧЕННЯ І ВИСНАЖЕННЯ

В наведеній роботі викладено опис основних необхідних заходів з охорони водойм від їх забруднення, засмічення та виснаження. Проведено аналіз основних заходів, що наведені у Водному Кодексі України. Отримано висновки по комплексному застосуванні наведених заходів та рекомендації щодо їх регулювання.

Ключові слова: процес, водойма, заростання водоймищ, забруднення водоймищ, заходи, охорона водойм, рекультиваційні заходи, очищення.

The article describes the main necessary measures for the protection of water bodies from their pollution, contamination and depletion. The analysis of the main measures described in the Water Code of Ukraine is carried out. The conclusions on the complex application of these measures and recommendations for their regulation were obtained.

Keywords: process, reservoir, overgrown reservoirs, pollution of reservoirs, measures, protection of reservoirs, reclamation measures, purification.

Вступ. Проблеми чистої води та охорони водних екосистем стають все більш гострими по мірі історичного розвитку суспільства, стрімко збільшується вплив на природу, що викликається науково-технічним прогресом. Вже зараз у багатьох районах земної кулі спостерігаються великі труднощі в забезпеченні водопостачання та водокористування в наслідок якісного і кількісного виснаження водних ресурсів, що пов'язано з забрудненням та нераціональним використанням води.

Україна належить до держав з недостатнім забезпеченням водними ресурсами. Вона – одна з найменш водозабезпечених країн Європи. Водні об'єкти України вкривають 24,2 тис. кв. км, що становить 4,0% від її загальної території (603,7 тис. кв. км). До цих об'єктів належать річки, озера, водосховища, ставки, канали тощо. Територія України має не дуже густу річкову мережу (середнє значення – 0,34 км/кв. км), тут нема великих природних водойм і небагаті запаси підземних вод [1].

Огляд на проблеми охорони водойм та їх екологічних стан, вже було розглянуто у роботах [2-5]. Це питання також розглядається у працях М. Ступеня, О. Микули, В. Пересоляка.

Процес заростання водойми є природним процесом. Швидкість його протікання залежить від ряду факторів, серед яких головним є глибина водойми. Прискоренню процесу заростання служить активна господарська діяльність. Використання прибережної смуги та акваторії водойм в промислових цілях, організація скидання стічних вод у водойми, розвиток водного транспорту - все це сприяє зміні водних екосистем. Прямим наслідком такої зміни є втрата рекреаційного значення водойм.

Саме втрата рекреаційної значущості спровокувала зріст інтересу до проблеми відновлення водойм в наш час. Сьогодні очищення водойм від зайвої водної рослинності є затребуваною послугою. Існує маса пропозицій з очищення водойм від зайвої водної рослинності та проведення днопоглиблювальних робіт.

Мета та завдання. Метою даної роботи є дослідження та аналіз заходів, що застосовуються для охорони водоймищ, огляд етапів та способів виконання робіт проти замулення, забруднення та засмічення водойм.

Завдання:

- висвітлити та проаналізувати заходи з охорони водойм;
- розглянути перелік основних водоохоронних заходів, що зарегламентовані в Україні;
- зробити висновок.

Матеріал і результати досліджень. Перелік основних водоохоронних заходів подано у Водному кодексі (ВК) України (розділ IV) [6]. Деякі охоронні заходи є і в інших правових приписах ВК України. За даними ВК заходами спрямованими на охорону вод є:

- визначення територій зі спеціальним водоохоронним режимом користування;
- заходи, щодо охорони вод у процесі виробничої та господарської діяльності;
- заходи щодо запобігання шкідливим діям вод та аваріям на водних об'єктах і ліквідації їх наслідків.

Також до числа основних водоохоронних заходів віднесені: утворення водоохоронних зон (ст. 87 ВК України) [7], прибережних захисних смуг, зон санітарної охорони, смуг відведення, території та об'єкти природно-заповідного фонду, берегових смуг водних шляхів тощо (так, водоохоронні зони утворюються для найбільш сприятливого режиму водних об'єктів, а також зменшення коливань стоку вздовж рік, морів, навколо озер, водосховищ та інших водоймищ); обмеження господарської діяльності в прибережних захисних смугах навколо водоймищ та на островах.

Виявлено, що всі заходи з охорони водоймищ від дії на них негативного впливу поділяються на охоронні, рекультиваційні та господарчі.

1. До охоронних слід віднести всі заходи пов'язані з охороною нині існуючих спільнот і збереження їх хоча б в тому стані, в якому вони існують в даний час. До даних заходів відноситься боротьба з браконьєрством, охорона місць гніздування водоплавних і навколородних птахів, охорона місць масового нересту риби.

Не менш важливим залишається питання боротьби з пожежами і незаконними вирубками лісу по берегах водойм, із забрудненням водойм отруйними і токсичними речовинами, а також важкими металами. Слід зазначити, що більшість водойм ще не втратило здатності до самовідновлення, і якщо вживати заходів щодо недопущення подальшого забруднення водойм і нанесення шкоди їх мешканцям то може відбутися самовідновлення екосистеми водойм.

2. Екологічна реабілітація водойм включає в себе:

- здійснення проектно-розвідувальних робіт (опис об'єкта: польові обстежень прилеглих територій, картографування, складання звіту; лабораторні дослідження: відбір і аналіз проб; рекомендації з технічного і біологічного етапів реабілітації водойм);
- очищення ложа водойми від забруднених відкладень;
- проект гідроізоляції ставків;
- акумуляція та очищення дренажних і зливових вод, що підживлюють водойми;
- рекультивація водозбірних територій;
- проект берегоукріплення, протизсувні та протиерозійні заходи;
- заселення водойм гідробіонтами, висадка водної рослинності;
- екологічну реабілітацію та благоустрій заплавлених територій;

- благоустрій, озеленення, ландшафтний дизайн прибережних і рекреаційних зон.

Етапи екологічної реабілітації наведені в Таблиці 1.

Таблиця 1. Етапи екологічної реабілітації для водойм

| | |
|---|---|
| Етап підготовчих робіт | Проводиться вивчення гідрогеологічних характеристик водойми, його морфологічних параметрів (глибини, рельєфу дна), відбір проб води та мулових відкладень для лабораторного аналізу на предмет хімічного забруднення. |
| Етап технічної реабілітації водоймища | Залежно від розмірів водойми, наявності гідротехнічних споруд, гідрогеологічних характеристик місцевості і ряду інших обставин, визначається необхідність в механічному очищенню ложа водойми від мулових відкладень. |
| Етап біологічної реабілітації | Природна водойма є збалансовану екосистему, в якій діють механізми самоочищення. Заселення води живими організмами-гідробіонтами виконується за результатами біотестування водойми. Підбирається для заселення видове співтовариство таких мікроорганізмів, безхребетних, молюсків, яке дозволяє відновити гідроекосистему водойми. |
| Етап відновлення берегової зони | Правильно розташовані і сформовані зони берегової багато в чому визначають в подальшому якісний склад води. Допомагають сформувати природний ландшафт забезпечити кормовою базою біоту водоймища. Відновлення в береговій зоні певного виду зелених насаджень і різних живих організмів сприятливо позначаються на екосистемі водойм. |
| Етап комплексного благоустрою прилеглої території | Від навколишньої території багато в чому залежить і якісний склад води у водоймі. При екологічної реабілітації необхідними умовою є правильне планування території, що забезпечує зручні підходи до води, оглядові майданчики, розподіл рекреаційного навантаження. Виняток потрапляння стічних вод у акваторію. |

3. Господарські заходи, одним з яких є раціональне природокористування. Природокористування в будь-якій галузі будується на наступних принципах: принцип системного підходу, принцип оптимізації природокористування, принцип випередження, принцип гармонізації відносин природи і виробництва, принцип комплексного використання. Принцип цільового характеру природокористування закріплений всіма базовими актами природоресурсного законодавства України[8]. Також заходом, який відноситься до господарських є водовикористання. Водовикористання- сукупність всіх форм і видів використання водних ресурсів в загальній системі природокористування. Раціональне водокористування передбачає забезпечення повного відтворення водних ресурсів території чи водного об'єкта за кількістю і якістю. Це основна умова існування водних ресурсів в життєвому циклі. Удосконалення водокористування - основний фактор сучасного планування господарського розвитку. Водне господарство визначається наявністю двох взаємодіючих блоків: природного і соціально-економічного. Водне господарство - це складна організована територіальна

система, що формується в результаті взаємодії соціально-економічних товариств і природних водних джерел.

Оцінка водозабезпечення території для відповідної території може бути представлена у вигляді комплексу високоінформативних гідрогеологічних показників, що відповідають різним варіантам витрат на організацію водокористування. При цьому повинні бути представлені, як мінімум три варіанти - два крайніх і один проміжний:

- природні умови, яким відповідає мінімум ресурсів і нульові витрати на їх видобуток;
- умови розширеного відтворення, що з'являються в результаті проведення дорогих інженерних заходів;
- умови граничного водокористування, які мали б місце при використанні повного річного стоку, що формується на цій території, що відповідає не тільки максимуму ресурсів, а й максимуму можливих витрат.

Наведені заходи є основою діяльності людини, що створює екологічно чисті виробництва та повинні бути спрямовані на зниження техногенного навантаження на екосистеми, а в разі її виникнення сприятиме оперативному усуненню причин і наслідків аварій. В основу методологічного підходу до вибору природоохоронних заходів повинен бути покладений принцип їх екологічної та техніко-економічної оцінки.

Висновок. У наведеній роботі було викладено заходи щодо охорони водойм від забруднення, засмічення та виснаження. Розглядаючи це питання було проаналізовано, що всі основні заходи з охорони водоймищ наведені у Водному Кодексі України, тобто мають виконуватися на законодавчому рівні. Так само виявлено, що всі заходи з охорони водоймищ від дії на них негативного впливу поділяються на охоронні, рекультиваційні та господарчі. Ці три види заходів мають виконуватися комплексно, адже рекультиваційні заходи, до яких входить і екологічна реабілітація не можуть повністю діяти без охоронних та господарчих заходів.

Окрім наведених заходів варто посилити державний нагляд і контроль за скидами з підприємств і дотриманням режиму господарювання у водоохоронних зонах річок і дренажних каналів, згідно зі ст. 218 Закону України «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного добробуту населення».

Список використаної літератури:

1. Водні ресурси України [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.nbu.gov.ua/node/3972>
2. А.Л. Суздалева, С.В. Горюнова. Техногенез и деградация поверхностных водных объектов: монография/ А.Л. Суздалева, С.В. Горюнова – М.: ООО ИД ЭНЕРГИЯ, 2014. – 456 с.
3. Экологическая оценка водохозяйственной деятельности [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.cawater-info.net/pdf/shabanov-markin.pdf>.
4. Адаменко Т.І. Переосмислення водної безпеки для України / Т.І. Адаменко, А.О. Демиденко, М.І. Ромащенко, Г.М. Цветкова, А.М. Шевченко, М.В. Яцюк. – К.: ФОП Клименко, 2016. – 20 с.
5. Оценка экологического состояния водных объектов суши [Електронний ресурс]. – 2007. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.cawater-info.net/pdf/dmitriev.pdf>
6. Водний Кодекс України [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80>

7. Стаття 87 Водного Кодексу України[Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://urist-ua.net>

8. Основні принципи природокористування[Електронний ресурс]. –Режим доступу до ресурсу: <https://jurisprudence.club/ekologicheskoe-pravo-uchebnik>

Науковий керівник Ремез Н.С.

НЕЛІНІЙНЕ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЛІФТОВОЇ УСТАНОВКИ З УРАХУВАННЯМ ЛЮФТУ РЕДУКТОРА

Анотація

Стаття присвячена розробці кусочно - гладкого алгоритму управління, що враховує варіації параметрів передавальної функції люфту. Для досягнення даної мети нелінійність типу «люфт» представлена у вигляді однозначної залежності з параметрами, що змінюються залежно від амплітуди та частоти затухаючих коливань.

Під час аналізу існуючих електроприводів ліфтових установок визначено, що до них задаються високі вимоги до точності позиціонування. У той же час витрати на модернізацію механізму підйому кабіни зводяться до мінімуму, що робить неможливим застосування високоточних безредукторних двигунів.

В статті здійснена процедура гармонічної лінеаризації ланки типу «люфт», що дозволило використати метод аналітичного конструювання регуляторів. З метою мінімізації функції Ляпунова вона представляється у вигляді суми квадратичної форми та форми четвертого порядку. Це призводить до отримання регулятора за зворотними зв'язками з лінійною та кубічною передачею сигналу. При наявності фізичного обмеження на максимальне значення швидкості приводу отриманий алгоритм керування трансформується у частково – лінійний алгоритм, що забезпечую високу якість відпрацювання сигналу завдання.

З метою дослідження та аналізу динаміки системи електроприводу використано метод цифрового моделювання з використанням програмного забезпечення MATLAB. Зроблено моделювання системи при використанні сигнатурного регулятора положення, а також запропонованого регулятора, реалізуючи в якості сигналу що задається вихідний сигнал задатчика інтенсивності першого порядку.

Ключові слова: люфт, синтез коригуючої пристрою, сигнатурна функція управління, ковзний режим, резонансні коливання, гармонічна лінеаризація, форсує ланка, аналітичне конструювання регулятора.

Annotation

The article is devoted to the development of piecewise - smooth control algorithm, which takes into account variations of the parameters of the transfer function of the backlash. To achieve this, the nonlinearity of the “backlash” type in the form of a unambiguous dependence on parameters that change depending on the amplitude and frequency of damping oscillations is presented.

During the analysis of the existing electric drives of the elevator installations it was determined that they set high requirements for positioning accuracy. At the same time, the cost of upgrading the cabin elevator mechanism, making it impossible to use high-precision gearless motors, is minimized.

In the article the procedure of harmonic linearization of the link type "backlash" was performed, which allowed to use the method of analytical design of regulators. In order to minimize the Lyapunov function, it is represented as a sum of quadratic and fourth-order forms. This results in a linear and cubic feedback controller. In the presence of a physical limitation

on the maximum value of the drive speed, the obtained control algorithm is transformed into a partially linear algorithm, which ensures high quality of signal processing.

In order to study and analyze the dynamics of the drive system, a digital simulation method was used using MATLAB software. The simulation of the system with the use of the position controller of the position, as well as the proposed controller is made, realizing as a signal the output signal of the first order intensity setter.

Keywords: backlash, correction device synthesis, control signature function, sliding mode, resonant oscillations, harmonic linearization, forcing link, analytical design of the controller.

Вступ.

Останнім часом до електроприводів ліфтових установок пред'являються все більш високі вимоги до точності позиціонування. У той же час витрати на модернізацію механізму підйому кабіни зводяться до мінімуму, що робить неможливим застосування безредукторних вентильних двигунів. Фактично в Україні як і раніше найбільш популярною електромеханічної системою ліфта залишається асинхронний двигун з черв'ячним редуктором, керований від перетворювача частоти. Підвищення точності позиціонування в таких умовах досягається лише шляхом удосконалення алгоритмів керування за умови установки недорогих датчиків координат приводу.

Найвища точність позиціонування кабіни досягається за умови використання датчиків лінійного переміщення, що враховують наявність люфтів і пружних зв'язків в системі [1]. У той же час включення люфту в контур регулювання може призводити до появи автоколиваний вихідної координати, особливо при використанні класичних лінійних регуляторів (ПІ - регуляторів) [2]. Особливо цей ефект проявляється при спробах підвищити швидкість приводу за рахунок збільшення коефіцієнта підсилення всієї системи. Також, слід пам'ятати, що режим автоколиваний знижує точність регулювання, а також вкрай несприятливо впливає на роботу механічної частини електроприводу, викликаючи передчасний знос валів, муфт, редукторів.

В даний час широке поширення отримав синтез коригувальних пристроїв, який проводиться на класі лінійних законів управління з [3-4] методом логарифмічних частотних характеристик. Також популярний підхід, заснований на вирішенні оберненої задачі динаміки з використанням сигнатурних функцій управління [5].

1. Отримання математичної моделі системи.

Розглянемо математичну модель електроприводу положення з люфтом в редукторі, структурна схема якого наведена на малюнку 1. При цьому, контур регулювання швидкості і струму приводу налаштовані на технічний оптимум, що дозволяє представити привід у вигляді коливальної ланки.

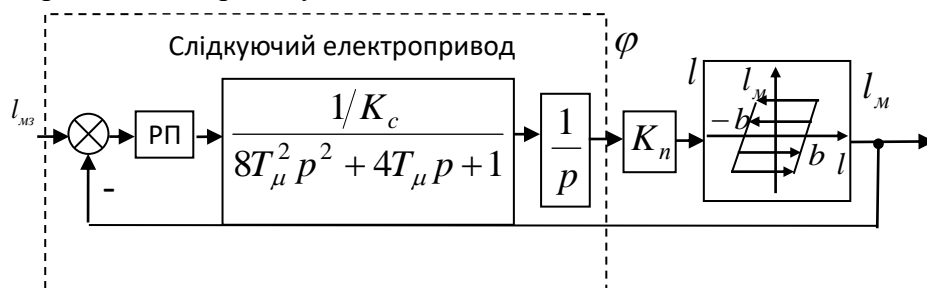


Рис.1. Структурна схема контуру регулювання положення з урахуванням сумарного люфту редуктора.

На рисунку 1 прийняті наступні позначення: ω - швидкість обертання; φ - кут повороту валу електродвигуна; l - лінійне переміщення кабіни; l_m - лінійне переміщення кабіни з урахуванням люфту; K_c - коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості; T_μ - стала часу перетворювача; K_n - коефіцієнт передачі перетворювача, $РП$ - регулятор положення.

У загальному випадку така система має схильність до автоколивань при збільшенні коефіцієнта підсилення системи з одночасним зниженням величини люфту.

Для однозначних нелінійностей можуть бути використані методи синтезу, що дають у підсумку закони управління, представлені на рис.2.

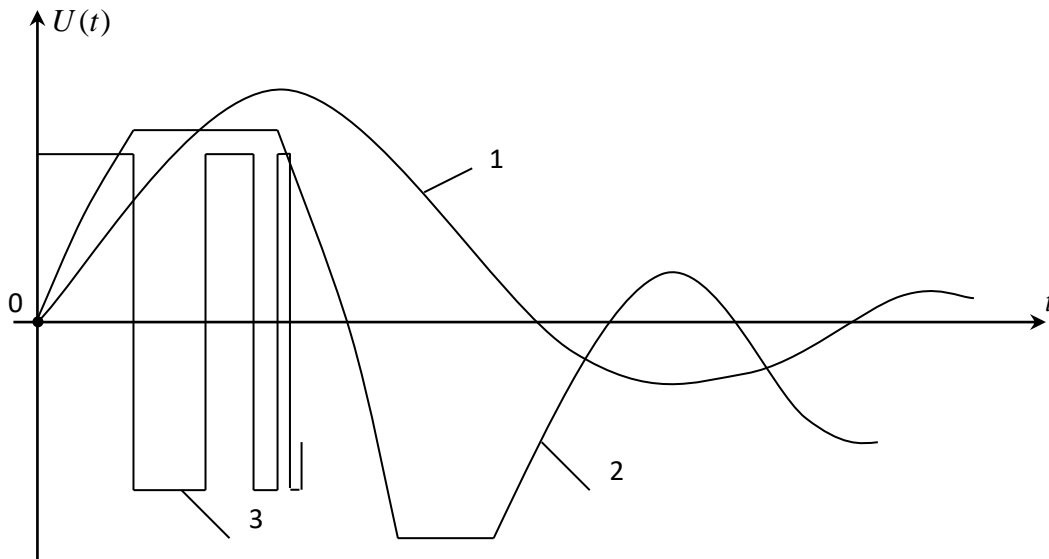


Рис.2. Закони управління на основі гладкої функції (крива 1), частково - гладкої (крива 2) і частково-безперервної (крива 3).

Найбільш популярний в даний час алгоритм управління на базі сигнатурної функції $U = -\text{sign}(X)$, що забезпечує максимальну швидкість системи при вирішенні оберненої задачі динаміки. З використанням такого регулятора, в якому X - вектор всіх змінних стану системи реалізується частково - безперервний алгоритм управління. У той же час такий алгоритм вводить систему в, так званий, «ковзний режим», який може привести до високочастотних резонансних коливань всієї системи.

Мета і завдання дослідження.

Метою роботи є розробка частково - гладкого алгоритму управління, що враховує варіації параметрів передавальної функції люфту. Для досягнення даної мети необхідно представити нелінійність типу «люфт» однозначною залежністю з варіювальними параметрами і здійснити процедуру розробки регулятора одним із сучасних методів теорії автоматичного управління.

Матеріал і результати дослідження.

Ланка «люфт» є неоднозначною, тобто одному значенню аргументу відповідає кілька значень функції. Побудова регуляторів для систем з такими нелінійностями вкрай важко і вимагає застосування методів синтезу для нелінійних об'єктів. Одним з підходів до вирішення завдання проектування регуляторів для системи з неоднозначною нелінійністю і дослідження її стійкості, є гармонійна лінеаризація [6]. Метод був запропонований Є.П. Поповим для неасомптотичних стійких систем і далі був

розвинений для систем з затухаючими перехідними процесами. Відповідно до цього методу передавальна функція нелінійності представляється у вигляді:

$$W_n(a, p) = q(a) + \frac{q'(a)}{\omega} p. \quad (1)$$

де ω - частота коливань системи, a - амплітуда коливань системи, $q(a)$ і $q'(a)$ - коефіцієнти гармонійної лінеаризації.

Для нелінійності типу «люфт» коефіцієнти гармонійної лінеаризації відомі і описуються формулою [6]:

$$q(a) = \frac{K}{\pi} \left[\frac{\pi}{2} + \arcsin\left(1 - \frac{2b}{a}\right) + 2\left(1 - \frac{2b}{a}\right) \sqrt{\frac{b}{a} \left(1 - \frac{b}{a}\right)} \right] \quad (2)$$

$$q'(a) = -\frac{4Kb}{\pi a} \left(1 - \frac{b}{a}\right), a > b$$

де K - коефіцієнт посилення люфту.

Таким чином, нелінійна ланка типу «люфт» представляється у вигляді форсуючої ланки, параметри якої є змінними і залежать від характеру перехідного процесу. У той же час такий підхід дозволяє представити люфт у вигляді однозначної нелінійності, що істотно спростить процедуру синтезу.

Для визначення структури регулятора для системи з однозначною нелінійністю, параметри якої варіюються в широкому діапазоні, використовуємо метод аналітичного конструювання регуляторів [7,8]. При цьому встановимо у вигляді головного завдання мінімізацію функції Ляпунова, представлену у вигляді послідовності статечних форм

$$V(X) = \sum_{p=1}^{\infty} V^{2p} = V^2(X) + V^4(X) + \dots, \quad (3)$$

де $V^2(x_1, \dots, x_4)$ і $V^4(x_1, \dots, x_4)$ - квадратична форма і форма четвертого порядку відповідно.

Коефіцієнти квадратичної форми при вирішенні задачі аналітичного конструювання визначаються з рівнянь Ріккаті. Коефіцієнти форми четвертого порядку і вище визначаються з системи лінійних алгебраїчних рівнянь.

При пошуку екстремального керування, одержуваного шляхом диференціювання функції Ляпунова, закон управління визначиться у вигляді:

$$U = -K_1 X - K_2 X^3, \quad (4)$$

де K_1 - матриця зворотного зв'язку регулятора; K_2 - матриця при кубічних змінних стану.

З урахуванням обмеження у вигляді граничної швидкості на виході регулятора положення отримаємо:

$$u = -sat(k_{11}l_M + k_{12}\omega + k_{21}l_M^3 + k_{22}\omega^3), \quad (5)$$

де sat - функція обмеження.

З метою дослідження та аналізу динаміки системи електроприводу використовуємо метод цифрового моделювання. Зробимо моделювання системи при використанні сигнатурного регулятора положення, а також запропонованого регулятора, реалізуючи в якості сигналу що задається вихідний сигнал задатчика інтенсивності першого порядку.

При цьому математичні моделі двох приводів, реалізовані в програмному забезпеченні MATLAB Simulink, мають вигляд, представлений на рис.2.

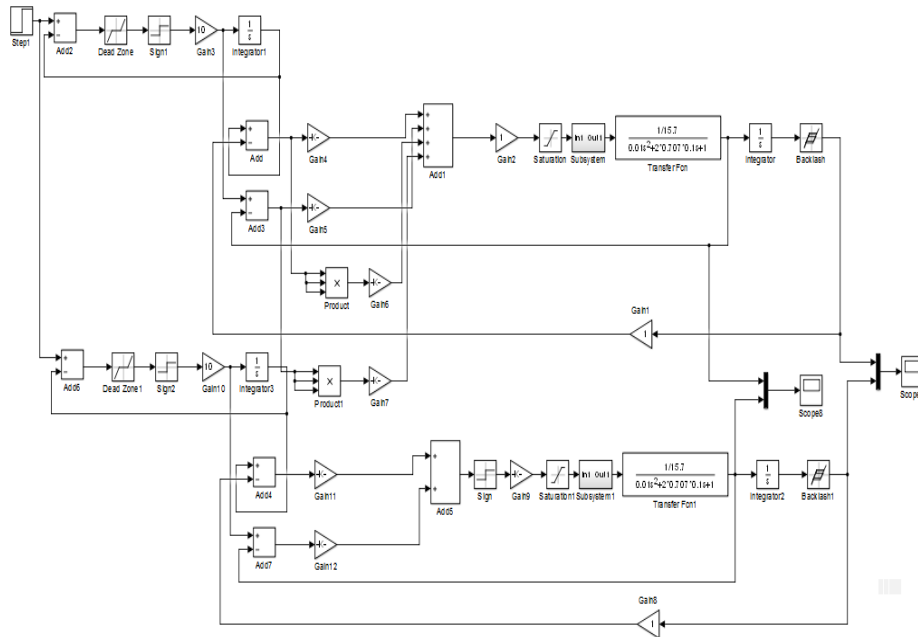


Рис.2. Математичні моделі електроприводів із запропонованим нелінійним регулятором і сигнатурним регулятором.

Слід зазначити, що при моделюванні використовувалася підсистема реалізації плавної зміни і обмеження сигналу завдання по швидкості, яка присутня у всіх сучасних перетворювачах частоти (блок Subsystem). Це призвело до того, що для уточненої математичної моделі приводу підйому, регулятор «ковзного режиму» не зміг забезпечити високочастотного перемикавання з нескінченно малою амплітудою.

Графік перехідного процесу по положенню з використанням різних регуляторів представлений на рис.3. При використанні частково - безперервного регулятора система має більшу інерційність, ніж при використанні запропонованого регулятора, що, якраз і викликано неможливістю переходу в «ковзний режим».

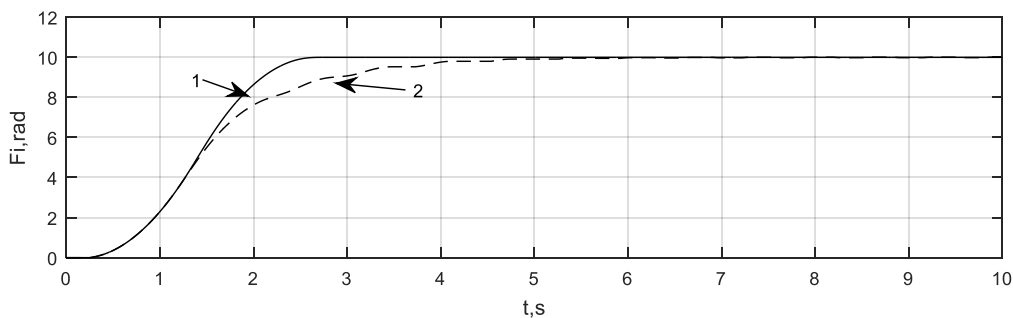


Рис.3. Перехідний процес по положенню вихідного вала редуктора при використанні запропонованого частково-лінійного регулятора і частково - безперервного регулятора.

На рис.4 можна спостерігати зміну реальної швидкості електроприводу при позиціонуванні, і, зокрема, коливання швидкості при використанні релейного регулятора з амплітудою, неприпустимою для реального електроприводу. Слід пам'ятати, що такі коливання можуть бути в значній мірі усунені шляхом зменшення плавності зміни завдання в перетворювачі частоти, що, в свою чергу, призведе до збільшення динамічних струмів і перевантаження перетворювача частоти.

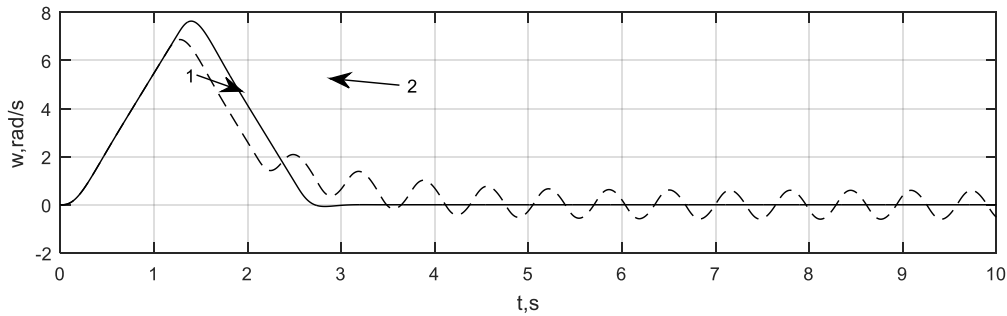


Рис.4. Перехідний процес по швидкості вихідного вала редуктора при використанні запропонованого частково-лінійного регулятора і частково - безперервного регулятора.

Висновки.

1. Використання регуляторів зі змінним режимом роботи може призвести до появи високочастотних коливань в електроприводі, чим суттєво знизить його надійність і термін експлуатації.

2. Запропонований закон управління на основі частково-гладкої функції дозволяє підвищити точність відпрацювання сигналу по положенню, в порівнянні з сигнатурним законом управління.

3. Подальше вдосконалення алгоритму управління можливо шляхом додавання коефіцієнтів п'ятого порядку, однак це може призвести до значного ускладнення закону управління і складності його корекції.

Література:

1. Башарин А.В., Новиков В.А. Управление электроприводами. – Л.: Энергоиздат, 1982.-392с.
2. Электромеханические системы управления тяжелыми металлорежущими станками / [С.В. Демидов, С.А. Автушев, А.М. Дубников и др.]; Под общ. ред. С.В. Демидова. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986. – 235, [1]с: ил.; 22см.
3. В.Ф.Кудин, О.И.Киселичник, С.А.Воронцов. Синтез цифрового регулятора контура стабилизации усилия резания с учетом нелинейности исполнительного механизма. Механика и машиностроение. Научно-технический журнал. №2. Харьков, 2004. –с.241-248.
4. Палк К.И. Системы управления механической обработкой на станках. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1984. – 215с., ил.
5. Кудин В. Ф. Квазиоптимальное нелинейное управление электроприводом "запайщика" упаковочной установки / В. Ф. Кудин, А. В. Торопов, Н. В. Маснык // Електротехнічні та комп'ютерні системи. - 2013. - № 12. - С. 7-13.
6. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1972 - 768 с.
7. V. Kudin, J. Kolacny. Synthesis of suboptimal nonlinear regulator by immersion method. – J. Electrical engineering, 49 (1998), NO 1-2, 11-15.
8. Кудин В.Ф., Кудин А.В. Аналитическое конструирование нелинейных регуляторов с помощью метода гармонической линеаризации. Известия высших учебных заведений. Электромеханика, №9, 1989г., с.60-67.
9. Летов А.М. Аналитическое конструирование регуляторов. – « Автоматика и телемеханика», № 21:4 (1960), 436–441

Робота виконана під керівництвом доцента кафедри автоматизації убавляння електротехнічними комплексами Торопова А.В.

АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО СИНХРОННОГО ТА АСИНХРОННОГО ДВИГУНІВ

Анотація. У порівнянні з асинхронними частотно-регульованими електроприводами синхронні мають менші втрати потужності, жорсткі механічні характеристики без зворотного зв'язку по швидкості, найпростіше частотне управління (коли напруга змінюється пропорційно частоті). Проведено аналітичне дослідження енергетичних показників (втрати потужності, коефіцієнт корисної дії) частотно-регульованого синхронного двигуна з електромагнітним збудженням і порівняємо з асинхронним. Розглянута ефективність перетворення енергії синхронним двигуном, який отримує її від перетворювача частоти при різних частотах і перетворює в механічну енергію. Розроблена методика розрахунку енергетичних показників частотно-регульованого синхронного двигуна та у якості порівняння двигунів, було розраховано максимальний коефіцієнт корисної дії асинхронного двигуна.

Ключові слова: регульований електропривод, асинхронний двигун, синхронний двигун.

Abstract. Compared to asynchronous frequency-controlled electric actuators, synchronous ones have lower power losses, rigid mechanical characteristics without speed feedback, simplest frequency control (when voltage changes in proportion to frequency). An analytical study of energy performance (power loss, efficiency) of a frequency-controlled synchronous motor with electromagnetic excitation and comparable to asynchronous. The efficiency of energy conversion is considered by a synchronous motor, which receives it from a frequency converter at different frequencies and converts it into mechanical energy. A technique for calculating the energy performance of a frequency-controlled synchronous motor was developed and as a comparison of engines, the maximum efficiency of an induction motor was calculated.

Keywords: adjustable electric drive, induction motor, synchronous motor.

Вступ. Розглянута ефективність перетворення енергії синхронним двигуном, який отримує її від перетворювача частоти при різних частотах і перетворює в механічну енергію. З метою зручності аналітичного дослідження використовували широко застосовується поняття відносної частоти як відношення поточного значення частоти напруги до номінального. Показано, що максимум ККД зміщується в бік меншого коефіцієнта завантаження при зменшенні відносної частоти яке живить двигун напруги.

Втрати потужності синхронного електродвигуна з постійними магнітами при скалярному частотному управлінні. У меншій мірі досліджені більш прості частотно-регульовані синхронні електродвигуни при скалярному частотному управлінні, коли підтримується постійний магнітний потік (зазвичай на номінальному рівні). Такі електродвигуни середньої потужності можуть забезпечити економічне регулювання продуктивності механізмів з постійним статичним моментом за рахунок зміни швидкості. У зв'язку з цим становить інтерес досліджувати енергетичні показники (коефіцієнт корисної дії, коефіцієнт потужності) в частотно-регульованому синхронному електродвигуні. Визначення енергетичних показників засноване на розрахунку втрат

потужності, які також використовуються в якості критерію перевірки двигуна по нагріванню при циклічному характері навантаження.

Мета та завдання. Провести аналітичний аналіз енергетичних показників частотно-регульованого синхронного двигуна та асинхронного.

Основні завдання наступні:

- Розробити методику розрахунку енергетичних показників частотно-регульованого синхронного двигуна.
- Провести аналітичний розрахунок асинхронного двигуна.

Матеріал і результати досліджень.

Проведемо наглядний розрахунок синхронного двигуна. Коефіцієнт корисної дії силового перетворювача, в даному випадку перетворювача частоти, залежить від структури перетворювача, застосовуваних силових напівпровідникових приладів, додаткових елементів (дроселів, конденсаторів, трансформаторів, активних опорів). ККД синхронного електродвигуна, що входить співмножником в загальний ККД регульованого синхронного електроприводу, представляє інтерес при скалярному частотному управлінні цього синхронного двигуна.

Втрати потужності в частотно-регульованому синхронному двигуні з постійним магнітним потоком складаються з постійних втрат:

$$\Delta p_{\text{пост}} = \Delta p_{\text{ст}} + \Delta p_{\text{мех}}, \quad (1)$$

де $\Delta p_{\text{ст}} = p_1 - p_e - p_m$.

При постійному магнітному потоці відносний струм статора I_1 є коефіцієнтом завантаження k_3 ,

$$I_1 = \frac{I_1}{I_{1\text{ном}}} \approx \frac{M}{M_{\text{ном}}} = \mu = k_3, \quad (2)$$

При такому допущенні сумарні втрати в частотно-регульований синхронному двигуні з постійними магнітами записуємо у вигляді:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{пост}} + \Delta p_{\text{відн}} = \Delta p_{\text{пост,ном}} \alpha^2 + k_3^2 \Delta p_{\text{відн,ном}} = \Delta p_{\text{пост,ном}} \left(\frac{\Delta p_{\text{пост,ном}}}{\Delta p_{\text{відн,ном}}} \alpha^2 + k_3 \right) \quad (3)$$

Де позначимо відносні постійні втрати потужності в частотно-регульованому синхронному двигуні з постійними магнітами:

$$p_0^* = \frac{\Delta p_{\text{пост,ном}}}{\Delta p_{\text{відн,ном}}} \quad (4)$$

Тому в результаті визначення втрат потужності записуємо:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{відн,ном}} (p_0^* \alpha^2 + k_3^2)$$

(5)

З попередніх формул підставляємо і отримуємо загальне вираз для ККД синхронного електродвигуна з постійними магнітами при скалярному частотному управлінні:

$$\eta_{\text{д}} = \left[1 + \Delta p_{\text{відн,ном}} \frac{p_0^* \alpha^2 + k_3^2}{k_3 \alpha} \right]^{-1}$$

(6)

Відомо, що при роботі електродвигуна з постійним магнітним потоком максимум ККД настає, коли постійні втрати рівні змінним. Для розглянутого синхронного електродвигуна це відповідає рівності:

$$\Delta p_{\text{пост,ном}} \alpha^2 = k_3^2 \Delta p_{\text{відн,ном}}$$

(7)

Звідки знаходимо величину оптимального коефіцієнта завантаження $k_3 = \alpha \sqrt{p_0^*}$, при якому ККД приймає максимальне значення:

$$\eta_{\text{д,max}} = \left[1 + \left(\frac{1}{\eta_{\text{ном}}} - 1 \right) \frac{2\sqrt{p_0^*}}{p_0^* + 1} \right]^{-1}$$

(8)

Тобто при прийнятих припущеннях максимум ККД залишається таким же, як і для номінальної швидкості $\omega_0 = \omega_{0,\text{ном}}$ або $\alpha = 1$, але величина цього максимуму досягається при меншому коефіцієнті завантаження, оскільки тут розглядається регулювання частоти α і, відповідно, синхронної кутовий швидкості ω_0 в діапазоні частот $\alpha_{\text{min}} \leq \alpha \leq 1$ або

$$\omega_{\text{min}} \leq \omega_0 \leq \omega_{0,\text{ном}}$$

Для прикладу візьмемо синхронний двигун ІЕ4-РЕ1R 90 L4. Номінальні характеристики двигуна: $P_n = 2,2 \text{ кВт}$, $n_1 = 3000 \text{ об/хв.}$, $I_{\text{ном}} = 5,2 \text{ А}$, $\cos\varphi = 0,99$, $M_{\text{ном}} = 7 \text{ Нм}$, $r_1 = 0,8 \text{ Ом}$; $x_1 = 3,14 \text{ Ом}$; $r_2 = 0,053 \text{ Ом}$; $x_2 = 0,63 \text{ Ом}$; $P_{\text{мех}} = 0,12 \text{ кВт}$.

У ході розрахунку отримали: $k_3 = 0,9$; $p_0^* = 1,14$; $\Delta p = 0,7 \text{ кВт}$; $\eta_{\text{д}} = 67,9\%$;

$$\eta_{\text{д,max}} = 88,7\%$$

Отже, при прийнятих припущеннях щодо залежності постійних втрат потужності від відносної частоти α і коефіцієнта завантаження по моменту, рівного коефіцієнту завантаження по струму, отримали залежність ККД частотно-регульованого синхронного електродвигуна з постійними магнітами від відносної швидкості α і коефіцієнта завантаження k_3 такого ж характеру, як і для асинхронного частотно-регульованого двигуна з постійним магнітним потоком (потокочеплення).

Для ілюстрації теоретичних досліджень проведені розрахунки ККД синхронного двигуна з постійними магнітами при зміні коефіцієнта завантаження $0 \leq k_z \leq 1$ для ряду значень відносної частоти $\alpha = 0,1; 0,5; 1,0$ (рис. 1).

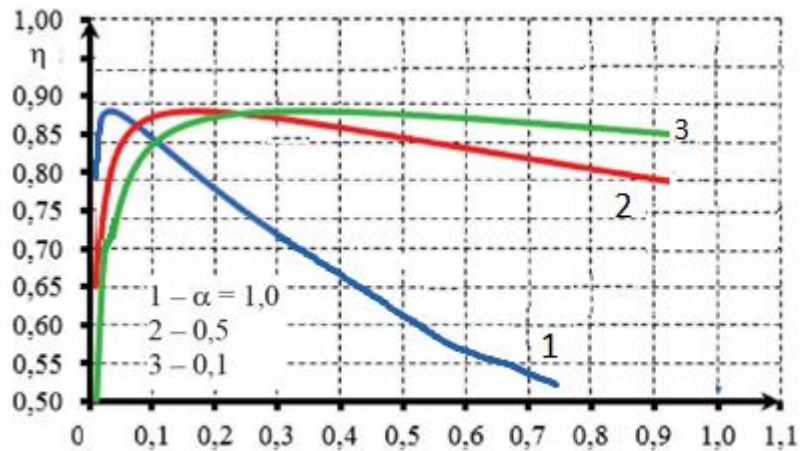


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта корисної дії синхронного двигуна з постійними магнітами від коефіцієнта завантаження при різних значеннях відносної частоти.

Для порівняння проведемо експеримент використовуючи асинхронний двигун при різних навантаженнях.

При вирішенні завдань використовувалася перетворена схема заміщення з опором магнітних втрат (r_m) винесеним на затискачі джерела живлення (рис. 2) і загальноприйняті для АД відносні одиниці вимірювань. Опір x_1, r_1, x_2, r_2, x_a можуть бути взяті безпосередньо з каталогів. Значення r_m визначається за величиною магнітних втрат p_{mag} .

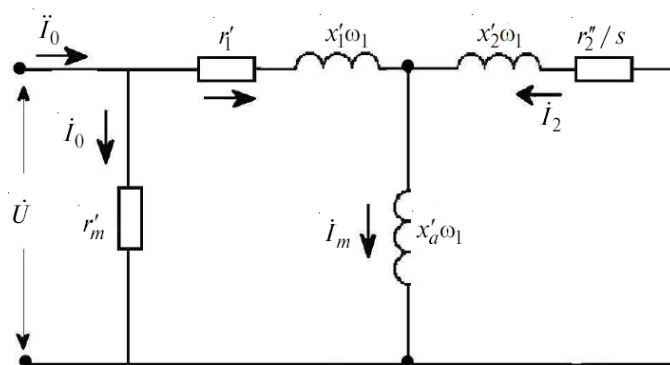


Рисунок 2 – Схема заміщення асинхронного двигуна.

Для розрахунку оптимального ковзання s_0 , забезпечують максимальний ККД нехтуємо струмом намагнічування I_m та активним опором r_l : $I_2 = I_l$, $U = I_2((r_2''/s) + j(x_2 + x_1)\omega_1)$. Визначаємо втрати на двигуні, де

$$s = (\omega_1 + \omega_2) / \omega_1$$

(9)

$$\Delta p = M \frac{\omega_2 \left[(r_2')^2 + s^2 (\omega_1 x_2')^2 + (r_1 + r_2') s_2 r_m \right]}{C_M r_2' r_m (1-s)s} + P_{\text{мех}}.$$

(10)

Знаходимо струм вторинного контуру схеми, де $\beta = \omega_1 - \omega$:

$$I_2 = \sqrt{\frac{M_e \beta}{r_2'}}.$$

(11)

Поєднуючи вектор струму I_2 з речовою віссю, розраховуємо напругу U_{12} додаток до другого контуру маємо такі вирази:

$$U_{12} = I_2 \frac{r_2'}{s} + j \omega_1 x_2' I_2,$$

(12)

$$\text{де } U_{12} = -j \omega_1 \Phi.$$

Величина потоку отримали:

$$\Phi = \sqrt{(\text{Re } \Phi)^2 + (\text{Im } \Phi)^2}.$$

(13)

Згідно рисунку 1.2 $I_m j x_a \omega_1 = -U_{12}$, отже

$$I_m = \frac{\Phi}{x_a}; I_m - I_2.$$

(14)

Напруга, яка подається на двигун:

$$U = I_1 (r_1 + j \omega_1 x_1) + I_m j x_a \omega_1,$$

(15)

Тоді модуль:

$$U = \sqrt{(\text{Re } U)^2 + (\text{Im } U)^2}.$$

(16)

Струм, споживаний двигуном, і його модуль відповідно рівні:

$$I = I_1 + I_0 = I_1 + \frac{U}{r_m};$$

(17)

$$I = \sqrt{(\operatorname{Re} I)^2 + (\operatorname{Im} I)^2}.$$

(18)

Втрати потужності: $p_{ел1} = I_1^2 r_1$; $p_{ел2} = I_2^2 r_2$; $p_{мг} = \frac{U^2}{r_m}$. Тоді їх сума:

$$\Delta p = p_{мг} + p_{ел1} + p_{ел2} + p_{мех}.$$

(19)

Механічні втрати $p_{мех}$ залежать від частоти обертання валу ω , що необхідно брати до уваги при широкому діапазоні регулювання швидкості АД.

Активна потужність, споживана АД, виражається формулою:

$$P_1 = \operatorname{Re} U \operatorname{Re} I + \operatorname{Im} U \operatorname{Im} I.$$

(20)

Тоді потужність на валу:

$$P_2 = M_e \omega_1 - P_{мех}.$$

(21)

Коефіцієнт корисної дії:

$$\eta = P_2 / P_1.$$

(22)

У якості прикладу розглянемо роботу електродвигуна **АИР80В2** з схожими характеристиками до синхронного двигуна. Номінальні дані: $P_n = 2,2 \text{ кВт}$, $n_1 = 3000 \text{ об/хв.}$, $I_{ном} = 4,2 \text{ А}$, $f = 50 \text{ Гц}$, $\cos \varphi = 0,85$, $M_{ном} = 7,35 \text{ нм}$. З проведенням опитів холостого ходу та короткого замикання, було визначено наступні параметри: $r_1 = 0,042 \text{ Ом}$; $x_1 = 0,065 \text{ Ом}$; $r_2 = 0,053 \text{ Ом}$; $x_2 = 0,065 \text{ Ом}$; $r_m = 50 \text{ Ом}$; $k_m = 0,35 \text{ Ом}$; $P_{мех} = 0,01 \text{ кВт}$.

Для отримання максимального ККД ненасиченої машини при різних навантаженнях доцільно орієнтуватися на підтримку оптимальним відносного, а не абсолютної ковзання. Наприклад, при ($\omega = \text{const}$) і варіації M_m величина s_0 практично не змінюється, на відміну від β_0 , оскільки для ($\omega_1 = 1$) відносне ковзання s_0 може бути знайдено за формулою (3). Цікаво, що для розглянутого двигуна максимальний ККД ($\eta = 0,827$) можна отримати при $s_0 = 0,040$. Однак для цього напруга U в номінальному режимі слід збільшити на 30-40% з аналогічним зростанням робочого потоку Φ .

Висновки

1. Розроблено методику розрахунку енергетичних показників, яка дозволяє визначати втрати потужності, коефіцієнт корисної дії, коефіцієнт потужності частотно-регульованих синхронних електродвигунів при постійному магнітному потоці. Показано, що при зменшенні частоти яке живить двигун напруги максимум коефіцієнта корисної дії зміщується в бік менших навантажень, практично зберігаючи свою величину.
2. ККД цього синхронного двигуна буде більше, ніж у асинхронного двигуна, оскільки відсутні втрати потужності в роторі при такому ж що розвивається в моменті.

Література

1. Гришин, А.П. Закон регулювання преобразователя частоты при питании погружного электронасоса [Текст] / А.П. Гришин // Журнал: С.О.К., рубрика «Сантехника и водоснабжение». —2007. № 7.
2. Булгаков, А.А. Частотное управление асинхронными электродвигателями [Текст] / А.А. Булгаков,— М.: Наука, 1966,— 2-е изд., доп.
3. Сандлер, А.С. Частотное управление асинхронными двигателями [Текст] / А.С. Сандлер, Р.С. Сарбатов,- М.: Энергия, 1974,- С. 328.

Камуз Д.Є.
Каф. АУЕК

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ
УСТАНОВОК ЦИВІЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

У статті розглядаються шляхи підвищення енергетичних характеристик вентиляційної установки за допомогою VAV, VAV- терміналу.

Ключові слова: вентиляційна установка, керування, перетворювач частоти

The article deals with the ways of improving the control of the ventilation installation with the use of the IF-AD system

Keywords: ventilation installation, control, frequency converter

Вступ. Основними споживачами теплової енергії в світі, та зокрема в Україні, є громадські та житлові будівлі. При цьому значний вклад в затрати енергії будівлею вносять як тепловтрати через огорожуючі конструкції будівлі (65-70%), так організація необхідного повітрообміну в приміщеннях (30-35%). Після проведення утеплення непрозорих огорожувальних конструкцій та заміни вікон і дверей частка тепловтрат з вентиляцією може сягати 50%.

У більшості закладах освіти України система вентиляції (природна або примусова) не забезпечує рівень повітрообміну, який би відповідав національним стандартам. Зазвичай, в освітніх закладах вентиляція проводиться шляхом відкривання вікон, проте в таких приміщеннях, як актові зали, навчальні аудиторії, спортивні зали, тощо, цей спосіб вентиляції зазнає певних перешкод, особливо в холодний період року. Під час знаходження людей в приміщенні вікна не відкриваються, а відповідно підвищується вологість, бракує кисню, температура в приміщенні стає некомфортною для перебування в ньому.

Проте після завершення всіх заходів, зазвичай відбувається провітрювання і це призводить до значних втрат теплової енергії. Саме тому дуже важливим є встановлення механічної контрольованої системи вентиляції. Основною метою встановлення сучасної вентиляційної установки є: - Забезпечення, відповідного до стандартів, якості повітря; - Економія електроенергії, за рахунок встановлення вентиляційного обладнання з використанням енергозберігаючих двигунів; - Зниження споживання енергії для нагрівання повітря завдяки рекуперації енергії витяжного повітря; - Ефективна робота системи вентиляції за допомогою автоматичного управління.

Вибір оптимальної системи кондиціонування повітря для загальних будівель здаються важкою та неоднозначною задачею. Це пояснюється тим великим вибором схем вирішення та важкістю оцінки їх з фінансової сторони.

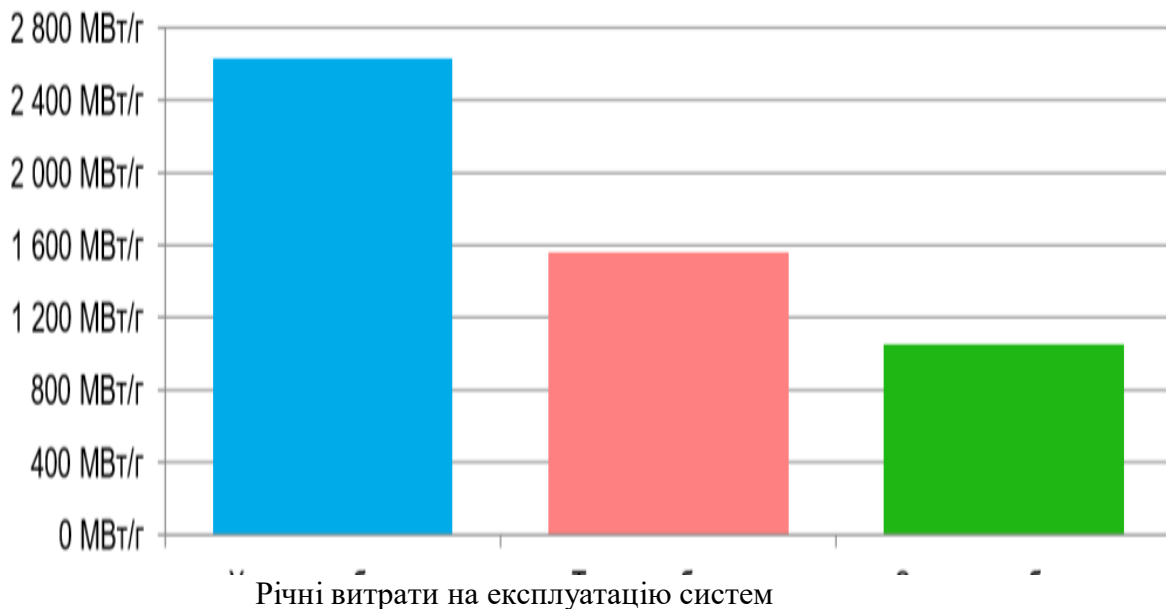
Мета. та завдання дослідження. Завданням та метою дослідження є оцінка доцільності використання системи вентиляції для підвищення рівня енергоефективності.

Методи дослідження - використані методи базуються на кореляційно-регресійному аналізі (ПЗ MS Excel "Пакет аналіз даних"), що дозволяє визначити найбільш вагомі факторні ознаки, також для моделювання використовувались підходи на основі фізичних законів з коригуванням моделі емпіричними даними, було використане наступне ПЗ: "CoolPack", OpenModelica, MATLAB.

Об'єктом дослідження є будівля офісного центру. Має 14 поверхів, 2 рівні підземного паркінгу та технічний поверх, який розташований під покрівлею. У будівлі використовується припливно-витяжна система вентиляції. На кожному поверсі організована вентиляційна камера, де розташоване все необхідне обладнання. Теплопостачання комплексу здійснюється від дахової котельні, що розташовується на покрівлі. Розрахунковий температурний графік роботи котельні 90-70°C.

Для теплопостачання комплексу передбачаються два приміщення теплового пункту. Таке рішення забезпечує розділення гідравлічних систем на дві зони по статичному тиску. В кожному тепловому пункті будуть розташовуватися насосні групи, вискоелективні теплообмінники та інше обладнання.

Для кожної групи споживачів передбачаються вузли обліку теплової енергії. Вентиляція офісних та громадських приміщень передбачена центральна механічна припливно-витяжна з подачею санітарної норми кількості повітря на людину. Вентиляційні установки розміщуються в поповерхових венткамерах, з встановленням одного вентиляційного агрегату на кожному поверсі. Установки передбачені з рекуперацією тепла, підігрівом та передохолодженням повітря. Забір та викид повітря організовано з фасаду споруд.



Було проведено обстеження вентиляційних установок та встановлення їхньої відповідності до європейських норм. В результаті чого можна зробити висновок, що всі припливні установки не відповідають нормам. Згідно вимог EUROVENT все устаткування має клас енергоефективності E (табл. 1). Розглянемо типовий поверх для прорахунку використання вентиляційної системи зі змінною подачею повітря. Оскільки дане офіс типу «open space» то належать враховувати, що зовнішні стіни зорієнтовані по різних сторони світла. Обсяг припливного повітря, що подається в ці приміщення, залежить від величини теплового навантаження. При цьому для кожної зони слід враховувати тепло, яке надходить від людей, які знаходяться в приміщеннях, електричного і офісного устаткування, а також інфільтрацію через зовнішні стіни Крім того, при розрахунках загального теплового навантаження приймається поділ на навантаження від сонячного випромінювання і на теплове навантаження від освітлення,

використовуваного в різний час доби. Для прикладу, в літній період теплове навантаження окремих приміщень включає постійне теплове випромінювання від людей і електрообладнання, питома споживана потужність якого оцінюється величиною 25-35 Вт/м².


Таблиця. 1 Клас енергоефективності вентиляційного обладнання.

| Energy Efficiency Class | All units | Unit for outdoor air temperature $\leq 9^{\circ}\text{C}$ (winter) | |
|-------------------------|----------------------------|--|----------------------------------|
| | Air velocity | Heat recovery system | |
| | v_{class} [m/s] | η_{class} [%] | Δp_{class} [Pa] |
| A+ / A+C / A+† | 1,4 | 83 | 250 |
| A / AC / A† | 1,6 | 78 | 230 |
| B / BC / B† | 1,8 | 73 ¹⁰ | 210 |
| C / CC / C† | 2,0 | 68 ¹¹ | 190 |
| D / DC / D† | 2,2 | 63 ¹² | 170 |
| E / EC / E† | No calculation required | | |

| Установка | v, м/с | η , % | ΔP , Па |
|-----------|--------|------------|-----------------|
| ПВ 4-5 | 2,9 | 58,4 | 37 |
| ПВ 6-12 | 3,9 | 58,7 | 129 |
| ПВ 13-14 | 3,2 | 56 | 66 |

Что же такое VAV / CAV система?

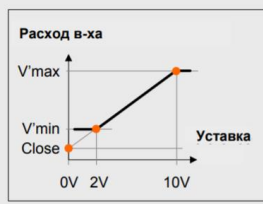




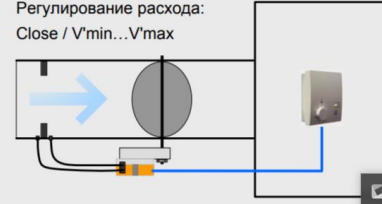
VAV Variable Air Volume

VAV – система с переменным расходом воздуха, которая компенсирует изменения тепловой нагрузки помещения путем изменения объемов приточного и вытяжного воздуха при его постоянной температуре, поступающего из центральной приточной установки.

Расход в-ха



Регулирование расхода:
Close / Vmin...Vmax



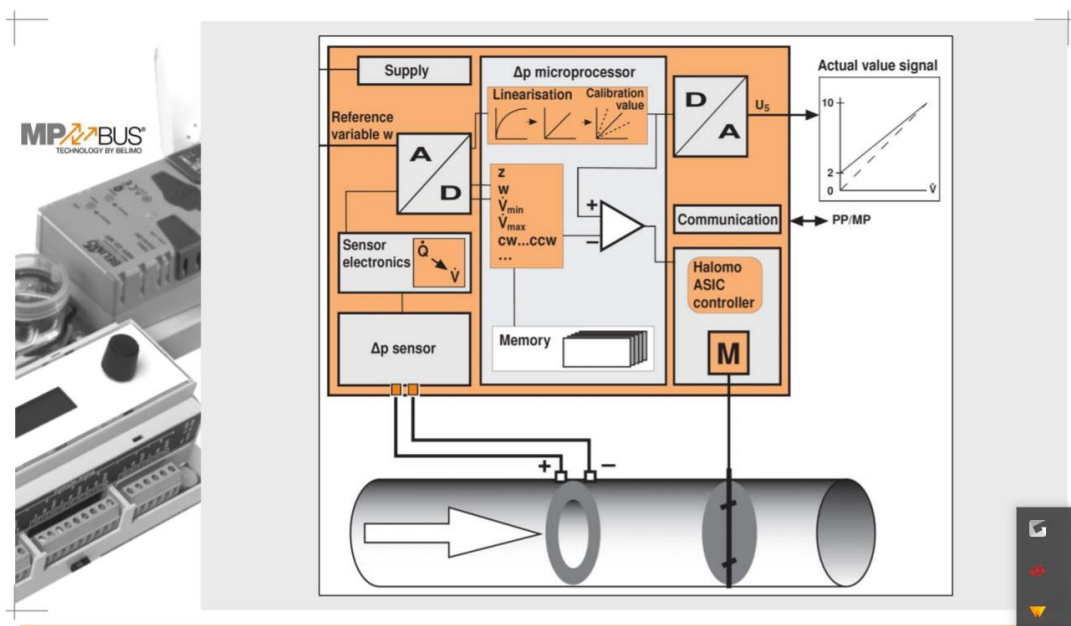
20.07.2011 / ООО "Белимо Украина с.а.р." Системы с переменным расходом воздуха

VAV BELIMO- Variable Air Volume- вентиляційні системи зі змінною витратою повітря працюють в режимі зміни кількості повітря, що подається. Зміни теплового навантаження приміщення компенсується шляхом зміни об'єму припливного та витяжного повітря при його постійній температурі, подавальної від центральної

припливної установки. Найбільш істотні переваги вентиляційних систем VAV є: - індивідуальне регулювання параметрів повітря в окремих приміщеннях; - можливість використання датчиків руху, датчиків CO₂, реле часу і ручних регуляторів для зміни витрати повітря; - зниження витрат на виробництво і монтаж мережі повітроводів, і зниження вартості обладнання для підготовки повітря; - зниження споживання електроенергії; - спрощення процесу запуску і настройки вентиляційної мережі; - можливість безперервного контролю величини кількості повітря в окремих відгалуженнях мережі повітряних каналів; - можливість централізованого управління витратою повітря в установці; - можливість переобладнання вентиляційної системи відповідно до нових умов. Головним елементом, який підтримує задану температуру і витрата повітря в приміщенні, є регулятор VAV, який називають також терміналом VAV.

VAV-терминал. Исполнительный механизм

BELIMO



У відповідності до кількості людей, що знаходиться в кожній зоні, туди повинна подаватись різна кількість свіжого повітря, так званий санітарний мінімум. Згідно з ДБН ця кількість повітря не повинна бути меншою ніж 30 м³/год. Виходячи з цього мінімально допустима витрата повітря через регулятор VAV в окремих зонах складає: $V_{min} = n \times V$ г; n – кількість осіб, які перебувають в обслуговуваній зоні, V г – кількість свіжого повітря на одну людину згідно з санітарними нормами. Приймаючи для нашої будівлі, що в кожному офісному приміщенні типу «open space» знаходиться 85 людей (6 м² на одну людину) та виходячи з кількості свіжого повітря 30 м³/год) отримаємо $V_{min} = 2550$ м³/год. В неробочий час вентиляція працює також і на провітрювання, подаючи мінімальну кількість повітря. Регулювання потоку повітря проводиться за допомогою зональних терміналів VAV які управляються за допомогою сигналів від кімнатних температурних регуляторів, при цьому в кожному приміщенні типу «open space», орієнтованих по різних сторонах світла встановлено по одному регулятору. Така конфігурація дозволяє оптимізувати роботу вентиляційної системи в цілому при

одночасному забезпеченні комфортного мікроклімату в кожному приміщенні. У зимовий період процес регулювання температури повітря здійснюється дещо іншим принципом - у міру зниження тепло надходжень зменшується обсяг припливного повітря, що подається в приміщення, аж до заданого мінімального значення. Важливим фактором є також метод регулювання оборотів витяжного вентилятора Найбільш ефективним рішенням в даному випадку є управління по датчику тиску в обслуговуваному приміщенні в залежності від атмосферного тиску.

Таблиця 2 - – Потреби в кількості холоду для двох систем

| Зона зовнішнього клімату | Температурні границі зони | Тривалість стану параметрів зовнішнього клімату, год | VAV система кВт/год | VWV система кВт/год |
|--------------------------|---------------------------|--|---------------------|---------------------|
| Теплий період року | | | | |
| Зона 1 | вище +28 °C | 199 | 186 010 | 186 010 |
| Зона 2 | +28...+25 °C | 1335 | 1 190 806 | 1 190 806 |
| Зона 3 | +25...+15 °C | 765 | 361 235 | 638 888 |
| Зона 4 | +15...-15 °C | 1810 | 0 | 614777 |
| Зона 5 | -15...-30 °C | 41 | 0 | 0 |
| Всього за рік | | 3 600 | 1 738 051 | 2 630 481 |

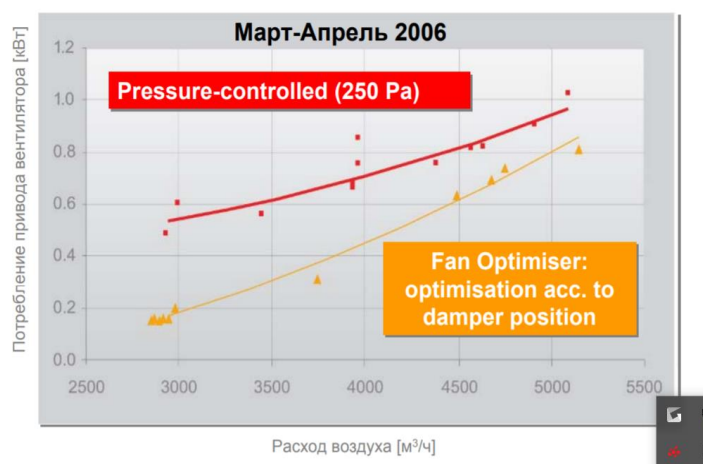
Як видно з таблиці 2, система VAV на 34% споживає менше електроенергії ніж система з постійною витратою повітря, тобто експлуатаційні затрати будуть значно меншими. Якщо ж порівняти капітальні затрати, то одразу помітно, що витрати на систему зі змінною подачею повітря будуть значно більшими ніж на систему з постійною подачею повітря.

Сравнение результатов

BELIMO



Потребление энергии: Приточная установка в «LONGUS»



Висновок. Розрахувавши термін окупності отримаємо, що через 5 років експлуатаційні затрати на систему зі змінною подачею повітря окуплять капітальні затрати і система почне приносити економію. При значних теплових надлишках в будівлі система центрального кондиціонування VAV істотно ефективніше системи VVV, так як дозволяє забезпечити економію холоду протягом року і тепла в холодний період року. Крім того, істотною перевагою першої системи є той факт, що холодильна установка використовується тільки в теплий період року при температурі зовнішнього повітря вище + 15 °С.

Список використаної літератури:

1. Журнал АВОК № 7/2012
2. Е.В. Стефанов «Вентиляція і кондиціонування повітря», 2005р.
3. Презентація «VAV BELMO», 2011р.

РАЗРАБОТКА БЕЗДАТЧИКОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЛИФТА

Аннотация: Проведен анализ возможных вариантов скалярного и векторного управления в системе ПЧ-АД без датчика частоты вращения ротора. Представлена реализация бездатчиковой системы векторного управления. Бездатчиковая система управления основана на алгоритме оценивания частоты вращения вала ротора. Оценивание осуществляется по информации о текущих напряжениях и токах, поступающей с соответствующих датчиков. При небольшой частоте вращения используется скалярная система управления. При достижении доступной к оцениванию частоты осуществляется плавный переход к векторной системе управления. Плавный переход реализуется с помощью интегрирования координат управления при скалярном управлении до значений координат при векторном управлении. Именно таким образом удается избежать бросков, рывков и ударов в механических частях электропривода при его разгоне и торможении.

Ключевые слова: система управления, преобразователь частоты, идентификация параметров, переходный процесс, бездатчиковые системы, электропривод лифта.

Abstract. The analysis of possible variants of scalar and vector control in the system “Frequency converter-asynchronous motor” without speed sensor rotor is done. The implementation of the sensorless vector control system is described. Sensorless control system is based on the algorithm of the estimation of frequency of rotation of the rotor shaft. The estimation is based on information about current voltages and currents getting from the sensors. At low speeds used scalar control system. When reaching available to the evaluation of the frequency, is used “jumping” to vector control system. A smooth jumping is implemented through integration control coordinates from scalar control to the control coordinate values in vector control. Thus It is possible to avoid throws, jumps and bumps in the mechanical parts of the electric drive when its acceleration and braking.

Keywords: The system of inverter control, parameter identification, transition process, sensorless system, elevator drive.

Введение

В условиях рыночной конкуренции значительно возросли требования, предъявляемые к лифтовому оборудованию, особенно в части замены существующих нерегулируемых электроприводов частотно-регулируемыми электроприводами. По данным специалистов МГУП “Мослифт”, при эксплуатации нескольких сотен модернизированных лифтов в реальных условиях были практически подтверждены следующие преимущества частотно-регулируемых электроприводов: существенное повышение надежности лифтов (средняя наработка на отказ увеличилась с 200...250 до 450 часов); уменьшение энергопотребления в 1,5...2 раза; уменьшение пусковых токов в 2,5...3,5

раза (в первую очередь по причине применения асинхронных электроприводов с частотным регулированием).

Также за счет замены двухскоростных двигателей с массивным маховиком на общепромышленные двигатели получают снижения материалоемкости до трехсот килограмм на один лифт.

Частотное управление позволяет обеспечить оптимальные графики разгона и замедления, гарантирующие необходимую плавность хода и высокую точность остановки кабины лифта. Это, в свою очередь, сводит к минимуму динамические нагрузки, что способствует существенному повышению долговечности узлов лифтового оборудования и снижению эксплуатационных расходов на выполнение работ капитального характера.

Принцип работы бездатчиковой системы управления

С целью обеспечения стабильной работы бездатчикового электропривода во всем диапазоне частот применяют комбинированное управление, например, управление по току в области малых частот, а в области средних и больших частот – векторное управление [1]. При этом в момент переключения возникают колебания электромагнитного момента, приводящие к существенным вибрациям кабины лифта и, соответственно, неприятным ощущениям для пассажиров.

На рис. 1 приведена функциональная схема, реализующая предлагаемый алгоритм плавного перехода. На схеме назначение блоков прямого и обратного преобразования координат, ПИ-регуляторов (пропорционально-интегральных) скорости, потока, токов по осям d и q соответствует системе электропривода с датчиком частоты вращения. Также необходимо отметить, что все ПИ-регуляторы выполнены с ограничением диапазона выходных сигналов и содержат блок динамической компенсации степени насыщения. Идентификатор скорости (ИС) выполнен на основе стандартных процедур ACI_FE и ACI_SE разработки Texas Instruments Inc. Следует отметить, что векторное управление в данной схеме выполнено с ориентацией по вектору потокосцепления ротора на основе блока “Адаптивной идентификации потока и угла поворота поля ротора” (АИП) (см. рис. 2). Блок АИП формирует адаптивно-изменяющуюся при переходе между типами управлений зону ограничения частоты вращения поля статора двигателя ω_e и вычисляет поток Ψ двигателя и угол поворота Θ поля ротора.

В токовом управлении, когда частота задания ω_{REF} не превышает установленного значения ω_{jump} , выходная переменная Flag блока “Сигнализатор перехода от $jump$ скалярного управления к векторному” (СП) принимает значение, равное “0”, что соответствует подключению на вход блока АИП (см. рис. 1) значения заданной частоты ω_{REF} вращения вала двигателя.

При превышении частотой задания ω_{REF} установленного значения ω_{jump} , система начинает переход к векторному управлению. Так значение переменной Flag меняется на “1”, а блоку АИП передается оцененное блоком ИС значение частоты ω_{FDB} вращения вала двигателя. Зона ограничения вычисленной частоты ω_e начинает расширяться от “0” до “1” [о.е.].

Переменная Sat начинает увеличиваться по интегральному закону с интенсивностью T_i в соответствии с формулой: $Sat(t_k) = Sat(t_{k-1}) + T_i \cdot \Delta t$.

Тем самым, до момента перехода от токового типа управления к векторному типу, блок АИП ориентируется на значение заданной частоты вращения вала ротора двигателя, а, начиная с момента перехода, – на оцененную частоту, учитывая еще и текущее скольжение двигателя. Постепенное расширение зоны, ограничивающей значение вычисленной частоты от “0” до “1” [о.е.], обеспечивает плавность перехода от заданной частоты ω_{REF} к оцененной ω_{FDB} . Переход от векторного управления к токовому происходит в обратном порядке, при этом переменная Sat начинает уменьшаться по интегрально-параболическому закону с интенсивностью T_i , в соответствии с формулой: $Sat(t_k) = Sat(t_{k-1}) - Sat(t_{k-1}) \cdot T_i \cdot \Delta t$

Постепенное сужение зоны, ограничивающей значение вычисленной частоты ω_e от текущего значения до “0”, обеспечивает плавность перехода от оцененной ω_{FDB} к заданной частоте ω_{REF} . Данное условие плавного перехода не является единственным. Необходимо также осуществить “плавный подхват” задающих воздействий на ПИ-регуляторы токов (см. рис. 1) с помощью “Блоков плавного перехода от скалярного управления к векторному” управлению (БПСВ).

На рис. 3 приведен БПСВ для канала скорости q , аналогично выполнен блок d в канале потока.

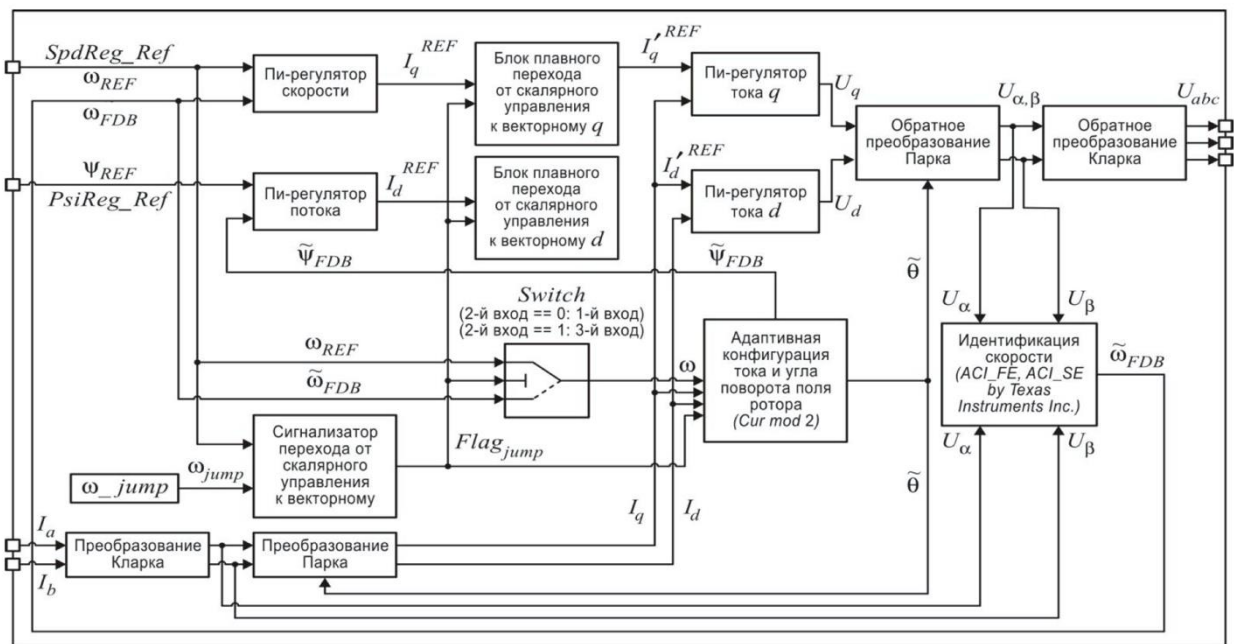


Рисунок 1 - Функциональная схема электропривода

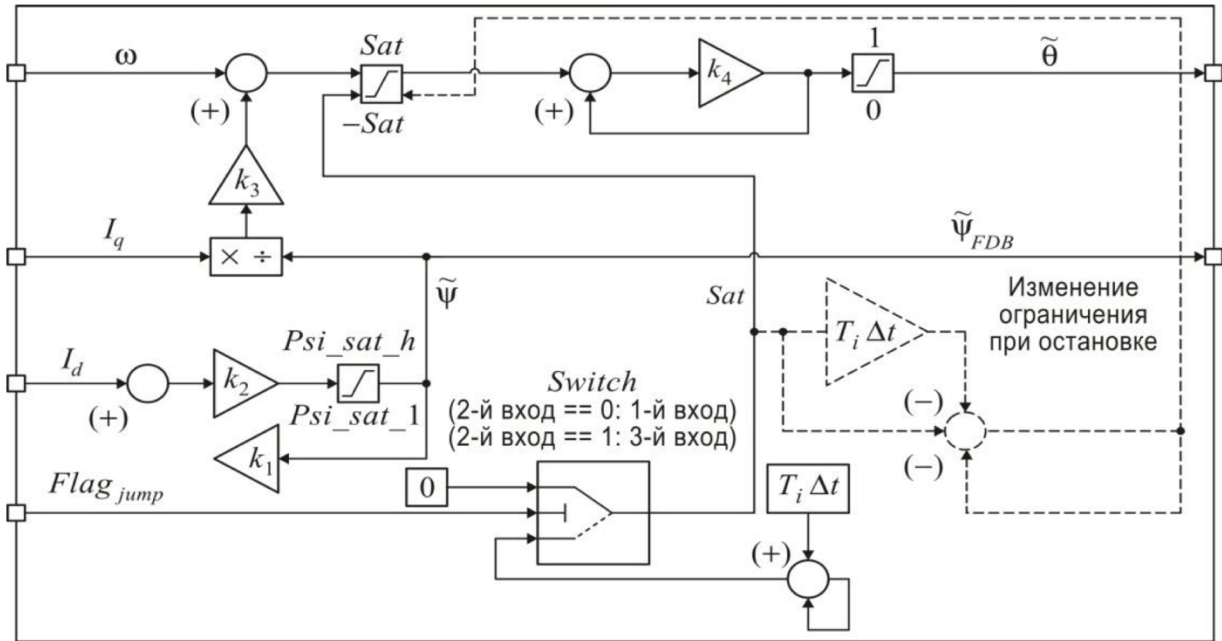


Рисунок 2 - Адаптивна ідентифікація потоку і угла поворота поля ротора

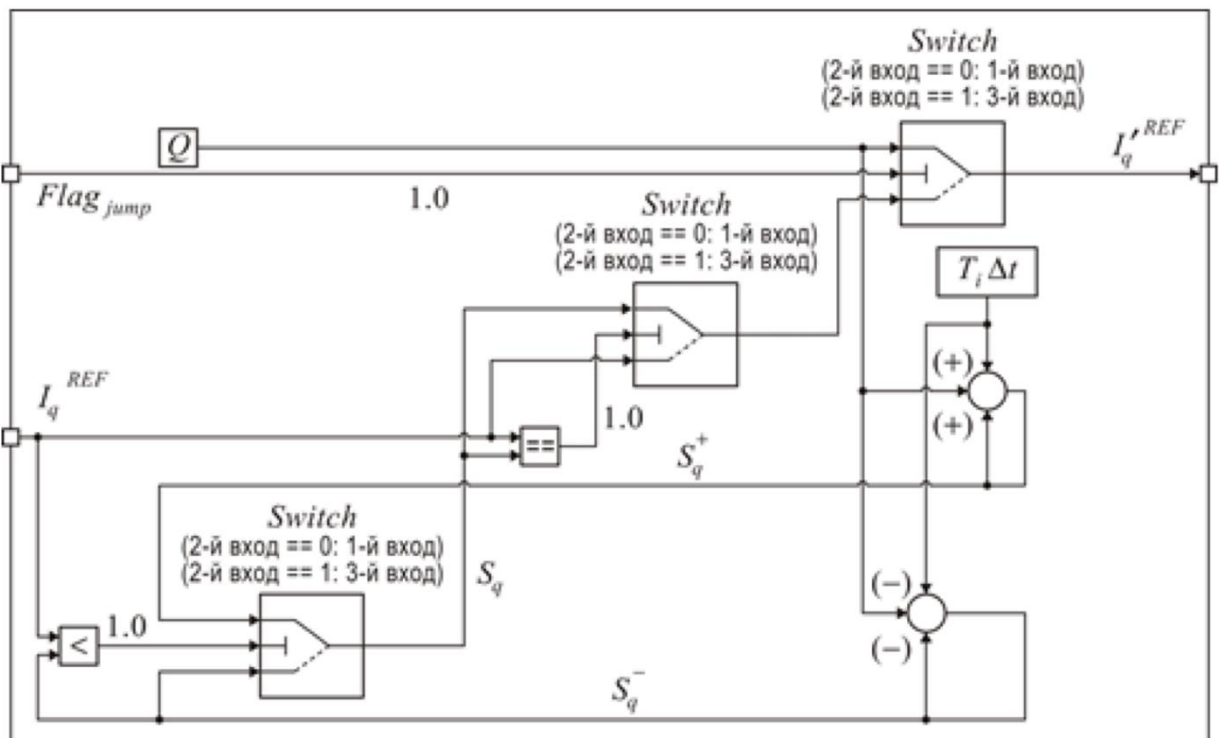


Рисунок 3 - Блок плавного переходу від скалярного управління до векторного управління в контурі швидкості

В момент переходу к векторному управленню значення задаючих впливів I_q^{REF} і I_d^{REF} на регулятори токів q і d по інтегральному закону змінюються від постійних заданих значень Q і D (рис. 3) при токовому управленні до робочих значень I_q^{REF} і I_d^{REF} при векторному управленні. При цьому враховується напрямлення (знак) управляючого впливу в момент переходу і на вхід ПИ-регуляторів токів поступають проміжні змінні $S+$ або $S-$ (см. рис. 3).

Обратний перехід к токовому управленню здійснюється аналогічно прямому, але в зворотному порядку і величини $S+$ або $S-$ змінюються від поточних значень при q і d до констант Q і D при токовому.

Заключення

Розроблена схема бездатчикової системи управління електропривода. Скалярне управління функціонує в зоні низьких частот (до 10 Гц) обертання вала ротора електродвигача, а векторне управління – в зоні високих частот (вище 10 Гц). Посередством використання інтегрального і інтегрально-параболічного закону, перехід від токового управління к векторному управленню і зворотним здійснюється без ударів і ривків. Предложена схема може бути використана в перетворювачах частоти для управління електродвигачами ліфтів.

Література

1. Виноградов А.Б. Адаптивно-векторная система управления бездатчикового асинхронного электропривода серии ЭПВ / А.Б. Виноградов, А.Н. Сибирцев, И.Ю. Колодин // Силовая электроника. – 2006. – №3. – С. 15-20.
2. Виноградов А. Бездатчиковый электропривод подъемно-транспортных механизмов / А. Виноградов, А. Сибирцев, С. Журавлев // Силовая электроника. – 2007. – №1. – С. 35-38.
3. Виноградов А.Б. Автоматизация настройки параметров в асинхронном электроприводе с микропроцессорным управлением / А.Б. Виноградов, Д.А. Монов, И.Ю. Колодин // Состояние и перспективы развития электротехнологии: тезисы докл. Междунар. научно-техн. конф. – Иваново, 1999. – С. 197.
4. Волков А.В. Идентификация потокосцепления ротора частотно-регулируемого асинхронного электродвигателя // Электротехника. – 2005. – №5. – С.23-25.
5. Масандилов Л.Б. Особенности выбора расчетных параметров асинхронного двигателя // Электропривод и системы управления: труды МЭИ. – М.: МЭИ, 2007. – Вып. 683. – С. 24-30.
6. Удут Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов: учебное пособие. Часть 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 448 с.
7. Чернышев А.Ю. Электропривод переменного тока: учебное пособие / А.Ю. Чернышев, И.А. Чернышев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 218 с.
8. Краснов И.Ю. Плавный разгон и торможение частотно-регулируемого электропривода пассажирского лифта / И.Ю. Краснов, Е.С. Горюнов // Известия ВУЗов. Электромеханика. – 2011. – №6. – С. 72-77.
9. Краснов И.Ю. Обеспечение плавного разгона и торможения промышленных механизмов / И.Ю. Краснов, Н.В. Гусев, С.В. Ланграф, С.В. Ляпушкин // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – №4. – С. 122-127.
10. Симаков Г.М. Процессы пуска и торможения асинхронного электропривода с частотным управлением при вентиляторной нагрузке / Г.М. Симаков, М.А. Марченко // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2010. – № 2. – С. 383-387.

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ

***Анотація.** В результаті проведених досліджень було розроблено пристрій для визначення енергоефективності насосної установки для систем автоматизованого керування і контролю процесів перекачування рідини на об'єктах видобутку корисних копалини, що в свою чергу, дозволяє контролювати зміну параметрів використовуваного устаткування за критичні значення, виявляти тим самим енергетично неефективне обладнання насосної установки і оперативно реагувати, реалізуючи необхідні енергозберігаючі заходи.*

***Abstract.** As a result of the conducted research, a device was developed for determining the energy efficiency of a pump installation for automated control systems and control of fluid transfer processes at mining sites, which in turn allows controlling the change of parameters of the equipment used for critical values, thereby detecting energy-inefficient equipment pump installation and react promptly, realizing the necessary energy saving measures.*

Вступ. Підземне вилуговування руди здійснюється шляхом виборчого перекладу металу в технологічну рідину на місці залягання руд за допомогою впливу хімічних розчинів. Для підняття технологічного розчину з рудою з свердловин і зворотного закачування хімічних розчинів застосовують відцентрові насоси.

Енергетичні показники насосних установок залежать від режиму роботи. Параметрами, що визначають режим роботи насоса, є напір і подача. Ці величини також повністю визначають частоту обертання і момент навантаження на валу електродвигуна, тобто режим роботи електроприводу. Відповідно, регулювання основних параметрів робочого режиму насоса вплине на енергетичні показники і дозволить визначити ефективність роботи насосної установки. Найбільш ефективно регулювати основні параметри режиму роботи відцентрових насосів методом зміни частоти обертання робочих коліс [1]. Зміна частоти обертання робочих коліс насоса можливо, коли в якості приводного двигуна використовуються газові турбіни, двигуни внутрішнього згоряння або регульований електропривод

Мета та завдання. Розробка пристрою визначення енергоефективності насосної установки для систем автоматизованого керування і контролю процесів перекачування рідини та оцінки енергоефективності роботи насосних установок для регульованого електроприводу на об'єктах видобутку корисних копалин.

Матеріал та результати дослідження. Пристрій визначення енергоефективності насосної установки містить блок розрахунку, табло, модуль діагностичних параметрів, три виходи якого сполучені, відповідно, з виходами датчиків потужності, тиску, продуктивності, та три ланцюги для підключення до мережі живлення через датчик потужності. Додатково містить три джерела постійної вхідної дії, два функціональні перетворювачі, модуль діагностичних параметрів має датчик обертів, вихід якого сполучено з четвертим виходом, блок розрахунку складається з послідовно сполучених блока ділення, блока множення, блока порогових рівнів.

В основу запропонованої моделі поставлена задача удосконалення пристрою визначення енергоефективності насосної установки, шляхом введення додаткових елементів, блоків та нових функціональних зв'язків між ними, що забезпечить контроль

роботи насосних установок та дозволить оперативно оцінювати енергоефективність насосних установок за встановленими показниками для регульованих електроприводів на об'єктах водопостачання та проводити їх уточнення при необхідності, що підвищить надійність насосної установки в цілому.

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій визначення енергоефективності насосної установки містить блок розрахунку, табло, модуль діагностичних параметрів, три виходи якого сполучені, відповідно, з виходами датчиків потужності, тиску, продуктивності, та три ланцюги для підключення до мережі живлення через датчик потужності, відрізняється тим, що додатково містить три джерела постійної вхідної дії, два функціональні перетворювачі, модуль діагностичних параметрів має датчик обертів, вихід якого сполучено з четвертим виходом, блок розрахунку складається з послідовно сполучених блока ділення, блока множення, блока порогових рівнів, три виходи якого є виходами блока розрахунку і підключені до відповідних трьох входів табло, а перший та другий входи сполучені з першим та другим входами блока ділення, третій вхід сполучено з першим джерелом постійної вхідної дії, четвертий вхід сполучено з першим виходом модуля діагностичних параметрів, другий вихід якого сполучено з першим входом першого функціонального перетворювача, третій вихід - з його другим входом та першим входом другого функціонального перетворювача, четвертий вихід сполучено з другим входом другого функціонального перетворювача, третій вхід якого сполучено з другим джерелом постійної вхідної дії, а вихід сполучено з першим входом блока розрахунку, другий вхід якого сполучено з виходом першого функціонального перетворювача, третій вхід якого сполучено з третім джерелом постійної вхідної дії, а четвертим входом підключено до другого входу блока порогових рівнів.

Структурна схема пристрою визначення енергоефективності насосної установки представлена на рис. 1.

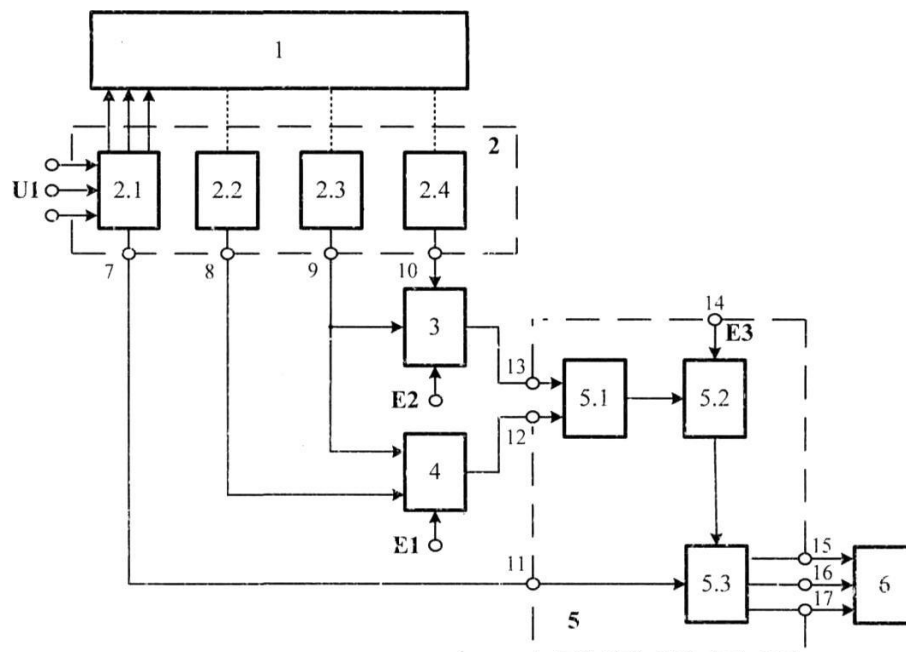


Рисунок 1 – Структурна схема пристрою визначення енергоефективності насосної установки

Пристрій визначення енергоефективності насосної установки складається з насосної установки 1, інформація стану якої реєструється в модулі 2 діагностичних параметрів, до першого виходу якого підключено вихід датчика потужності 2.1, через який проходять три ланцюги живлення насосної установки 1 від джерела У1, до другого виходу підключено вихід датчика тиску 2.2, до третього виходу підключено вихід датчика продуктивності 2.3, до четвертого виходу підключено вихід датчика обертів 2.4. Модуль 2 діагностичних параметрів четвертим виходом сполучений з другим входом функціонального перетворювача 3, третім виходом сполучений з першим входом функціонального перетворювача 3 та другим входом функціонального перетворювача 4, перший вхід якого сполучено з його другим виходом, перший вихід модуля 2 діагностичних параметрів сполучено з четвертим входом блока 5 розрахунку, який складається з послідовно сполучених блока 5.1 ділення, блока 5.2 множення, блока 5.3 порогових рівнів, три виходи якого є виходами блока 5 розрахунку, які сполучені з трьома входами табло 6. Виходи функціональних перетворювачів 3 та 4 сполучено з двома входами блока 5 розрахунку, до яких підключено два входи блока 5.1 ділення. Три джерела Е1, Е2, Е3 постійної вхідної дії сполучені з третіми входами, відповідно, функціональних перетворювачів 3, 4 та блока 5 розрахунку. Чотири виходи модуля 2 діагностичних параметрів позначені точками 7, 8, 9, 10. Чотири входи блока 5 розрахунку позначені точками 11, 12, 13, 14, а виходи - точками 15, 16, 17. Штриховими лініями умовно показані інформаційні зв'язки датчиків 2.2, 2.3, 2.4 з насосною установкою 1.

Насосна установка 1 забезпечує гідравлічні показники та складається з насоса, електродвигуна, апаратури керування, може мати пристрій регулювання частоти обертання робочого колеса насоса.

Датчик потужності 2.1 забезпечує формування вихідного сигналу, пропорційного споживаній активній потужності насосної установки 1.

Датчик тиску 2.2 забезпечує формування вихідного сигналу, пропорційного тиску на виході насосної установки 1.

Датчик продуктивності 2.3 забезпечує формування вихідного сигналу, пропорційного продуктивності насосної установки 1.

Датчик обертів 2.4 забезпечує формування вихідного сигналу, пропорційного частоті обертання робочого колеса насоса насосної установки 1.

Висновки. 1. Використання запропонованого пристрою дозволяє оцінювати енергоефективність насосної установки за встановленими показниками, що задаються від джерел постійної вхідної дії Е1, Е2, Е3, і контролювати зміну параметрів використовуваного устаткування за критичні значення, виявляти тим самим енергетично неефективне обладнання насосної установки і оперативно реагувати, реалізуючи необхідні енергозберігаючі заходи.

Пристрій забезпечує контроль та управління процесом у всьому діапазоні навантажень на насосну установку, дозволяє оперативно оцінювати енергоефективність насосного устаткування 40 за встановленими показниками для регульованих електроприводів на об'єктах водопостачання, просто адаптувати пристрій при можливих змінах в технології його роботи, знизити витрати електроенергії і підвищити надійність установки в цілому.

Список використаної літератури:

1. Патент Российской Федерации № 62668. "Система управления энергопотреблением насосных станций предприятия коммунального хозяйства". МПК Р04Б 51/00. Опубл. 27.04.2007.

2. Закладний О.М. Энергобереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник // О.М. Закладний, А.В. Праховник, О.І. Соловей – К: Кондор, 2005. – 408 с.

3. Муравлева О.О. Оценка влияния энергетических характеристик асинхронного двигателя на энергосбережение насосного агрегата / О.О. Муравлева, Е.В. Вехтер, Т.В. Жарикова // Известия Томского политехнического университета/. – Т.308. № 1. – Томск: ТПУ, 2005. - С. 174-178.

4. Pumps life cycle cost: a guide to LCC analysis for pumping systems. executive summary / [Hydraulic institute and Europump]. - Washington, DC, USA, 2001. - 16 с

Керівник, к.т.н., ст. викл. Босак А.В.

УДК 658.512

Левкович А.П.
Каф. АУЕК

РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЦИВІЛЬНИХ СПОРУД

Досліджено та доведено можливість підвищення рівня ефективності споживання теплової енергії та водоспоживання будівлі (на прикладі адміністративної будівлі гірничовидобувного підприємства) за рахунок побудови системи моніторингу та контролю параметрів енергоефективності.

Ключові слова: *моніторинг теплопостачання та водопостачання, енергозбереження, енергоефективні будівлі, інтелектуальна будівля.*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГРАЖДАНСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Проведено исследование и доказана возможность повышения уровня эффективности потребления тепловой энергии и водопотребления здания (на примере административного здания горнодобывающего предприятия) за счет построения системы мониторинга и контроля параметров энергоэффективности.

Ключевые слова: *мониторинг теплоснабжения и водоснабжения, энергосбережения, энергоэффективные здания, интеллектуальное здание.*

DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF MONITORING AND CONTROL OF PARAMETERS OF ENERGY EFFICIENCY OF HEAT SUPPLY OF CIVIL BUILDINGS

The purpose of the work is an increase of the efficiency level of the of consumption of a thermal energy (on the example of office building of the mining industry) due to creation of system of monitoring and control of parameters energy`s efficiency.

Key words: *monitoring of warm supply and water supply, the saving of energy, energy effective buildings, smart-building.*

Актуальність теми. Сучасне проектування і будівництво енергоефективних будівель полягає у більш раціональному використанні енергетичних ресурсів, витрачених на енергопостачання, теплопостачання та водопостачання будівлі шляхом прийняття інноваційних рішень, які можуть бути здійснені технічно, обґрунтовані економічно, а також прийнятні з екологічної та соціальної точок зору і не змінюють звичного способу життя. Пріоритетність при виборі енергозберігаючих технологій мають технічні рішення, які одночасно сприяють поліпшенню мікроклімату приміщень та захисту навколишнього середовища[1,2,3]. Розгляд енергоефективної будівлі як сукупності незалежних інноваційних рішень порушує принципи системності та призводить до зниження енергетичної та економічної ефективності проекту. Зростаючі

запити щодо комфорту й сервісу призводять до необхідності вдосконалювати засоби моніторингу, контролю та керування систем тепло- та водопостачання будівель. У кожного підприємства є власні вимоги до устаткування будівель. При цьому вирішальне значення має вибір правильного технічного рішення системи керування [4,6].

Комплекс систем життєзабезпечення призначений для створення оптимальних умов роботи й життєдіяльності людей у будівлі, скорочення експлуатаційних витрат і енергозбереження.

Мета і задачі дослідження. Мета роботи полягає у підвищенні рівня ефективності споживання теплової енергії та водоспоживання будівлі (на прикладі адміністративної будівлі гірничодобувного підприємства) за рахунок побудови системи моніторингу та контролю параметрів енергоефективності.

Для досягнення мети роботи вирішувались задачі:

-побудова структурної схеми комплексної системи керування адміністративною будівлею;

-визначення факторів, які впливають на рівень енергоефективності тепло- та водопостачання;

-впровадження комплексу засобів моніторингу та контролю параметрів енергоефективності тепло- та водопостачання адміністративної будівлі.

Об'єктом дослідження є режими теплопостачання та водопостачання будівель, а також організація поточного безпосереднього моніторингу контролю фактичного стану приміщень.

Предметом дослідження є система моніторингу та контролю параметрів енергоефективності тепло- та водопостачання.

Методи дослідження : пошукові, проектні та дослідницькі розробки.

Використано загальну структурну схему комплексної системи керування адміністративною будівлею, яка зображена на рис. 1.

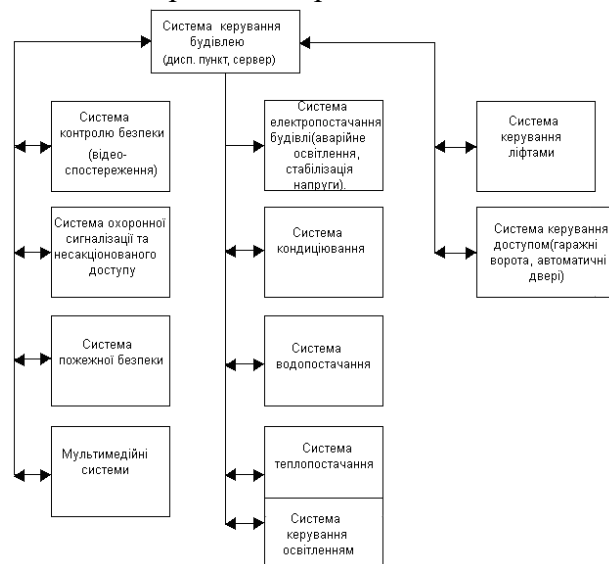


Рисунок 1 - Загальна структурна схема комплексної системи керування адміністративною будівлею

Максимальні витрати теплоти на опалення адміністративної будівлі :

$$Q^0 = q \cdot F \cdot (1 + K_B), \text{Вт}$$

де q -укрупнений показник максимальних витрат теплоти на опалення 1 м^2 площі, $\text{Вт}/\text{м}^2$

F - площа, яка опалюється, м^2

K_B - коефіцієнт, який враховує витрати теплоти на опалення будівлі.

Річні витрати теплоти на опалення:

$$Q_{\text{річ}}^0 = Q^0 \left[\frac{t_{\text{вп}} - t_{\text{но}}^{\text{ср}}}{t_{\text{вп}} - t_{\text{но}}} n_o \cdot 24 \cdot 3600 \right], \text{МДж/рік}$$

де $t_{\text{вп}}$ - розрахункова середня внутрішня температура повітря опалювальних приміщень, $^{\circ}\text{C}$ ($t_{\text{вп}}=20^{\circ}\text{C}$);

$t_{\text{но}}^{\text{ср}}$ - температура навколишнього повітря середня за опалювальний період, $^{\circ}\text{C}$;

n_o - тривалість опалювального періоду, днів/рік.

Реалізація зазначених технологій в першу чергу мінімізує всі втрати й створює умови збігу за часом режимів кількості виробленого й спожитого тепла.

При цьому кількість споживаного тепла визначається поточною температурою зовнішнього повітря без «перетопів» та «недотопів» залежно від теплоізоляційних властивостей огорожувальних конструкцій будівлі. Будь-яка зміна навантажень миттєво визначається, при постійній температурі мережевої води, її кількістю й зміною гідравлічного режиму мережі, що вловлюється датчиком.

Схему системи опалювання будівлі зображено на рис. 2.

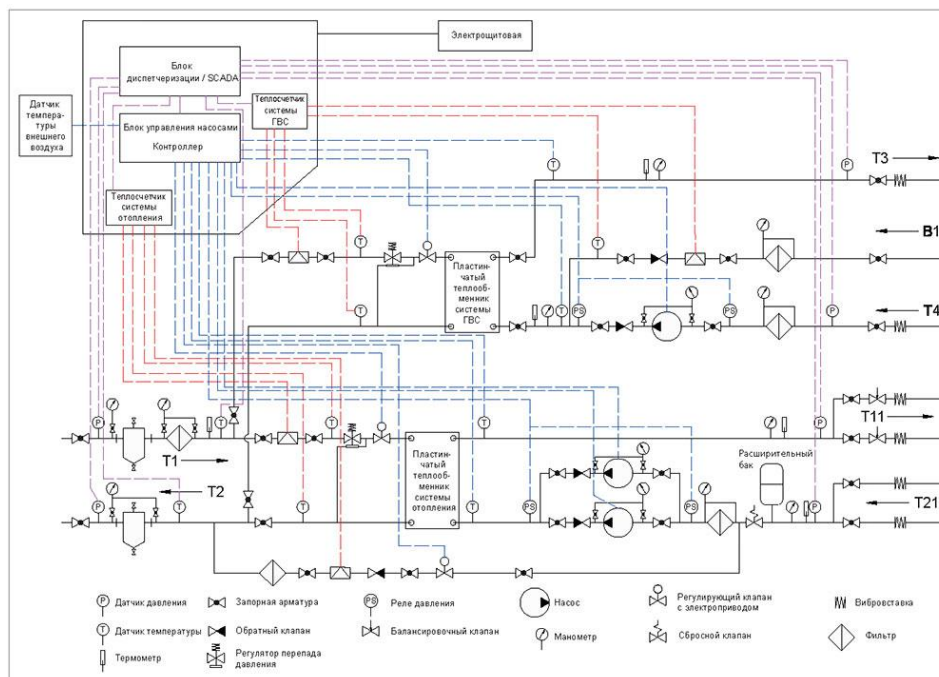


Рисунок 2- Схема індивідуального теплового пункту з незалежним приєднанням системи опалення до теплової мережі і паралельним підключенням системи ГВП

При опаленні будівлі площею 900 м² використовуємо насос з максимальним напором 0,8 атм . У СНиП 2.04.05 – 91 вказано, що при кількості градусо-днів <2500 питома теплова потужність складає 63 Вт на метр квадратний. Для даної будівлі потрібен тепловий насос потужністю опалення 56 кВт [7].

Середньотижневі витрати теплоти на гаряче водопостачання житлових і громадських будівель:

$$Q_{сер,m}^{ГВ} = \frac{m \cdot (a + b) \cdot (t_{Г} - t_{ХЗ}) \cdot C_p \cdot \rho}{24 \cdot 3600}, \text{Вт}$$

де m – кількість людей, які постійно знаходяться в адміністративній будівлі гірничодобувного підприємства:

- b-норма витрат гарячої води для будівлі, віднесена до однієї людини, л/добу;
- a-норма витрат гарячої води при t_Г=60 °С на одну людину, л/добу ;
- t_Г-температура гарячої води для систем гарячого водопостачання, °С;
- t_{ХЗ}-температура холодної води в опалювальний період, °С ;
- C_p-масова ізобарна теплоємність води, кДж/(кг·К) ;
- ρ-густина води .

Базові (розрахункові) графіки температур теплоносія в прямому та зворотному трубопроводі керованого контуру обчислюються контролером по заданих параметрах (максимальна температура джерела теплоенергії, максимальна температура опалювального контуру, розрахункова температура зовнішнього повітря, розрахункова температура повітря в приміщенні) рис.3.

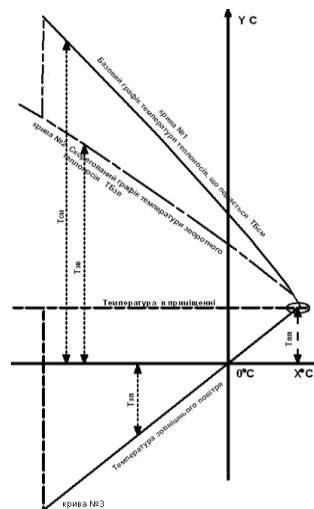


Рисунок 3 - Базовий графік тепlopостачання

Корекція графіка теплоносія, що подається, відбувається за критерієм температури повітря в приміщенні. Установка датчика температури повітря в приміщенні дозволяє визначати неузгодженість між поточною температурою повітря в приміщенні й заданою. Неузгодженість температур означає невиконання завдання й призводить до корекції температури теплоносія, що подається, якщо така корекція задана користувачем [5]. Величина корекції заданої температури теплоносія, що подається (ТЗсм), обчислюється контролером автоматично у відсотках і може бути змінена користувачем на величину ± 100%(рис. 4).

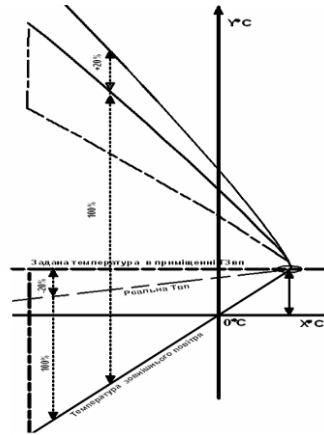


Рисунок 4 - Графік корекції базових графіків по критерію температури

Наукова новизна отриманих результатів:

- 1) проведено аналіз систем керування тепло- та водопостачанням;
- 2) досліджено тепловий режим адміністративної будівлі гірничовидобувного підприємства;
- 3) досліджено основні критерії вибору та характеристики апаратних засобів для реалізації таких систем (контролери, датчики, термостат, системи збору та передачі інформації).
- 4) розроблено систему моніторингу та контролю параметрів енергоефективності тепло- та водопостачання адміністративної будівлі;

Практичне значення отриманих результатів. Результатом впровадження системи моніторингу та контролю є підвищення рівня ефективності використання теплової енергії; забезпечення надійного і гарантованого керування системами тепло- та водопостачання, що знаходяться в експлуатації, адміністративної будівлі.

Перелік посилань

1. Биллинг и мониторинг в системах муниципального теплоснабжения / В.Е. Вахромеев // ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ: - 2005. - №1. – С. 71 – 79.
2. Системы автоматизации и диспетчеризации высотных жилых комплексов/В.В. Панкратов, С.В. Марфин, А.Н. Колубков//Авок:-2005, №5.
3. Про досвід застосування в житлових і цивільних будинках автономних систем опалення із застосуванням сучасного енергоефективного інженерного устаткування в країнах СНД. Комплексне рішення проблем впровадження в масове будівництво» / Р.Э. Мукумов – 2008 р.
4. Шойхет Б.М. // Концепция энергоэффективного здания//Энергосбережение -№7-2007г.
5. Комплексная система учета энергоресурсов: варианты построения / А.А. Охотин // Энергосбережение: - 2004. - №3. – С. 23 – 25.
6. Автоматизированная система диспетчерского управления комплексом / Л.Е. Лигун // ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ: - 2005. - №3. – С. 14 – 16.
- 7.СНиП 2.04.05-91 / Отопление, вентиляция и кондиционирование.

Керівник магістерської дисертації Прядко С.Л.

УДК 621.867.21

Місюк Б.В.
Каф. АУЕК

**МЕТОДИКА ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ
БАГАТОДВИГУНОВИХ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ
МАГІСТРАЛЬНИХ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ**

**METHOD OF INCREASING ENERGY EFFICIENCY OF MULTI-MOTOR
FREQUENCY-CONTROLLED ELECTRIC DRIVES OF THE MAIN BELT
CONVEYORS**

***Анотація.** Особливою категорією промислового застосування електроприводу є гірничодобувні машини вугільних шахт. Серед технологічних процесів в гірничодобувній промисловості процес транспортування вугілля на поверхню за допомогою магістральних стрічкових конвеєрів являється одним з найважливіших. Такий конвеєр працює в умовах мінливої навантаження. Основні резерви економії і раціонального використання електроенергії досягаються як за рахунок зменшення втрат в електроприводі, так і за рахунок застосування автоматизованого електроприводу з перетворювачем частоти. Це підтверджує, що завдання дослідження характеристик і режимів роботи, а також впровадження енергозберігаючого електроприводу для стрічкового конвеєра є актуальними. Стаття пропонує методику підвищення енергоефективності багатодвигунових частотно-регульованих електроприводів магістральних стрічкових конвеєрів, засновану на зміні швидкості конвеєра і управлінні магнітним станом двигуна. Дана оцінка економічної та енергетичної ефективності реалізації даної методики.*

***Abstract.** Mining machines of coal mines are a special category of industrial application of the electric drive. Among technological processes in the mining industry, coal transportation to the surface with the help of main belt conveyors is one of the most important processes. Such a conveyor operates under conditions of varying load. The basic reserves of economy and rational use of electric power are achieved both due to reduction of losses in the electric drive, and due to the use of an automated electric drive with a frequency converter. This confirms that the tasks of researching the characteristics and operating modes, as well as the introduction of an energy-saving electric drive for the belt conveyor are relevant. The article suggests a technique for increasing the energy efficiency of multi-motor frequency-controlled electric drives of main belt conveyors, based on changing the speed of the conveyor and controlling the magnetic state of the motor. The estimation of economic and energy efficiency of this method is given.*

***Ключові слова:** частотно-регульований електропривод, перетворювач частоти, енергоефективність, магістральний стрічковий конвеєр.*

***Keywords:** frequency-controlled electric drive, frequency converter, energy efficiency, main belt conveyor.*

Вступ. В даний час питання ефективного використання енергоресурсів виходять на перший план. Одним з найважливіших серед технологічних процесів в гірничодобувній промисловості є процес транспортування вугілля на поверхню за допомогою магістральних стрічкових конвеєрів. Оптимального використання електроенергії в електроприводі конвеєра можна досягти шляхом застосування електроприводу з перетворювачем частоти.

У фундаментальних дослідженнях по частотно-регульованим перетворювачам [1-4] авторами розроблені способи управління частотно-регульованим електроприводом і методики оцінки енергетичної ефективності електропривода для оптимізації споживання енергії, проте певна методика для стрічкових конвеєрів відсутня.

Є два шляхи підвищення енергоефективності вони є очевидними: регулювання швидкості і зміна стану двигуна. Так, в роботі [5] запропоновано наукове обґрунтування можливості підвищення енергоефективності технологічних процесів засобами електроприводу. Про це ж йдеться в роботах [6, 7, 8, 9]. При недогрузці конвеєра знижується його продуктивність, і при постійній швидкості конвеєра зростає відносна частка потужності на подолання моменту холостого ходу. Тому для підвищення ефективності роботи необхідно працювати зі змінною швидкістю. Швидкість повинна забезпечувати колишню продуктивність при сталості моменту навантаження. На рис. 1 показані залежності питомої потужності $P^* = \frac{P}{P_{ном}}$ на валі двигуна від окремої продуктивності $Q^* = \frac{Q}{Q_{ном}}$ конвеєра для постійної і змінної швидкості стрічки.

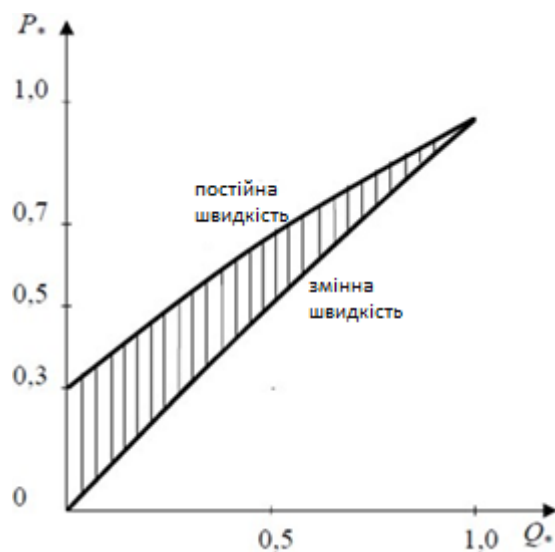


Рис. 1. Залежності питомої потужності P^* на валу двигуна від питомої продуктивності Q^* конвеєра, $mX = 0,3M_{ном}$

У публікації [10] підтверджується, що в Польщі на конвеєрах шахти KWK ANNA економія електроенергії при регулюванні склала 39% в розрахунку на одну тонну. Авторами [11] запевняється, що конвеєри шахт Республіки Білорусь споживають на 1 км довжини близько 1 млн. кВт · год на рік. При цьому можна досягти споживання менше 0,3 млн. кВт · год на рік. Щоб забезпечити значну економію енергії необхідно регулювати швидкість конвеєрів.

Оптимізація електропривода стрічкового конвеєра по швидкості

Джерело [12] підтверджує, що при автоматичному управлінні завантаженням стрічки конвеєрів за принципом підтримки на заданому рівні погонної загрузки забезпечується економія електроенергії, яка дорівнює:

$$\Delta \varepsilon = \frac{1 - k_{II}}{k_{II} k_{\Gamma}} 100\%$$

де $k_{II} = \frac{q_{ср}}{q_{ном}} \cdot k = \frac{q_{ном}}{q_{II}}$ - коефіцієнт використання конвеєра і тари, $q_{ср}, q_{ном}$ - середня і номінальна погонне завантаження стрічки конвеєра, q_{II} - погонний вага стрічки (вага 1 м стрічки).

Автоматичне управління завантаженням стрічки конвеєра може бути реалізовано застосуванням різних систем автоматичного регулювання. Стабілізуюча система автоматичного регулювання погонного завантаження (рис. 2) підтримує останню на заданому рівні за законом $q = q_{зад} = const$.

У цієї системи є кілька недоліків, таких як велика частота зміни швидкості руху стрічки і підвищений рівень динамічного навантаження, що призводить до зниження терміну служби стрічки. Інші недоліки - наявність запізнення в контурі регулювання і складність забезпечення необхідних показників якості регулювання.

Деяка частина названих недоліків усунена в двоканальній трьохпозиційній системі автоматичного регулювання погонного завантаження (рис. 3) [12]. В системі використовується грузоприймний пристрій з регульованим по продуктивності живильником і конвеєр з регульованим електроприводом. В якості керуючого пристрою використовується трьохпозиційний регулятор з двома каналами управління. Вони формують ступінчасту зміну швидкості стрічки $\pm \Delta v$ і продуктивності живильника $\pm \Delta Q$ в функції рівня матеріалу в бункері h .

При зміні вхідного вантажопотоку змінюється рівень матеріалу в вантажоприймальному пристрої. При цьому система регулює швидкість стрічки і продуктивність живильника згідно прикладу: $\Delta v = v_0 \pm \Delta v, Q = Q_0 \pm \Delta Q$. Така робота системи регулювання підтримує постійну погонну роботу завантаження стрічки конвеєра.

Таким чином, можна зробити висновок: якщо є можливість регулювати швидкість стрічки, то це потрібно робити обов'язково.

Таблиця. Споживання енергії конвеєрами в залежності від типу електроприводу і навантаження

| Тип електропривода конвеєра | Споживання енергії при загрузці конвеєра, отн. ед. | | |
|--|--|---------|------|
| | низький | високий | |
| Нерегульований асинхронний | 1,0 | 1,0 | |
| Частотно-регульований асинхронний | 0,62 | 0,74 | |
| Двухшвидкісний асинхронний з співвідношенням кутових швидкостей: | | | |
| | 1:2 | 0,79 | 0,92 |
| | 1:3 | 0,80 | 0,95 |

Оптимізація електропривода стрічкового конвеєра по втратах

Вищезазначені системи регулювання розглядають енергоефективність електроприводів з позиції впливу на технологічний процес. Однак здатність впливати на технологічний процес не завжди доступна. Для електроприводів одним з важливих критеріїв якості з енергетичних міркувань є втрати потужності. Їх зниження також є джерелом підвищення енергоефективності.

Розглянемо задачу оптимізації частотно-регульованого електроприводу по втратах потужності в асинхронному двигуні (АД). При виборі метода рішення задачі оптимізації корисно знати аналітичні властивості екстремальних характеристик двигуна, які показують значення параметрів в кожній фіксованій точці зазначеної області функціонування електропривода при зміні абсолютного ковзання β асинхронного двигуна.

У книзі [13] отримані результати розрахунку екстремальних характеристик асинхронного двигуна, представлені на рис. 4. Графіки підтверджують принципову можливість забезпечення функціонування двигуна із заданою швидкістю і заданим навантаженням при різних значеннях абсолютного ковзання β .

Варіювання ковзання при заданих технологічних параметрах дозволяє виявити умови мінімізації втрат двигуна. З графіків на рис. 4 видно, що при номінальному навантаженні мінімум втрат асинхронного двигуна досягається при значеннях абсолютного ковзання значно менше номінального ($\beta_{opt} < \beta_{ном}$). При цьому головний магнітний потік (головне потокозчеплення) більше номінального ($\psi_{т.опт} > \psi_{т.ном}$). Для цього необхідно деяке підвищення живильної напруги в порівнянні з номінальним ($u_{1.опт} > u_{1.ном}$). В області номінального ковзання двигун є специфічним елементом електричного ланцюга, так як при збільшенні напруги статора u_1 струм статора i_1 зменшується.

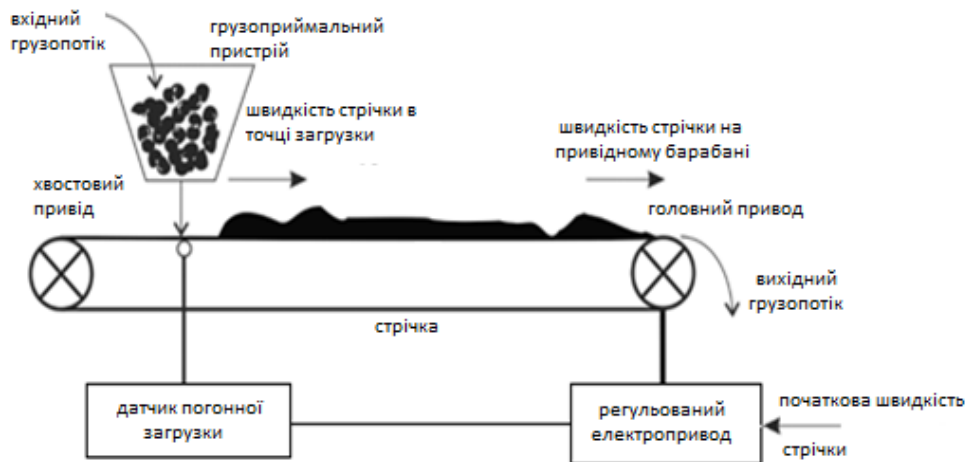


Рис. 2. Структурна схема стабілізуючої системи автоматичного регулювання погонної завантаження стрічки конвеєра

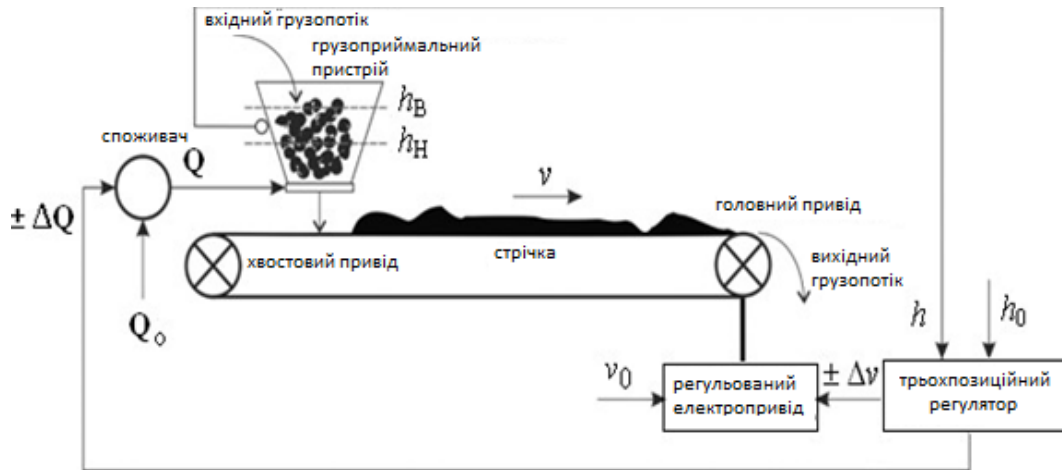


Рис. 3. Структурна схема двоканальної трьохпозиційної системи автоматичного регулювання погонної завантаження стрічки конвеєра

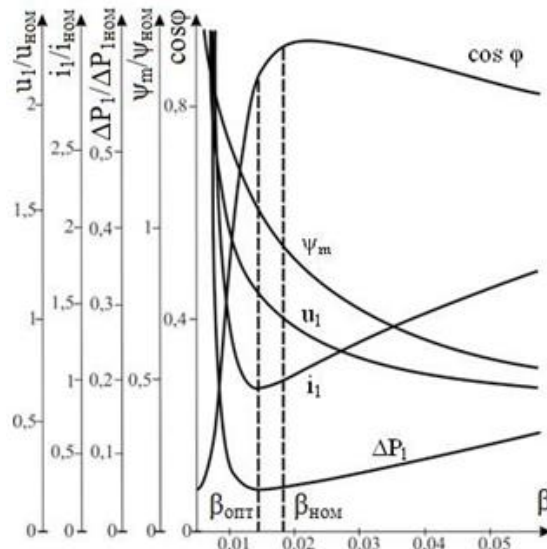


Рис. 4. Характеристики асинхронного двигуна як об'єкта оптимального управління

Чим більше значення моменту і нижче швидкість двигуна, тим критичніше змінюються втрати в функції від абсолютного вираження. Зміна моменту значно впливає на величину оптимального абсолютного ковзання. Таким чином, неприпустимо нехтувати залежністю оптимального абсолютного ковзання від моменту двигуна. При оптимальному управлінні магнітний потік змінюється в широких межах і залежить як від моменту, так і від швидкості. На магнітний потік в більшій мірі впливає момент навантаження. Зі збільшенням моменту вплив швидкості на потік зменшується. Для забезпечення режиму мінімальних втрат потрібно форсування магнітного потоку щодо його номінального значення, що досягається за рахунок збільшення напруги обмотки статора. На рис. 5 показані характеристики напруги статора асинхронного двигуна при

оптимальному управлінні по мінімуму втрат [14]. Ці характеристики показують, що для забезпечення оптимального режиму до обмотки статора повинна бути додана більша висока напруга.

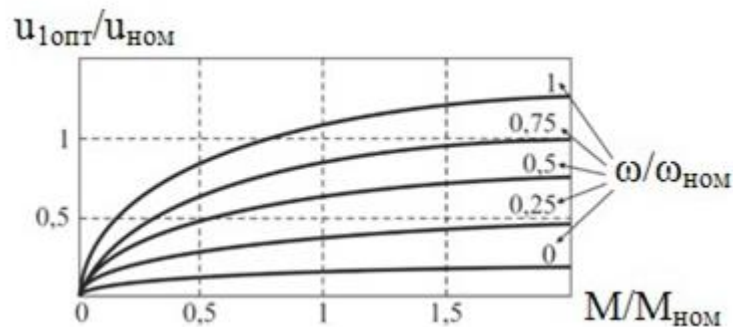


Рис. 5. Напруга статора асинхронного двигуна при оптимальному управлінні по мінімуму втрат

Висновки

Наведений вище аналіз показує, що ефективність створюється в результаті не тільки простої установки перетворювача частоти для здійснення регулювання частоти, а й за рахунок використання правильно обраної та сконструйованої системи управління.

Дослідження показали, що для стрічкового конвеєра фактична економія енергії при впровадженні перетворювачів частоти склала від 1,5 до 10%. При оптимізації магнітного потоку економія може зрости до 40%.

На підставі вищенаведеного аналізу різних способів оптимізації втрат енергії сформована методика вибору оптимального режиму управління для електроприводу магістраль стрічкового конвеєра. Ця методика може бути корисна в інженерній практиці персоналу шахт, де експлуатуються такі конвеєри, а також в проектних і дослідницьких компаніях при розробці нових або модернізації існуючих стрічкових конвеєрів.

Список літератури:

1. Bose, B.K. Power Electronics and AC Drives, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1986.
2. Kostenko, M.P. and Piotrovsky, L.M. Electrical Machines, Vol. I, Mir, Moscow, 1974.
3. Leonard, W. Control of Electrical Drives, Springer-Verlag, 1985.
4. Ильинский, Н.Ф. Энергосбережение в электроприводе / Н.Ф. Ильинский, Ю.В. Рожанковский, А.О. Горнов. – Энергосберегающая технология электроснабжения народного хозяйства: практ. пособие в 5 кн. – Кн. 2. – М.: Высш. шк., 1989. – 127 с.
5. Beshta O.S. Electric drives adjustment for improvement of energy efficiency of technological processes, Scientific Bulletin NSU, 2012, Vol. 4, pp. 98-107. The original source of material: <http://nv.nmu.org.ua/index.php/ru/component/jdownloads/finish/34-04/530-2012-4-beshta/0>.
6. Краснов И.Ю. Методы и средства энергосбережения на промышленных

предприятиях: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 186 с.

7. Электропривод и автоматизация промышленных установок как средства энергосбережения / И.А. Авербах, Е.И. Барац, И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов. – Екатеринбург: Свердловгосэнергонадзор, 2002.

– 28 с.

8. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод как средство энергосбережения / И.А. Авербах, Е.И. Барац, И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов // Энергетика региона. – Екатеринбург, 2002. – №2(45).

– С. 34–35.

9. Бабокин Г.И. Энергосбережение в электроприводе конвейера // Изв. вузов. Горный журнал. – 2002.

– №1. – С. 122–125.

10. Zaklika M., Kollek M. and Tytko C. Belt conveyors with adjustable speed, BSS BARTEC, plant

«Menden», Germany, CARBO-BARTEC, Poland, mine «ANNA», Poland, 1996. The original source of material: <http://www.bartec-sst.ru/images/work/Media/for-conveyance.pdf>.

11. Кучерявенко, В.Ф. Регулируемый электропривод конвейеров – основа безопасности и эффективности транспортировки грузов / В.Ф. Кучерявенко, А.А. Семченко, ОАО «Белгорхимпром». – Минск, Республика Беларусь: первоисточник материала: <http://tbo.technoshans.com/files/tbo-2007-1-38.pdf>.

12. Медведев, А.Е. Автоматизация производственных процессов: учеб. пособие / А.Е. Медведев, А.В. Чупин. – Кемерово: Изд-во КузГТУ, 2009. – 325 с.

13. Шрейнер, Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург УРО РАН, 2000. – 654 с.

14. Браславский, И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. – М.: Академия, 2004. – 256 с.

УДК 62-5.681.5

Паламарчук О.П.
Кафедра АУЕК**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБІТКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ**

В роботі встановлено, що вітроенергетика дозволяє покривати потреби ринку енергетичної енергії, особливо “на добу вперед» та “балансуючому ринку“ у випадку точного прогнозування обсягів виробітку електричної енергії. проведений аналіз принципів керування та режимів роботи вітроенергетичної установки дозволив сформулювати систему прогнозування виробітку. В основі системи використано нейронну мережу, яка визначає зону роботи вітроустановки для забезпечення необхідного рівня генерації електроенергії.

Ключові слова: Прогнозування, нейронні мережі, режими керування ВЕУ

SYSTEM OF PREDICTION THE OUTPUT ELECTRIC POWER AND CONTROL OPERATION REGIMES OF THE WIND POWER PLANT

As a result of the researches, a number of topical problems were solved. A neural network was used to predict electricity generation bu different wind turbine regimes. It allowed to provide the required level of electricity generation.

Key words: Prediction, neural networking, control of wind turbines

Актуальність теми. Вітроенергетика є перспективним напрямком отримання електроенергії. Використання відновлюваної екологічно чистої енергії вітру допомагає покривати ріст попиту на електроенергію в світі. Основною перешкодою щодо використання вітру як енергетичного джерела є непостійність його швидкості та напрямку [1].

Мета роботи. Розробка системи прогнозування енергії вітру для вибору режимів керування вітроенергетичної установки (ВЕУ), що забезпечить необхідний рівень генерації електроенергії для потреб енергоринку.

Матеріал і результати досліджень. Ринок електроенергії повинен мати інформацію від споживачів та виробників щодо обсягів генерації та споживання електричної енергії. Це дозволить збалансувати ринок електроенергії. Для покриття зміни споживання на ринках «На добу наперед», «Балансуючий ринок» можна використовувати енергію вітроенергетичної станції (ВЕС) [2]. Оскільки параметри вітру на певній місцевості можуть постійно змінюватись, то необхідно мати систему, що дозволить прогнозувати енергію вітру яку можна одержати протягом доби. Окрім цього, з впровадженням ринку електроенергії з'явилась необхідність не просто прогнозувати електроенергію, а і забезпечувати її надійне постачання в пікові години доби або при необхідному додатковому попиті на ринку.

Для того, щоб розробити систему прогнозування енергії вітру необхідно виділити режими керування роботою ВЕУ та проаналізувати роботу установки в певних зонах в залежності від швидкості вітру. ВЕУ може працювати в трьох зонах (рис. 1).

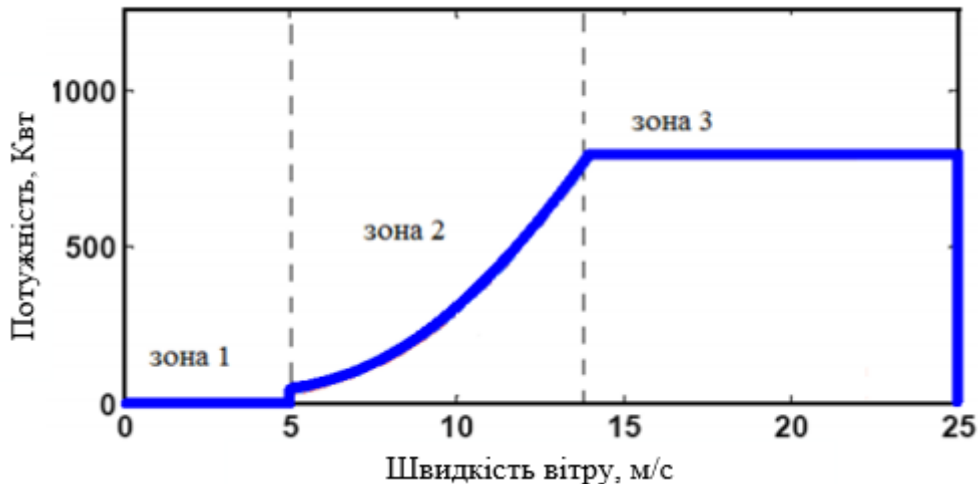


Рисунок 1 – Зони керування потужністю ВЕУ

Принципи управління ВЕУ залежать від того, в якій зоні вони працюють. Зона 1 включає час бездіяльності установки і її запуску. Регулювання в цій зоні полягає в спостереженні за швидкістю вітру: визначенні швидкості вітру для початку роботи установки. Якщо показники задовольняють систему, то починається виконання операцій, необхідних для запуску установки. Зона 2 є робочим режимом в якому потрібно виробити максимально можливу кількість електроенергії. Аеродинамічні втрати перешкоджають досягненню установкою її максимального теоретично можливого відбору енергії вітру. Проте мета керування установкою – якомога ближче наблизитися до цього значення. У зоні 2 можуть бути використані два принципи регулювання роботи ВЕУ: поворот гондоли в горизонтальній площині і зміна крутного моменту генератора. Робота в зоні 3 відбувається при швидкості вітру, вище номінальної, тобто при швидкості вітру вище тієї, при якій виробляється номінальна кількість енергії. Установка має обмежувати відбирання енергії вітру так, щоб не вийти за межі електричних і механічних розрахункових навантажень генератора. У зоні 3 установка, працює зі змінною швидкістю, підтримує постійне значення швидкості і постійну, номінальну потужність, змінюючи кут атаки лопатей для скидання надлишкової енергії. У цій області можуть бути використані всі три вище зазначених принципи управління виробленням енергії [3].

Як помітно із аналізу зон керування – зміна швидкості вітру призводить і до необхідної зміни режиму керування ВЕУ – зміни напрямку і швидкості повороту гондоли, зміни крутного моменту тощо. Саме тому досить важливим є вирішення проблеми прогнозування вітру з метою прогнозування режиму роботи в якому працюватиме ВЕУ. Певний режим відповідає певній зоні керування. Відповідно до рисунку 1, буде можливим визначення обсягу електричної енергії, що згенерується ВЕУ. Прогнозування зони в якій повинна працювати ВЕУ можна здійснити за допомогою штучних нейронних мереж. Система, що дозволяє прогнозувати режими роботи ВЕУ і відповідно обсяг генерації електричної енергії представлена на рис. 2.

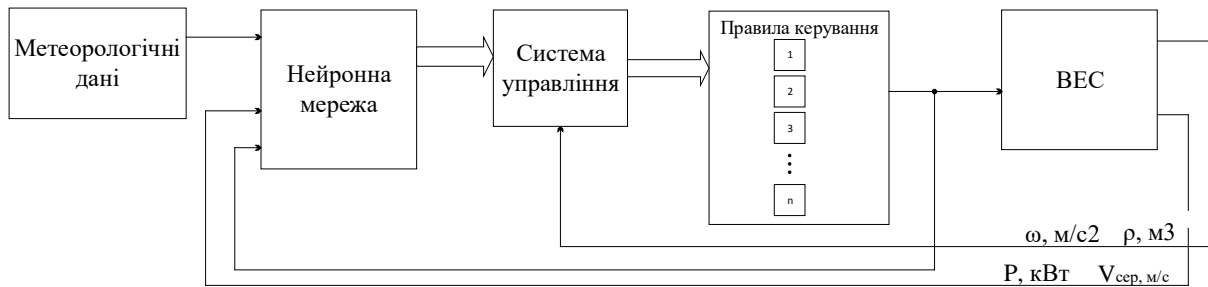


Рисунок 2 – Система прогнозування виробітку електричної енергії та керування роботою вітроенергетичної установки

Нейронна мережа отримує метеорологічні дані з джерел моніторингу погодних умов в певному регіоні, а також використовуються дані що надходять безпосередньо з вітроенергетичної станції в режимі реального часу. Порівнюючи отримані дані нейронна мережа навчається та прогнозує зону керування роботою ВЕУ, що дозволяє оптимально перетворити енергію вітру в електричну енергію. На основі отриманих даних передається інформація системі управління ВЕУ, що вказує коли перейти в певний режим керування. Для порівняння отриманої та прогнозованої кількості енергії нейронна мережа отримує інформацію про фактичний виробіток безпосередньо з вітрової електростанції.

На вітрової електростанції дані про вітер, такі як: швидкість вітру, напрямок вітру, вологість і тиск повітря збираються як параметри вітру системою збору інформації, а вихід всієї ВЕС контролює система диспетчерського контролю і збору даних (SCADA). Дані загальної виробленої потужності збираються в точці приєднання до загальної мережі, для контролю спожитої енергії і прорахунку економічного ефекту. Оцінка енергії вітру відіграє важливу роль у роботі ВЕУ та дозволяє корегувати генерацію електроенергії.

Запропонована система з використанням нейронної мережі поєднує прогнозування енергії вітру та безпосередній вплив отриманих результатів на керування режимами роботи ВЕУ.

Висновок: В роботі було встановлено необхідність прогнозування виробітку електричної енергії ВЕС для потреб енергоринку. Генерація електричної енергії залежить від параметрів вітру та режимів роботи ВЕУ. Було проаналізовано режими роботи ВЕУ та встановлено необхідність завчасного прогнозування необхідних режимів. За результатами аналізу було запропоновано модель системи прогнозування виробітку електричної енергії що допомагає визначати режими керування ВЕУ і відповідно дозволить здійснювати виробіток електричної енергії в достатньо можливій кількості.

Література

1. Удалов С.Н. Возобновляемые источники энергии / Удалов С.Н – Новосибирск: НГТУ, 2007. – 432 с.
2. Закон «України Про ринок електричної енергії» / Відомості Верховної Ради України – 2017, № 27-28 – 312 с.
3. Andrew Kusiak Short-term prediction of wind farm power: a data mining approach / Andrew Kusiak, Haiyang Zheng, Zhe Song. – IEEE, том 24, випуск.1, 2009 – 125-135 с.

УДК 621.867.21

Поволоцький П.Б.
Каф. АУЕК

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СТРІЧКИ В СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРАХ

Анотація. Пропонується методика оцінки надійності стрічкових конвеєрів, використовуваних для транспортування насипних вантажів. Згідно з результатами досліджень основні елементи конвеєра відчують значні динамічні навантаження, результатом дії яких є відмова деяких елементів конвеєрної установки. Реалізація процесів навантаження системи можуть бути отримані методами комп'ютерного імітаційного моделювання. Облік впливу чинників ризику дозволить оцінити надійність конвеєрної системи і визначити відповідні нормативні значення конструктивних, технологічних і експлуатаційних параметрів.

Ключові слова: конвеєрна установка, конвеєрна стрічка, імітаційна модель.

Abstract. A technique for assessing the reliability of conveyor belts used for cargo transportation is proposed. According to the research, the main elements of the conveyor are experiencing significant dynamic loads, the result of which is the failure of some elements of the conveyor unit. Implementation of system load processes can be obtained by computer simulation methods. Taking into account the influence of risk factors will allow to evaluate the reliability of the conveyor system and to determine the appropriate regulatory values of design, technological and operational parameters.

Keywords: conveyor installation, conveyor belt, simulation model.

Вступ. Збільшення вантажопотоків та глобалізація перевезень створюють необхідність подальшого розвитку та удосконалення способів їх транспортування та зберігання. Доля насипних вантажів в загальному числі є досить великою.

Традиційним та найбільш економічним методом транспортування є безтарне перевезення з проміжним зберіганням.

Основним обладнанням для транспортування таких вантажів являються машини неперервної дії, пневмоустановки на погрузчики.

Зростаючий вантажообіг передбачає впровадження нових енергозберігаючих та екологічно чистих технологій і модернізацію існуючого обладнання, збільшення продуктивності, надійності і безпеки процесів транспортування, перевантаження і зберігання вантажів.

Основні проблеми, які виникають при роботі з дрібнозернистими, пилоподібними, схильними до утворення вибухонебезпечних середовищ вантажами, є:

- інтенсивне запилювання, яке призводить не тільки до втрат вантажу, але і до негативного впливу на навколишнє середовище, прискорює знос деталей машин;
- втрата вантажу при його перевантаженні грейферними кранами і конвеєрними системами
- відмова перевантажувального обладнання через недостатню надійність і важких умов експлуатації.

Для досягнення високої продуктивності швидкість руху стрічки повинна становити не менше 1-3 м / с, а протяжність траси - 100 м і більше. При цьому сипучий вантаж на стрічці

і саме стрічкове полотно відчувають значні динамічні навантаження. при переміщенні навантаженого стрічкового полотна по роликкоопор спостерігаються просторові коливання високих і низьких частот. При збігу частоти коливань стрічки з частотою власних коливань опорної конструкції можливий резонанс, різке збільшення прокидання вантажу, наростання навантажень на елементи конвеєра.

Провисання стрічки при проходженні через роликкові опори викликає поперечні коливання, частота яких залежить від її натягу. Параметри поперечних коливань можна визначити, розглядаючи стрічку з вантажем як однорідну струну, що знаходиться під натягом і рухається щодо опор.

Частота поперечних коливань, Гц:

$$v_1 = 2l\sqrt{F|\rho|} / (\frac{F}{\rho} - v^2),$$

де F - натяг стрічки, Н; ρ - лінійна щільність стрічки з вантажем, кг/м; l - відстань між

опорами, м; v - швидкість руху стрічки, м/с.

Поздовжні коливання стрічки залежать від швидкості поширення в ній пружної хвилі.

Параметри поздовжніх коливань замкнутого тягового органу можуть бути отримані, якщо розглядати його як стрижень з розподіленою масою. У цьому випадку середня частота коливань основного тону, Гц:

$$v_2 = a/4L,$$

де a - наведена швидкість поширення пружної хвилі на робочій і холостий гілках тягового органу, м/с; L - відстань між осями барабанів, м.

Колівальні процеси в стрічці запускаються при включенні електродвигуна і особливо небезпечні при запуску звантаженого конвеєра.

Поява відчутних динамічних навантажень пов'язано також з технологією звантаження і вивантаження стрічкових конвеєрів на розгінних ділянках, де спостерігається значний знос лен-

ти. При падінні кускового матеріалу в місцях звантаження конвеєра виникають швидко наростаючі удари. Навантаження до стрічки прикладається у вигляді удару з-за вибору зазорів між ротором електродвигуна і елементами приводного барабана. Для зменшення динамічної ударної дії на полотно стрічки надходить вантаж повинен мати швидкість за величиною і напрямку близьку до швидкості руху стрічкового полотна.

Динамічні навантаження в стрічці конвеєра виникають з наступних причин.

1. Пориви в місцях зносу, особливо небезпечні в місцях стикувань, які раніше піддавалися ремонту.

2. Пробуксовування полотна.

3. Відставання кінцевій частині головного для довгих конвеєрів.

4. Знос і поломка деталей передач і металокопункції стрічкового става.

В результаті знижуються надійність і безпеку процесу перевантаження, терміни служби елементів конвеєра, збільшуються прості устаткування, витрати на ремонт.

Надійність стрічкового конвеєра визначається на підставі розрахунку надійності його вузлів і деталей. Вихід з ладу одного з основних елементів конвеєра призводить до зупинки (відмови) всієї системи. Попередження відмов таких систем передбачає необхідність оцінки граничних значень, що визначають надійність параметрів і діапазони їх безпечних змін. Ці завдання вирішуються на підставі статистики відмов або даних натурних випробувань.

Однак для аналізу складних систем при вимозі високої надійності інтерес представляють розрахунково-експериментальні імовірнісні методи, основним інструментом яких є розподіл усіх моделювання динаміки локальних станів системи з оцінкою функцій безпеки і ризику за заданими критеріями відмови. Реалізація процесів навантаження системи може бути отримана методами комп'ютерного імітаційного моделювання.

Для оцінки функцій ризику з урахуванням конструктивно-технологічних і експлуатаційних

факторів досліджувану систему можна представити як динамічну систему Σ_t , що складається з вузлів σ і елементів e , з початковим Σ_0 і кінцевим Σ_f станами:

$$\sum_t = U_i \sigma_i \left[U_j e_{ij} \right]; i = 1, n; j = 1, m$$
$$\sum_0 \rightarrow \sum_t \rightarrow \sum_f$$

Для забезпечення безпеки необхідно утримувати динаміку Σ_t в безлічі безпечних станів на заданому терміні експлуатації системи. Приналежність до цього множини визначається функцією безпеки Φ_Σ і функцією ризику $R_\Sigma(t)$.

Функцію безпеки представляють як ймовірність стійкості системи при збуренні її елементів:

$$\Phi_\Sigma(t) = P\{t : \text{var}[e_{ij}] \in E_\Phi\}.$$

Функцію ризику R_Σ можна визначити як ймовірність небажаних наслідків при порушенні стійкості елементів системи:

$$R_\Sigma(t) = P\{t : H \mid \text{var}[e_{ij}] \notin E_\Phi\},$$

де $\text{var}[e_{ij}]$ - варіації станів елементів системи; E_Φ - безліч стійких станів елементів; H - вектор небезпек; P - ймовірність події.

Висновок

Таким чином, для оцінки конструктивних і експлуатаційних параметрів стрічкових конвеєрів, використовуваних при транспортуванні зерна на зернових портових терміналах, доцільно методами імітаційного комп'ютерного моделювання отримати спектр реалізацій процесів навантаження і оцінити надійність і вірогідність ризиків відмов досліджуваної системи.

Література

1. *Вайнсон А. А.* Подъемно-транспортные машины / А. А. Вайнсон. М.: Машиностроение, 1974. 431 с.
2. *Шахмейстер Л. Д.* Теория и расчет ленточных конвейеров / Л. Д. Шахмейстер, В. Г. Дмитриев. М.: Машиностроение, 1987. 335 с.
3. *Лепехин А. М.* Риск-анализ конструкций потенциально опасных объектов на основе вероятностных моделей механики разрушения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А. М. Лепехин. Новосибирск, 2000. 36 с.

УДК 621.3.078.3

Почепня Г.К.
Каф. АУЕК

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ОЧИЩЕННЯМ СТІЧНИХ
ВОД ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА**

Проведено аналіз методів контролю і очищення стічних вод промислового підприємства. Запропоновано вдосконалений автоматизований комплекс очищення стічних вод в очисній станції, де для якісної очистки стічної води після відстоювання пропонується використовувати окситенк з регульованим приводом перемішувача.

Ключові слова: *Енергозбереження, , очищення стічних вод, окситенк, система керування.*

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОЧИСТКИ
СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Проведен анализ методов контроля и очистки сточных вод промышленного предприятия. Предложен усовершенствованный автоматизированный комплекс очистки сточных вод в очистной станции, где для качественной очистки сточной воды после отстаивания предлагается использовать окситенк с регулируемым приводом мешалки.

Ключевые слова: *Энергосбережение, очистка сточных вод, окситенк, система управления*

**AUTOMATED SYSTEM OF MANAGEMENT OF WASTE WATER
TREATMENT OF INDUSTRIAL ENTERPRISE**

The analysis of methods of control and sewage treatment of an industrial enterprise. The advanced automated complex of sewage treatment in a sewage treatment plant is offered.

Key words: Energy saving, sewage treatment, oxygen, control system

Мета дослідження – пошук способу поліпшення очищення стічних вод підприємств нафтової промисловості. Запропоновано вдосконалений автоматизований комплекс очищення стічних вод в каналізаційній насосній станції, в якій відстоюється вода з нафтошламів. Для якісної очистки стічної води після відстоювання пропонується використовувати два насоси. Спочатку насосом для забору нафти з поверхні води забирається шар нафти, потім, за допомогою насосу, видаляється вода. Поділ фаз в ході відстоювання легкої фази (нафти) і важкої фази (води) відбувається завдяки різній щільності середовищ. З магнітострикційного рівнеміра-густиноміра постійно надходять сигнали на контролер зі значеннями температури, рівня рідини в резервуарі, виконується розрахунок щільності і часу відстоювання. Дані надходять також в диспетчерський пункт, що підвищує надійність управління з диспетчерського пункту. Комплекс може бути включений в один з етапів технологічного циклу очищення стічних вод на підприємствах нафтової промисловості. Використання комплексу сприятиме мінімізації екологічного збитку, що завдається навколишньому середовищу, і економічних втрат.

Ключові слова: каналізаційна насосна станція, очищення стічних вод, нафтопродукти, контролер, автоматизація, магнітострикційний рівнемір-густиномір.

Актуальність теми

У сучасному світі, що характеризується швидким розвитком промисловості, до числа актуальних проблем відносяться захист водної сфери від забруднення

шкідливими сумішами та раціональне використання ресурсів. Значний негативний вплив чинить скидання промислових стічних вод, що призводить до забруднення навколишнього середовища. На заводах і підприємствах в більшості випадків використовується старе обладнання, і застосовуються застарілі технології очистки стічних вод від шкідливих сумішей та нафтопродуктів, які не дозволяють зробити виробництво більш екологічним, як того вимагають норми і закони. Склад стічних вод помітно погіршується, оскільки очисні споруди підприємств не справляються з їх обсягом. І на це є ряд причин:

- за останні роки значно розширився перелік нафтопродуктів, що потрапляють у стічні води на виробництві;
- очисні споруди морально застаріли, тому що розраховувалися для очищення менш забруднених стічних вод;
- за роки експлуатації системи очищення промислових стоків не вдосконалювалися і виробили свій ресурс.

У зв'язку з вищеперахованим, для більшості промислових підприємств є актуальною проблема впровадження інноваційних технічних способів і методів очищення стічних вод, що забезпечують очищення промислових стоків, охорону навколишнього середовища, а також зниження фінансових витрат підприємства. На кожному промисловому підприємстві функціонує система каналізаційних мереж, за допомогою яких здійснюються збір і очищення стічних вод. Очищення стічних вод являє собою комплекс заходів з видалення забруднень, що містяться в побутових і промислових стічних водах. При виборі технології очищення конкретного стоку визначальними факторами є вихідна концентрація шкідливих сумішей та нафтопродуктів і вимоги до якості очищеної води до нормованих забруднень. У промислових умовах стічні води проходять кілька етапів очищення. Всі існуючі методи очищення стічних вод об'єднані в шість основних груп: механічні, фізичні, фізико-механічні, хімічні, фізико-хімічні, біологічні. Схема очищення, тобто послідовність застосування різних методів, залежить від стану забруднення, від складу та якості забруднювачів у воді. Отже, існує багато сучасних методів, установок та пристроїв, здатних очищати стічні води. Використання одного із них залежить від складу забруднень у воді, подальшого її використання та виділених речовин. Вода, як і нафта, вугілля, природний газ, дорожчає, тому очищену воду необхідно знову направляти в технологічні процеси підприємства, створюючи замкнені технологічні цикли.

Мета і задачі дослідження.

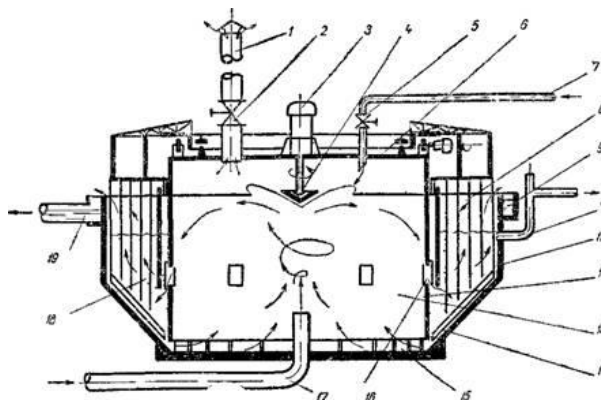
Мета дослідження - пошук способу поліпшення очищення стічних вод підприємств. Запропоновано вдосконалений автоматизований комплекс очищення стічних вод, де для якісної очистки стічної води спочатку слід застосувати механічний спосіб очищення, а потім використовувати біологічну очистку з застосуванням окситенка. З магнітострикційного рівнеміра-густиноміра постійно надходять сигнали на контролер зі значеннями температури, рівня рідини в резервуарі, здійснюється розрахунок щільності і часу відстоювання. Дані надходять також в диспетчерський пункт, що підвищує надійність управління з диспетчерського пункту. Комплекс може бути включений в один з етапів технологічного циклу очищення стічних вод на підприємствах нафтової промисловості. Використання комплексу сприятиме мінімізації екологічного збитку, що завдається навколишньому середовищу, і економічних витрат.

Для досягнення мети в роботі вирішувались задачі:

- побудова структурної схеми автоматичної системи керування окситенком ;

- впровадження регульованого електроприводу перемішувача.

Окситенк є високоефективною (принципово новою) спорудою, що служить для здійснення інтенсивного процесу біологічного очищення стічних вод з застосуванням чистого кисню і високих концентрацій активного мулу. Конструктивно окситенк (рисунок 1) виконаний у вигляді резервуару круглої форми в плані, з циліндричною перегородкою, яка розділяє увесь об'єм на зону аерації (центральна частина) і муловіддільник (по периферії). У середній частині циліндричної перегородки влаштовані вікна для перепускання мулової суміші із зони аерації в муловіддільник. В нижній частині розміщується шарнірно підвішений шкребок. Стічна вода надходить у нижню частину реактора, де за допомогою механічного аератора змішується з активним мулом і насичується киснем. Під впливом швидкісного напору, створюваного аератором, мулова суміш через отвори в перегородці надходить в муловідділювач. Щитки на цих отворах направляють потік по дотичній, тому в муловідділювачі відбувається повільне обертання мулової суміші, що створює сприятливі умови для прискорення процесу муловідділення. Відмінними ознаками окситенка є висока ефективність використання кисню, що подається, значне зменшення загального об'єму споруди у зв'язку з двоцільовим використанням об'ємів муловіддільника, а також автоматичне регулювання подачі кисню відповідно до швидкості його використання. Завдяки цьому з'явилась можливість підтримувати високі концентрації розчиненого кисню в муловій суміші при низьких витратах електроенергії на його розчинення. Висока концентрація розчиненого кисню значно збільшує швидкість окислення і дозволяє підвищити дозу активного мулу в споруді. Завдяки значному запасу розчиненого кисню в муловій суміші, що поступає в муловіддільник, і її перемішуванню в циркуляційній зоні, де одночасно й інтенсивно протікають два процеси - біологічне окислення і розділення мулової суміші. У зоні фільтрації також одночасно протікають два процеси - освітлення очищеної води і доокислення органічних речовин, що залишилися. Оптимальними параметрами технологічного режиму окситенка при очищенні стічних вод від хімічних виробництв є: концентрація розчиненого кисню 10-12 мг/л (у аеротенках 2-4 мг/л), доза мулу 6-8 г/л (у аеротенках 2,5-3 г/л), період аерації (включаючи перебування в муловіддільнику) 2,5-3 години (у аеротенках 16-20 годин). Ефективність використання кисню в окситенках 90-95% і окислювальна потужність окситенків вища, ніж аеротенків, в 5-6 разів; капітальні витрати менше в 1,5-2 рази; експлуатаційні - в 2,5-3 рази.



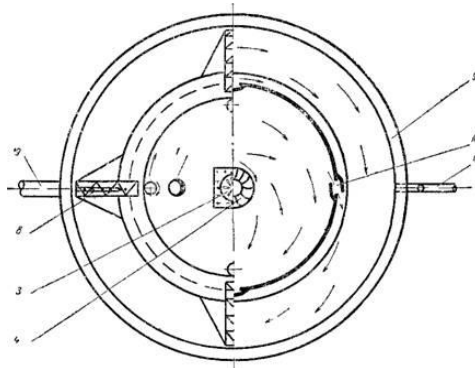


Рисунок 1 – Конструкція окситенка

1 - продувальний трубопровід; 2 і 5 - засувки з електричним приводом; 3 - електродвигун; 4 – турбоаератор; 6 - герметичне перекриття; 7-трубопровід для подання кисню; 8-вертикальні стержні; 9 - збірний лоток; 10 - труба для скидання надлишкового мулу; 11 - круглий резервуар; 12 - циліндрична перегородка; 13-зона аерації; 14 – скребок; 15 - вікна для подачі зворотнього мулу в зону аерації; 16 - вікна для перепускання мулової суміші з зони аерації у муловідділювач; 17 - труба для подання стічної води в зону аерації; 18 – муловіддільник; 19 - труба для відведення очищеної води; 20 перетинка-отвір для повернення зворотнього мулу в зону аерації .

Основною функцією автоматизованої системи управління (САУ) комплексу очисної станції та системи водовідведення є підвищення надійності роботи шляхом контролю стану обладнання та автоматичної перевірки вірогідності інформації для стабільної, ефективної та енергозберігаючої роботи системи очищення. Це дозволяє виконати автоматичну стабілізацію параметрів технологічних процесів і показників якості очистки стічних вод, оперативно реагувати на впливи (зміна кількості стічної води, зміна якості очищеної стічної води, то що). Оперативне виявлення відхилень сприяє локалізації та ліквідації аварій та збоїв в роботі технологічного обладнання. Оперативне опрацювання даних і подання їх в найбільш інформативному вигляді на всіх рівнях управління дозволяє провести аналіз даних і виробити керуючі впливи для координації управління технологічними процесами. Система керування

та збору даних (рисунок 2) призначена для контролю основних параметрів очисних споруд і управління електроприводами перемішувача окситенка та керування засувками. Основні функції САУ:

- 1) управління режимами обладнання в автоматичному режимі;
- 2) управління об'єктами технологічного процесу по командам диспетчера з верхнього рівня;
- 3) ведення та зберігання архівів подій і вимірювань;
- 4) передача архівних даних на верхній рівень;
- 5) контроль стану обладнання;
- 6) контроль стану комутаційної апаратури;
- 7) технічний облік електроенергії;

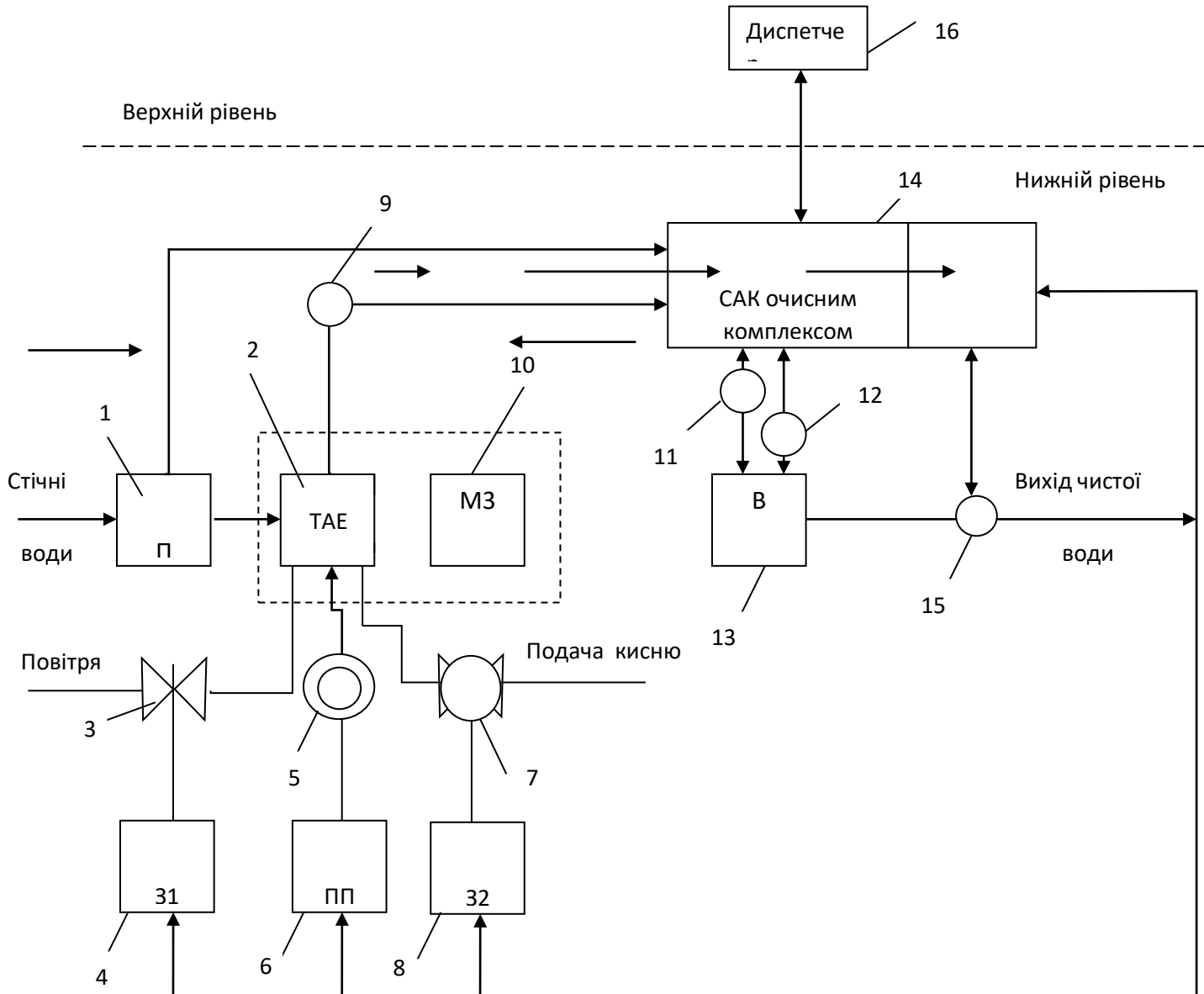


Рисунок 2 – Структурна схема автоматизованої системи управління окситенком

1 - пісколовка; 2 - окситенк; 3- засувка повітря; 4- система керування засувкою повітря; 5 - електродвигун мішалки; 6 – частотний перетворювач та система керування мішалкою; 7- засувка подачі кисню; 8- система керування засувкою кисню; 9 - датчик кисню; 10 - мулозбірник; 11 - датчик каламутності; 12 - датчик рН; 13 –відстійник 14 - станція управління та збору даних; 15- витратомір; 16 - АРМ диспетчера

Станція управління окситенком призначена для контролю за станом технологічних параметрів, управління і захисту двигуна мішалки з заданою заданою продуктивністю. Функції станції:

- контроль технологічних параметрів очистки стічної води насичення киснем, тиск повітря в окситенку, ступінь очистки, тощо;
- управління двигуном мішалки, по командам верхнього рівня або станції управління та збору даних;

- збір інформації та передача даних на автоматизоване місце диспетчера для фіксації процесу очистки та прийняття рішень

З точки зору управління процес біологічного очищення стічних вод погано піддається прогнозуванню, оскільки важко передбачити склад і кількість води на вході процесу, поведінку активного мулу, кількість і якість кисню, що подається в окситенк. З метою оптимізації управління процесу біологічної очистки стічних вод можна використовувати інтелектуальні системи на основі нейронних мереж. Інтелектуальні системи на основі штучних нейронних мереж дозволяють з успіхом вирішувати проблеми розпізнавання образів, виконання прогнозів, оптимізації, асоціативної пам'яті і управління.

Висновки:

Розроблений комплекс є автоматизованою системою, яка дозволяє підвищити ступінь очищення стічних вод, а також забезпечує моніторинг інформації і роботи системи. Комплекс може бути рекомендований для застосування і може використовуватися на одному з етапів технологічного циклу очищення стічної води на підприємствах. Використання комплексу сприятиме мінімізації екологічного збитку, що завдається навколишньому середовищу, і скороченню економічних втрат.

Перелік посилань

1. СНИП 2.04.03 – 85 «Канализация. Наружные сети и сооружения» — М.: Госстрой СССР, 1985
2. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод: учеб. для вузов. - М.: Изд-во АСВ, 2006. - 704 с.
3. Очистка сточных вод от взвешенных веществ и органических примесей. М.: НИЦ «Глобус», 2010. Т. 1. 81 с..
4. Долина Л.Ф. Современная технология и сооружения для очистки нефтесодержащих сточных вод: Монография. – Днепропетровск: Континент, 2005. - 296 с.
5. Берне Ф., Кордонье Ж. Водочистка. Очистка сточных вод нефтепереработки. Подготовка водных систем охлаждения. – М.: "Химия", 2011 – стр. 260..
6. Алферова Л.А., Нечаев А.П. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий комплексов и районов. – М.: Стройиздат, 2010. статистика/ под ред. Иванова – 2012 – стр. 242.

Керівник магістерської дисертації Прядко С.Л.

УДК 621.3.078.3

Слива В.Ю.
Каф. АУЕК

ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ РЕГУЛЬОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЗМІННОГО СТРУМУ ЕЛЕКТРОНАВАНТАЖУВАЧА

Проведено дослідження методів теорії оптимального керування для розробки алгоритмів керування електроприводу електронавантажувача змінного струму методом математичного моделювання для аналізу систем керування на математичних моделях, експериментальні дослідження для перевірки адекватності математичних моделей та результатів, одержаних аналітичними методами. Також на основі результатів зроблено відповідні висновки і розроблено відповідні рекомендації.

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ЭЛЕКТРОПОГРУЗЧИКОВ

Проведено исследование методов теории оптимального управления для разработки алгоритмов управления электроприводом электропогрузчика с ВД методом математического моделирования для анализа систем управления на математических моделях, экспериментальные исследования для проверки адекватности математических моделей и результатов, полученных аналитическими методами. Также на основе результатов сделаны соответствующие выводы и даны рекомендации.

OPTIMAL CONTROL OF A CONTROLLED ELECTRIC VEHICLE

Methods of optimal control theory are developed for the development of control algorithms for electric forklift truck electric drive, mathematical modeling method for the analysis of control systems on mathematical models, experimental studies for checking the adequacy of mathematical models and the results obtained by analytical methods. Results are also based on the findings and recommendations made.

Актуальність теми. Створення потужних цифрових процесорів з великою швидкістю, вдосконалення напівпровідникових перетворювачів та спеціальних контролерів, орієнтованих на управління приводами конкретних типів і т.ін., призвело до прискорення в створенні вентильних приводів. Стало можливим приділяти більше уваги розробленню програмного забезпечення і перенести ряд завдань, що виконувалися раніше за допомогою додаткових пристроїв, на програмне забезпечення. Дедалі більшого поширення набувають дослідження, спрямовані на створення ефективних алгоритмів управління ВД. Найбільш типовими представниками вентильних двигунів є синхронна машина (СМ) з трифазною обмоткою, розподіленою на гладкому статорі і явнополюсним ротором зі звичайними або рідкоземельними (РЗМ) магнітами. Такі машини мають великий питомий момент при його малих пульсаціях та високий ККД, відрізняючись порівняно простим математичним описом, що спрощує створення математичних моделей і системи управління. Ефективним рішенням завдання розробки альтернативного тягового привода, позбавленого недоліків привода постійного струму, є застосування для цієї мети безколекторного двигуна змінного струму (БДЗС), у якості

якого може бути використаний вентильний двигун (ВД). Переваги ВД стосовно існуючих типів електричних машин: відсутність вузлів, що вимагають техобслуговування – безколекторна машина; забезпечення вибухобезпеки; висока швидкодія з можливістю оптимізації режимів роботи за швидкістю й навантаженням, високі енергетичні показники та надійність з підвищеним ресурсом роботи. Таким чином, ВД з електронними системами керування поєднують у собі кращі якості безконтактних двигунів та двигунів постійного струму.

Мета магістерської дисертації. Покращення енергетичних показників систем електропривода електронавантажувачів на базі синхронного двигуна з постійними магнітами.

Задачі магістерської дисертації:

- провести аналіз існуючих сучасних систем електроприводів електронавантажувачів та вибрати енергоефективний;
- дослідити енергетичні показники електроприводу з вентильним двигуном електронавантажувача;
- розробити засади оптимального управління електроприводом з вентильним двигуном електронавантажувача;
- дослідити вплив способів управління на рівень енергоефективності вентильного двигуна.
- провести дослідження статичних та динамічних режимів роботи ВД за допомогою віртуальних моделей в середовищі MATLAB.

Об’єктом дослідження є електромеханічні, електромагнітні та енергетичні процеси в системах електропривода електронавантажувача з вентильним двигуном на постійних магнітах.

Предметом дослідження є системи керування синхронними двигунами з постійними магнітами електронавантажувачів.

Методи дослідження. В основу досліджень покладені методи теорії оптимального керування для розробки алгоритмів керування електроприводу електронавантажувача з ВД, метод математичного моделювання для аналізу систем керування на математичних моделях, експериментальні дослідження для перевірки адекватності математичних моделей та результатів, одержаних аналітичними методами.

Порівняння витрат енергії. У таблиці 1.1 наведено порівняння добових витрат енергії 1,5-тонним бензиновим і акумуляторним навантажувачами при усереднених робочих умовах.

З наведених даних випливає, що добові витрати на енергоносії у акумуляторного автотранспорту приблизно рівні 0,1 аналогічних витрат у бензинового автотранспорту. Таке ж порівняння можна провести і для дизельних навантажувачів, що працюють в різних режимах.

Таблиця 1.1 – Порівняння енергетичних витрат різних типів навантажувачів

| Двигун | Бензиновий | Дизельний | Газовий | Акумуляторний |
|-----------------------------------|-------------|-----------|---------|----------------|
| Енергоносії | Бензин АИ92 | Дизпаливо | Пропан | Електроенергія |
| Одиниця виміру | Л | Л | Л | кВт·год |
| Вартість одиниці енергоносія, грн | 10,50 | 10,20 | 6,15 | 0,60 |

| | | | | |
|---|-----|-----|-----|-------|
| Витрата енергоносія | 5,5 | 5 | 5 | 3,4 |
| Тривалість робочої зміни, час | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Вартість витрат на енергоносії на добу, грн | 462 | 408 | 246 | 16,32 |

З таблиці видно, що добові витрати на електроенергію для акумуляторного навантажувача в Україні складають приблизно 0,1 затрат на паливо для дизельного автонавантажувача. Треба враховувати й те, що витрата палива в двигуні внутрішнього згоряння з часом тільки збільшується, а потужність, споживана на зарядку батареї, залишається сталою. Крім того, термін служби сучасних акумуляторів, якими комплектують електронавантажувачі, при правильній експлуатації складає 8 ... 10 років.

Важливим чинником при виборі навантажувача є також маршрут перевезення:

- довжина траси,
- наявність підйомів і поворотів, рамп, спусків,
- ширина проїзду,
- розміри стелажів,
- наявність сторонніх предметів над проходом (лампи, металоконструкції).

При роботі з не дуже важкими вантажами, у вузьких проходах і на невисоких швидкостях зазвичай використовуються більш маневрені триколісні електронавантажувачі. У разі необхідності виконувати роботи на підвищених швидкостях і з більш важкими вантажами застосовують чотириколісні автонавантажувачі, які відрізняються більшою стійкістю.

Аналіз маршруту в сукупності з умовами роботи підкаже, чи потрібен навантажувачу сигнал заднього ходу, додаткова освітлювальна апаратура та інші опції, які зазвичай доводиться оплачувати додатково. **Для визначення продуктивності в конкретних умовах розраховують за операціями цикл роботи, який виражається графіком (рис. 1.1), де 1 – підхід до пакету; 2 - нахил вантажопідйомника вперед, 3 - опускання вил; 4 - захоплення пакета; 5 – підйом пакету на 0,3 м; 6 – нахил вантажопідйомника назад; 7 – рух заднім ходом з поворотом на 90°; 8 – пересування з вантажем; 9 – нахил вантажопідйомника до вертикального положення; 10 – підхід до місця укладання пакету; 11 – опускання пакета; 12 – пересування заднім ходом з поворотом на 90°; 13 – пересування без вантажу; 14 – нахил вантажопідйомника назад.**

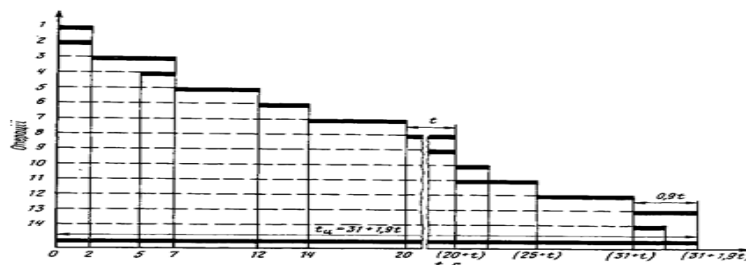


Рисунок 1.1 – Цикл роботи електронавантажувача

Тривалість циклу залежить від витрат часу, в основному на захоплення вантажу, установку його на місце, на пересування з вантажем і без нього. При роботі без заміни вантажозахоплювального пристосування тривалість двох перших операцій у середніх умовах практично постійна .

Силові статичні перетворювачі на базі мікропроцесорів, що застосовуються як в приводах змінного, так і постійного струму, на даний час досягли дуже високого технічного рівня, який (в допустимих технологічних межах) у більшості програм дозволяє використовувати електропривод змінного струму там, де раніше застосовувався привід постійного струму. Однак, традиційний привід постійного струму (1- й 4-х квадрантний) продовжує відігравати важливу роль, особливо в тих додатках, де потрібно забезпечити високодинамічні режими з постійним моментом обертання, жорсткими вимогами по перевантажувальній здатності в широкому діапазоні швидкостей і рекуперацію енергії назад у мережу.

У роботі досліджуються системи безколекторного приводу з найменшим числом силових елементів і зв'язків. Використання інверторів напруги з регулюванням кутів випередження, які лежать в $20^{\circ} \leq \beta \leq 60^{\circ}$ робить їх економічними і надійними. При складанні моделі ВД скористаємося системою нелінійних диференціальних рівнянь

Парка-Горева для ідеалізованої явнополюсної синхронної машини [1, 2, 3,]:

$$\left. \begin{aligned} U_d &= \frac{d\psi_d}{dt} + i_d r - \psi_q \omega_p; \\ U_q &= \frac{d\psi_q}{dt} + i_q r - \psi_d \omega_p; \\ U_f &= \frac{d\psi_f}{dt} + i_f r_f; \\ U_{kd} &= \frac{d\psi_{kd}}{dt} + i_{kd} r_{kd}; \\ U_{kq} &= \frac{d\psi_{kq}}{dt} + i_{kq} r_{kq}; \\ \frac{d\omega_p}{dt} &= \frac{1}{H_J} (m_s - m_c); \\ m &= \psi_d i_q - \psi_q i_d; \\ \frac{d\nu_p}{dt} &= \omega_p, \end{aligned} \right\}$$

де $\psi_d, \psi_q, U_d, U_q, i_d, i_q$ – відповідно потокозчеплення, напруга і струми обмоток статора по осях d і q;

r - активний опір фази статора;

ψ_f, U_f, i_f - відповідно потокозчеплення, напруга і струм обмотки збудження;

r_f - активний опір обмотки збудження;

$\psi_{kd}, \psi_{kq}, U_{kd}, U_{kq}, i_{kd}, i_{kq}$ - відповідно потокозчеплення, напруга і струми компенсаційних обмоток ротора СМ по осях d і q ($U_{kd} = U_{kq} = 0$);

r_{kd}, r_{kq} - активні опори компенсаційних обмоток ротора по осях d і q;

H_J - інерційна стала.

Регульований електропривод є, як правило, виконавчим пристроєм замкнутої системи автоматичного управління САУ. Для її синтезу необхідно мати лінійну (лінеаризовану) передавальну функцію. ВД як об'єкт автоматичного управління представимо передавальною функцією. Він описується системою нелінійних диференціальних і алгебраїчних рівнянь високого порядку, отримати аналітичне

вирішення якої в загальному вигляді неможливо. При моделюванні завдань, пов'язаних із зміною швидкості, систему можна лінеаризувати за умови малих відхилень змінних від робочої точки і різних припущеннях, наприклад, $r=0, x_k=0, \gamma=0, \delta=0, \theta=\text{const}$ []. Але таке розв'язання буде наближеним. Розрахунки і експерименти показують, що при сталих значеннях збудження (від постійних магнітів на роторі) і кутів випередження, які лежать в $20^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$ ВД можна представити лінійним об'єктом. Такий підхід є найбільш точним і достовірним, оскільки враховує миттєві зміни енергії магнітних полів.

Передавальні функції ВД за регулюючою дією визначають з рівнянь :

$$W_{ВД}(p) = \frac{\omega_p(p)}{U(p)} = \frac{1}{C_e \cos \beta \cdot T_E T_M p^2 + T_M p + 1};$$

$$T_M = J \frac{R_E}{K_e K_M}; T_E = \frac{L_E}{R_E};$$

$$K_M = C_M \cos \beta; K_e = C_e \cos \beta,$$

де T_M, T_E - еквівалентні електро механічна і електромагнітна сталі часу ВД;
 R_E, L_E - еквівалентні активний та індуктивний опори перетворювального кола
 Лінеаризована структурна схема ВД наведена на рисунку 1[4].

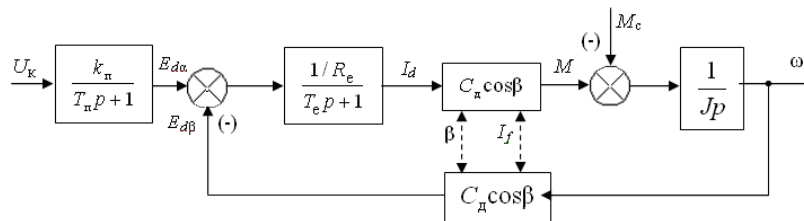


Рисунок 1 - Лінеаризована структурна схема ВД

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Удосконалено електропривод електронавантажувача, шляхом використання ВД на постійних магнітах, з регулятором швидкості з нечіткою логікою.
2. Вперше доведено раціональність застосування в електронавантажувачах ВД на постійних магнітах, з регулятором швидкості з нечіткою логікою.
3. На основі аналізу способів керування ВД вибрано енергоефективний закон керування при $\delta = \delta_{\min} = \text{const}$, який дозволяє збільшити рівень енергоефективності електронавантажувача.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено систему керування ВД на постійних магнітах, з регулятором швидкості з нечіткою логікою. Результати досліджень було передано підприємству «Фанплит» для модернізації застарілих складських електронавантажувачів.

Перелік посилань

1. Важнов А.И. Переходные процессы в машинах переменного тока. Л.: Энергия, 1980. 256
2. Петелин Д.П. Автоматическое управление синхронными электроприводами. М.: Энергия, 1968. 193 с.
3. Сипайлов Г.А., Лоос А.В. Математическое моделирование электрических машин. М.: Высш. школа, 1980. 176 с.

4. Закладной А.Н. Энергоэффективный электропривод с вентиляными двигателями: Монография / А.Н. Закладной, О.А. Закладной – К.: Издательство «Либра», 2012. – 185 с.

Керівник дисертації Прядко С.Л.

УДК 681.5

Скворцов С.В.
Каф. АУЕК

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ
УСТАНОВКИ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ РЕГУЛЬОВАНОГО
АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ З ТИРИСТОРНИМ РЕГУЛЯТОРОМ
НАПРУГИ**

***Анотація.** В роботі було розглянуто метод підвищення ефективності керування електроприводом вентиляторної установки з використанням фаззи контролера. Суть проблеми полягає в дослідженні певних впливів кількох параметрів мікроклімату на коефіцієнт комфортності за яким відбувається провітрювання приміщення. Регулювання швидкості вентиляторної установки було здійснено за допомогою системи ТРН-АД. Запропоновано проводити регулювання коефіцієнта комфортності за такими мікрокліматичними параметрами, як рівень CO₂ і температура*

***Annotation.** In the work, the method of increasing the efficiency of control of the electric drive of a ventilator installation with the use of the fuzzy controller. The essence of the problem is to study the effects of several parameters of the microclimate on the comfort factor, which is the ventilation of the room. The regulation of the speed of the ventilator installation was carried out using the system of asynchronous motor - frequency converter. It is proposed to adjust the comfort factor for such microclimatic parameters as the level of CO₂ and room temperature.*

Вступ. При відсутності вентиляції в закритих приміщеннях зростає концентрація вуглекислого газу і інших шкідливих речовин, що негативно позначається на самопочутті людей, викликає головний біль, сонливість, втрату працездатності. Цю проблему можна вирішити періодично провітрюючи приміщення, однак в цьому випадку разом зі свіжим повітрям усередину попадає пил, бруд, вуличний шум. Також певний дискомфорт створює необхідність періодично відкривати й закривати вікно або квартиру.

Для вирішення всіх цих проблем і існують системи вентиляції повітря. Комфортні параметри у формі граничних значень наявні як регламентовані застережні нормативні документи. Вплив даних параметрів на якість повітря у приміщення значний, а контроль цих чинників, являє собою досить складний процес. Управління та контроль за якістю повітряного середовища здійснюється системою управління. Тому створення системи управління якістю повітряного середовища в навчальному приміщенні, що швидко і адекватно реагуватиме на зміни повітряного середовища, та забезпечить керування за рядом чинників, таких як температура, відносна вологість, вміст кисню, вуглекислого газу, рухливість повітря тощо, з метою одержання оптимальної зони комфортності, є актуальною науково-практичною задачею.

Мета та завдання. Дослідження і розробка регульованого електропривода вентиляторної установки приміщень по системі ТРН-АД з використанням фаззи-контролера.

Різноманітність умов застосування турбомеханізмів, їхніх конструкцій, режимів експлуатації визначає можливість і певну економічну доцільність використання різних систем електропривода. Крім того, розвиток техніки самого електропривода обумовлює зміну одних систем регульованого електропривода іншими, що також

приводить до різноманітності можливих технічних рішень.

Найбільш ефективною для регулювання систем електроприводу турбомеханізмів, на даний час, є система електроприводу асинхронний двигун – перетворювач частоти. Розглянемо існуючі класифікації систем регульованих електроприводів:

- А. Електропривод зі східчастим регулюванням:
 - а) електропривод із багатошвидкісним асинхронним двигуном;
 - б) синхронно-асинхронний привід;
 - в) двошвидкісний електропривод із частотним перетворювачем.
- Б. Електропривод із плавним регулюванням:
 - 1. Електропривод із двигуном постійного струму:
 - а) електропривод з колекторним двигуном постійного струму з постачанням від електромашинних і статичних перетворювачів;
 - б) електропривод з безколекторним (вентильним) двигуном постійного струму.
 - 2. Асинхронний частотнорегульований електропривод:
 - а) з постачанням від машинного перетворювача частоти;
 - б) з постачанням від тиристорного перетворювача частоти з не посереднім зв'язком;
 - в) з постачанням від тиристорного перетворювача частоти інверторного типу.
 - 3. Електропривод з індукторною муфтою ковзання
 - 4. Асинхронний електропривод з регулюванням напруги на статорі двигуна:
 - а) дросельний електропривод;
 - б) з тиристорним регулятором напруги.
 - 5. Дводвигунний асинхронний привід з поворотним статором.
 - 6. Електропривод з колекторними двигунами змінного струму.
 - 7. Асинхронний каскадний електропривод:
 - а) електромашинний каскад;
 - б) вентильний каскад;
 - в) вентильно-машинний каскад;
 - г) вентильно-машинний електромеханічний каскад;
 - д) машина подвійного постачання

Виходячи з усього розглянутого вище, регулювання потужності досягається регулюванням зміни напруги регулятора TRD(3~), ми зупинимось на системі ТРН-АД (на системі електроприводу з плавним регулюванням з тиристорним регулятором напруги).

Переваги ЕП по системі ТРН-АД: По первинних затратах на 30-40% дешевше, ніж ЕП з частотним перетворювачем; на 20-50% знижені витрати на тех. обслуговування.

Вибір привідного двигуна для вентиляторної установки

Режим роботи приводного двигуна вентилятора головного провітрювання – тривалий, з постійним навантаженням. При виборі потужності двигуна за вихідну величину приймають статичне навантаження на валу механізму.

Розрахункова потужність (кВт) на валу електродвигуна вентилятора визначається за формулою:

$$P_{\text{розр.}} = \frac{k_3 H Q}{\eta_v \eta_{\text{п}}},$$

де k_3 – коефіцієнт запасу, який враховує фактори, які не піддаються розрахунку; $k_3 = 1.05 - 1.15$ – для осевих і $k_3 = 1.1 - 1.15$ – для відцентрових вентиляторів; Q – подача вентилятора, м³/с; H – тиск вентилятора, Па; η_B – ККД вентилятора;

η_n – ККД передачі (при сполученні валів двигуна і вентилятора, що характерно для вентиляторів головного провітрювання, $\eta_n = 1$).

$$P_{\text{розр.}} = \frac{1.12 \cdot 200 \cdot 2000}{0.75} = 597300 \text{Вт} = 597 \text{кВт.}$$

По каталогу вибираємо двигун, який задовольняє умови:

$$P_H \geq P_{\text{розр.}}; \quad n_H = n_B$$

Вибрано асинхронний двигун з фазним ротором АКН - 2-18-36-20У4, який має наступні параметри :

$$P_H = 630 \text{кВт}; I_{1H} = 87 \text{А}; \eta_{\text{дв}} = 93\%; \cos \varphi = 0.75; n_H = 290 \text{об/хв}; \\ U_{2H} = 905 \text{В}; I_{2H} = 430 \text{А}; \lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_H} = 2.3; GD_{\text{дв}}^2 = 3200 \text{кг/м}^2 .$$

Розрахунок та побудова характеристик вентилятора та двигуна

Побудова необхідної характеристики моменту опору вентилятора з урахуванням моменту тертя проводиться за формулою:

$$M = M_{\text{тер}} + M_{\text{о.е}} \frac{\omega^2}{\omega_{\text{н.в}}^2},$$

$$\text{де } M_{\text{тер}} = 0.05 M_{\text{о.е}};$$

$$M_{\text{о.е}} = \frac{P_{\text{розр}}}{\omega_{\text{н.в}}} = \frac{P_{\text{розр}}}{\left(\frac{\pi n}{30}\right)}$$

$$M_{\text{о.е}} = \frac{597}{\left(\frac{3.14 \cdot 295}{30}\right)} = 19340 \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{тер}} = 0.05 \cdot 19340 = 967 \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$\omega_{\text{н.в}} = \frac{\pi n_B}{30}$$

$$\omega_{\text{н.в}} = \frac{3.14 \cdot 295}{30} = 30.9 \text{рад/с}$$

$$M_{\text{о.е.р}} = 0.35 M_{\text{о.е}}$$

$$M_{\text{о.е.р}} = 0.35 \cdot 19340 = 6769 \text{Н} \cdot \text{м}$$

При пуску вентилятора рекомендується приймати момент пуску, який дорівнює:

$$M_{\text{поч}} = 1.15 M_{\text{тер}}$$

$$M_{\text{поч}} = 1.15 \cdot 967 = 1111.8 \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$M = 967 + 6769 \frac{\omega^2}{30.9^2}$$

Побудова механічних характеристик двигуна проводиться за формулою:

$$M = \frac{2M_{кр}}{\frac{S}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S}}$$

де $M_{кр}$ - критичний момент двигуна, який розраховуємо за формулою ;

S – ковзання двигуна;

$S_{кр}$ - критичне ковзання двигуна, яке визначається за формулою .

$$M_{кр} = \lambda M_H = \lambda \frac{P_H}{\omega_H}$$

$$M_{кр} = 2.3 \frac{630000}{30.45} = 47710 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$S_{кр} = S_H \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right),$$

де S_H - номінальне ковзання двигуна, яке розраховується за формулою ;

λ - перевантажувальна властивість двигуна.

$$S_H = \frac{(n_0 - n_H)}{n_0}$$

$$S_H = \frac{(295 - 290)}{295} = 0.017.$$

$$S_{кр} = 0.017 \left(2.3 + \sqrt{2.3^2 - 1} \right) = 0.074.$$

Приймаємо середній динамічний момент $M_{дин}$ постійним в період пуску і визначаємо середнє кутове прискорення за формулою:

$$\varepsilon = \frac{M_{дин}}{J_{пр}}$$

де $J_{пр}$ – приведений момент інерції системи, який визначається за формулою:

$$M_{дин} = 8472 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$J_{пр} = J_{дв} + J_{вент}$$

$$J_{дв} = \frac{GD_{дв}^2}{4}$$

$$J_{дв} = \frac{3200}{4} = 800 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$J_{вент} = \frac{GD_{в}^2}{4}$$

$$J_{вент} = \frac{29800}{4} = 7450 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Розраховуємо приведений момент інерції системи:

$$J_{пр} = 800 + 7450 = 8250 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Кутове прискорення буде:

$$\varepsilon = \frac{8472}{8250} = 1.027 \text{ с}^{-2}.$$

Визначаємо час розгону вентилятора за формулою:

$$t_p = \frac{\omega_{н.в}}{\varepsilon}$$

$$t_p = \frac{30.9}{1.027} = 30с.$$

В електроприводі значне поширення отримали системи керування з послідовною корекцією. Характерною рисою таких систем є підлегле регулювання основних змінних електроприводу.

Сутність методу послідовної корекції з підлеглим регулюванням полягає в тім, що об'єкт регулювання представляється у вигляді послідовно з'єднаних ланок, вихідними координатами якого є швидкість, струм, напруга і т.д. Для керування кожної з цих координат служить окремий регулятор, який утворює з об'єктом контур замкнутий відповідним негативним зв'язком. Регулятори з'єднуються послідовно так, що вихід одного є входом іншого. При цьому замкнуті контури регулювання утворюють систему, в якій є зовнішній контур, що складається з самого об'єкту, відповідного регулятора та внутрішніх контурів.

Таким чином, кількість контурів дорівнює числу регульованих координат об'єкта і числу регуляторів.

Перевагою систем підлеглого регулювання є зручність в експлуатації, простота налагодження, мінімальні терміни пуску об'єкта, широкі можливості уніфікації вузлів керування, можливість реалізації систем регулювання з комплекту стандартних елементів незалежно від структури та параметрів електропривода. Система дозволяє налаштовувати кожну змінну окремо, починаючи з внутрішнього контуру і робити це незалежно від налагодження зовнішнього.

В схемі передбачена подача $U_{зм}$ (напруга зміщення). Якщо її не подавати, то при $U_y=0$ кут $\beta = 90^\circ$. В результаті виникає самозапуск двигуна до максимальної швидкості, щоби цього не сталося подаємо $U_{зм}$, яка забезпечує $\beta = 15^\circ$. Обмеження кута $\beta = 15^\circ$ зв'язано з тим, щоб не виник перекидання інвертора (він не повинен стати випрямлячем).

Розрахунок параметрів регулятора струму

$$W_p(p) = \frac{1}{2\sum T_{\mu} p W_{о.к}(p)}$$

де $W_{о.к}(p)$ – передаточна функція об'єкта компенсації;

$$W_{о.к}(p) = \frac{(T_e p + 1)R_e}{K_c K_{тп}}$$

Передаточна функція регулятора струму:

$$W_{рс}(p) = \frac{(T_e p + 1)R_e}{2T_{\mu} p K_c K_{тп}}$$

В якості вимірювача струму приймаємо стандартний шунт типу 75 ШСМ з виходом 0.075 В при номінальному струмі з номінальним опором 150 мкОм.

$$K_{дс} = \frac{U_{зтmax}}{U_{ш}}$$

$$K_{дс} = \frac{10}{0.075} = 133$$

Максимальний пусковий струм:

$$I_{max} = \frac{M_{max}}{C_{д}}$$

$$I_{max} = \frac{47710}{39.5} = 1208A$$

Коефіцієнт зворотнього зв'язку по струму:

$$K_{с} = \frac{U_{зстmax}}{I_{max}}$$

$$K_{с} = \frac{10}{1208} = 0.0083$$

$$T_{и1} = \frac{2T_{\mu} K_{тп} K_{с}}{R_{e}}$$

$$T_{и1} = \frac{2 \cdot 0.01 \cdot 55.2 \cdot 0.0083}{0.077} = 0.12c$$

$$W_{рт} = \frac{0.051p + 1}{0.12p}$$

Коефіцієнт підсилення датчика напруги приймаємо $K_{дн} = 1$.

В аналогових системах регулювання основні елементи (регулятори, датчики, задатчики інтенсивності та ін.) виконуються на базі операційних підсилювачів, які за допомогою резисторів та конденсаторів реалізують потрібні передатні функції. Найбільш поширені типові елементи входять до складу апаратури УБСР-АИ.

Вибираємо ІІ регулятор струму, виконаний на базі стандартних комірок апаратури РТ – ІАИ

Приймаємо значення $C = C_{14} = 1\text{мкФ}$, тоді:

$$R_{ост} = R_{35} = \frac{T_e}{C}$$

$$R_{ост} = \frac{0.051}{10^{-6}} = 51\text{кОм}$$

Резистор R_{35} зашунтовуємо. Приймаємо $R_0 = 50\text{кОм}$.

$$R_{зт} = \frac{T_{и1}}{C}$$

$$R_{зт} = \frac{0.12}{10^{-6}} = 120\text{кОм}$$

Передаточна функція підсилювача A_3 має вигляд:

$$W_{A_3} = \frac{R_0 C_p p + 1}{R_{зт} C_p p}$$

$$W_{A_3} = \frac{0.051p + 1}{0.12p}$$

Вибираємо тахогенератор типу ТП212.

Розрахунок параметрів регулятора швидкості

Розглянемо контур швидкості, в якому регулятор швидкості вибираємо по модульному оптимуму:

$$W_p(p) = \frac{1}{2\sum T_\mu p W_{o.k}(p)}$$

де $W_{o.k}(p)$ – об'єкт компенсації;
 $\sum T_\mu = 2T_\mu$;

$$W_{o.k}(p) = \frac{K_{ш} C_d}{K_J p}$$

$$W_{pш} = \frac{K_J}{4T_\mu K_{ш} C_d}$$

де $K_{ш} = \frac{U_{зшmax}}{\omega_{max}}$ – коефіцієнт зворотнього зв'язку по швидкості;

$$K_{ш} = \frac{10}{31.5} = 0.32$$

$$W_{pш} = \frac{0.0083 \cdot 8250}{4 \cdot 0.01 \cdot 0.32 \cdot 39.5} = 135.4$$

$$K_{A_4} = \frac{R_{34}}{(R_{28} + R_{22})}$$

$$K_{A_4} = \frac{30}{(3.2 + 0)} = 9.375$$

Резистор R_{22} зашунтовуємо.

Коефіцієнт передачі підсилювача A_1 з неінвертуючим входом:

$$K_{A_1} = \frac{R_{oc}}{R_{вх}} = \frac{(R_{14} + R_{18} + R_{20} + R_{21}\alpha)}{R_6}$$

$$K_{A_1} = \frac{(25 + 51 + 100 + 6.8\alpha)}{10.2} = 18.35$$

Тоді уставка потенціометра R_{21} буде $\alpha = 0.8$.

Вибір параметрів задаючого пристрою

На практиці знайшли використання два типа ЗІ:

1-го порядку (практично 100% використання);

2-го порядку.

Для нашої системи електропривода вибираємо ЗІ 1-го порядку.

Для формування потрібної діаграми швидкості використаємо задатчик інтенсивності, який перетворює швидкі зміни вхідного сигналу напруги в лінійні. Як задатчик інтенсивності використаємо інтегроздаючий пристрій, виконаний на операційних підсилювачах постійного струму.

Сельсин – представляє собою електричну машину змінного струму, яка має однофазну обмотку статора і трьохфазну обмотку ротора. Статор сельсина закріплюють в необхідному місці, а оператор-машиніст за допомогою рукоятки обертає ротор.

$$\text{Якщо } U_{\text{вх}} > U_{\text{зс}} \rightarrow U_{1m} = U_1;$$

$$\text{Якщо } U_{\text{вх}} < U_{\text{зс}} \rightarrow -U_{1m} = U_1;$$

$$\text{Якщо } U_{\text{вх}} = U_{\text{зс}} \rightarrow U_1 = 0.$$

Таким чином ЗІ 1-го порядку забезпечує плавний лінійний перехід на задані швидкості з одночасним обмеженням моменту двигуна.

Відносним недоліком ЗІ 1-го порядку можна рахувати те, що прискорення і момент прикладаються ступеньчатим стрибком.

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}$$

$$t_1 = \frac{J\omega_{\text{НОМ}}}{M_{\text{max}} - M_{\text{НОМ}}}$$

$$t_1 = \frac{8250 \cdot 30.45}{47710 - 20689.7} = 9.3\text{с}$$

$$k_1 = \frac{1}{t_1}$$

$$k_1 = \frac{1}{9.3} = 0.1$$

В якості ЗІ приймаємо комірку ЗІ – 2АМ, яка має наступні параметри:

$$U_{\text{вих}} = \pm 10\text{В}; U_{\text{вх}} = \pm 10\text{В}; I_{\text{н}} = 25\text{мА}; R_{\text{вх}} = 100\text{кОм};$$

$$R_{\text{н}} = 2\text{кОм}; U_{\text{пит}} = \pm 5\%; U_{\text{пр}} = \pm(10 \dots 15)\text{В};$$

$$U_{\text{вх1}} = K_c \omega_{\text{min}}$$

$$U_{\text{вх1}} = 0.191 \cdot 29.08 = 5.56$$

$$\text{Опорна напруга } U_{\text{оп}} = K_c \varepsilon T_{\text{и}}$$

де $T_{\text{и}}$ – постійна часу інтегрування контуру.

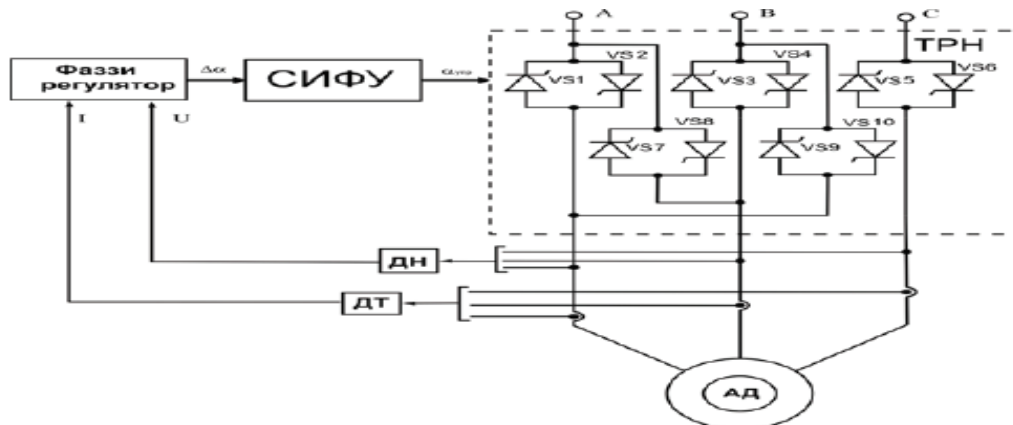
Необхідна швидкість встановлюється в залежності від положення рукоятки.

$$\text{Приймаємо } R_{\text{вх2}} = 1200\text{кОм}; C_{\text{ос}} = 1\text{мкФ};$$

$$T_{\text{и}} = R_{\text{вх2}} C_{\text{ос}}$$

$$T_{\text{и}} = 1200 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6} = 1.2\text{с}$$

$$U_{\text{оп}} = 0.191 \cdot 1.052 \cdot 1.2 = 0.241\text{В}.$$



Функціональна схема електроприводу системи ТРН-АД з використанням фаззі-контролера

Висновок. Для покращення якості регулювання вентиляторної установки, до системи електроприводу асинхронний двигун – перетворювач частоти встановлюється фаззі-контролер. Після застосування фаззі-контролера характеристики системи стали кращими, ніж при використанні системи без фаззі контроллера.

Використання фаззі контроллера є більш доцільним, оскільки зменшуються коливання сигналу статичного моменту в системі, які були присутні в звичайній системі ТРН-АД.

Основною перевагою фаззі-контроллера є те, що він не вимагає знання математичного опису керованим об'єктом.

Нечіткі системи дозволяють підвищити якість регулювання системи при зменшенні ресурсу – і енерговитрат і забезпечують високу стійкість до дії чинників, що впливають на неї, в порівнянні з традиційними системами автоматичного управління.

УДК 681.3

В.Д. Степанов
Каф. АУЕК

СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КЛІМАТ-КОНТРОЛЕМ ОБ'ЄКТІВ ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА БАЗІ ПРОГРАМОВАНОГО ЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЕРА

Розглянуто підхід до вирішення задачі розробки системи клімат-контролю теплиці за допомогою програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК150, підбір необхідного допоміжного обладнання до нього та розробка програмного забезпечення для поставлених нами задач за допомогою програми CoDeSys.

Ключові слова: програмований логічний контролер, теплиця, CoDeSys, клімат-контроль.

V.Stepanov

CLIMATE CONTROL SYSTEMS OF GENERAL PURPOSE OBJECTS BASED ON PROGRAMMED LOGICAL CONTROLLER

The approach to solving the problem of development of the climate control system of a greenhouse with the help of the programmable logic controller OWEN PLC150, selection of the necessary auxiliary equipment to it and software development for the tasks set by us using CoDeSys

Keywords: programmable logic controller, greenhouse, CoDeSys, climate control.

ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ

Актуальність теми. Останнім часом досить великими темпами йде приріст населення великих міст з одночасним зменшенням населення сільського населення. Це призводить до зменшення обсягів сільськогосподарських робіт, і, як наслідок, необхідність постачання овочевих і фруктових культур з закордону. Особливо це питання гостро стоїть в зимовий час, коли отримання врожаю можливе лише за допомогою теплиць. В Україні розвиток тепличного бізнесу останнім часом набирає оберти, проте за рахунок віддаленості від великих міст, а також складності обслуговування собівартість продукції здебільшого вища ніж у закордонних постачальників.

Аналізуючи дане питання, слід відзначити, що при невеликих площах теплиць проблем з контролем за мікрокліматом не виникає, проте при збільшенні масштабів до виробничих постає гостре питання в автоматизації керування і контролю мікрокліматом. Контроль за температурою і вологістю повітря, температурою і своєчасним поливом ґрунту, а також приготування добрива покладається на автоматизовані системи на основі програмованих логічних контролерів, мікроконтролерів та ін. Ефективність і економічна вигода досягається за рахунок вибору оптимальних методів поливу, обігріву і вентиляції теплиць, а також мінімізації витрат на обслуговування теплиць. Розробка систем клімат-контролю теплиць з використанням програмованих логічних контролерів вітчизняного виробництва дасть можливість будувати мережі теплиць з єдиним операторським центром, що, в свою чергу, суттєво зменшить витрати на обслуговування і, як наслідок, зменшить собівартість продукції.

Мета роботи. Метою цієї роботи є розробка ефективної і економічно вигідної системи клімат-контролю для об'єктів загального призначення, наприклад для теплиць, за умови використання в середніх і малих системах автоматизації.

Методи дослідження. В магістерській роботі для вирішення і аналізу поставлених задач використані такі методи дослідження: методи теорії автоматизації систем вентиляції та кондиціонування – для постановки та проведення експерименту в лабораторних умовах; теорія програмування – для розробки та написання програмного забезпечення; теорії автоматичного керування – для визначення параметрів, що характеризують роботу системи.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- вперше розроблена система клімат-контролю теплиць з можливістю моніторингу та керування з центрального ПК оператора.
- розроблена можливість зберігання графіків роботи системи для подальшого аналізу роботи системи, а також виявлення проміжків часу в які відбулися відхилення від нормальної роботи системи для подальшого усунення неполадки.
- отримана можливість створення «шаблонів» системних налаштувань для різних типів теплиць, а також можливість в будь-який момент часу модифікувати систему з мінімально можливою перервою у роботі системи.

Розроблена система може використовуватись як система клімат-контролю теплиць будь-якої складності.

Завдяки розробці системи з використанням ПЛК вітчизняного виробництва на ринку України може мати хороший економічний ефект за рахунок порівняно низької вартості апаратури, гнучкості програмування і дешевизни обслуговування для досить високих потужностей.

Апробація роботи. Степанов В.Д.. «Системи керування клімат-контролем об'єктів загального призначення на базі програмованого логічного контролера» І науково-технічна конференція магістрантів ІЕЕ КПІ ім. І. Сікорського, листопад 2019 р./.– м. Київ.

Захист відбудеться «18» грудня 2019 р. о 14 годині на кафедрі автоматизації управління електротехнічними комплексами Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: м. Київ, вул. Борщагівська 115, к.22. ауд. 416.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. В теперішні часи розробка систем клімат-контролю має велику популярність в різних галузях : йде активна розробка систем для різних об'єктів. Своєю, не останню нішу, займають системи клімат-контроля для теплиць, оскільки нині дуже гостро стоїть питання про забезпечення населення землі натуральними продуктами, особливо рослинного походження. Розробка, наладка виробництва і збут мають свій, досить великий потенціал на ринку України, а також країн Європи і Азії.

В зв'язку з збільшенням площ теплиць з'являється гостра необхідність контролювати рівномірність мікроклімату конструкції, з чим нам і допоможе система клімат-контролю на базі програмованого логічного контролеру.

Перший розділ. Розглянуті основні поняття про клімат-контроль та види приладів, які використовуються в системі, плюс місця, де їх зазвичай найбільш використовують, на прикладі автомобіля, лабораторії, домашніх умов та необхідних нам теплиць.

Другий розділ. Для забезпечення роботи системи клімат-контролю теплиці немає необхідності у використанні понад потужні і дорогі контроллери, датчики і інші комплектуючі. На даний момент є можливість використовувати контроллери, модулі і датчики фірми ОВЕН, які повною мірою можуть забезпечити продуктивність усієї системи. Вартість же таких комплектуючих на порядок нижча, ніж зарубіжних аналогів. Основні вимоги пред'являються до таких комплектуючих не більше ніж до електроприладів загального призначення (вологозахисність, зносостійкість, великий термін експлуатації, пожежобезпека).

В цьому розділі ми проводимо опис програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК150: його обчислювальні ресурси, конкурентні переваги та технічні характеристики.

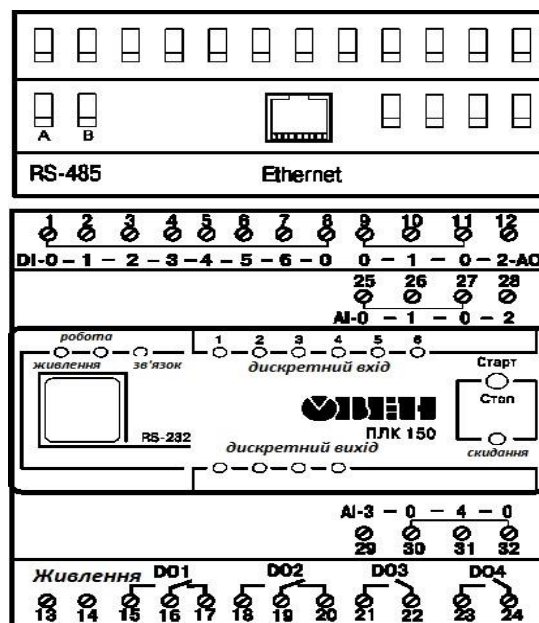


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд ПЛК150

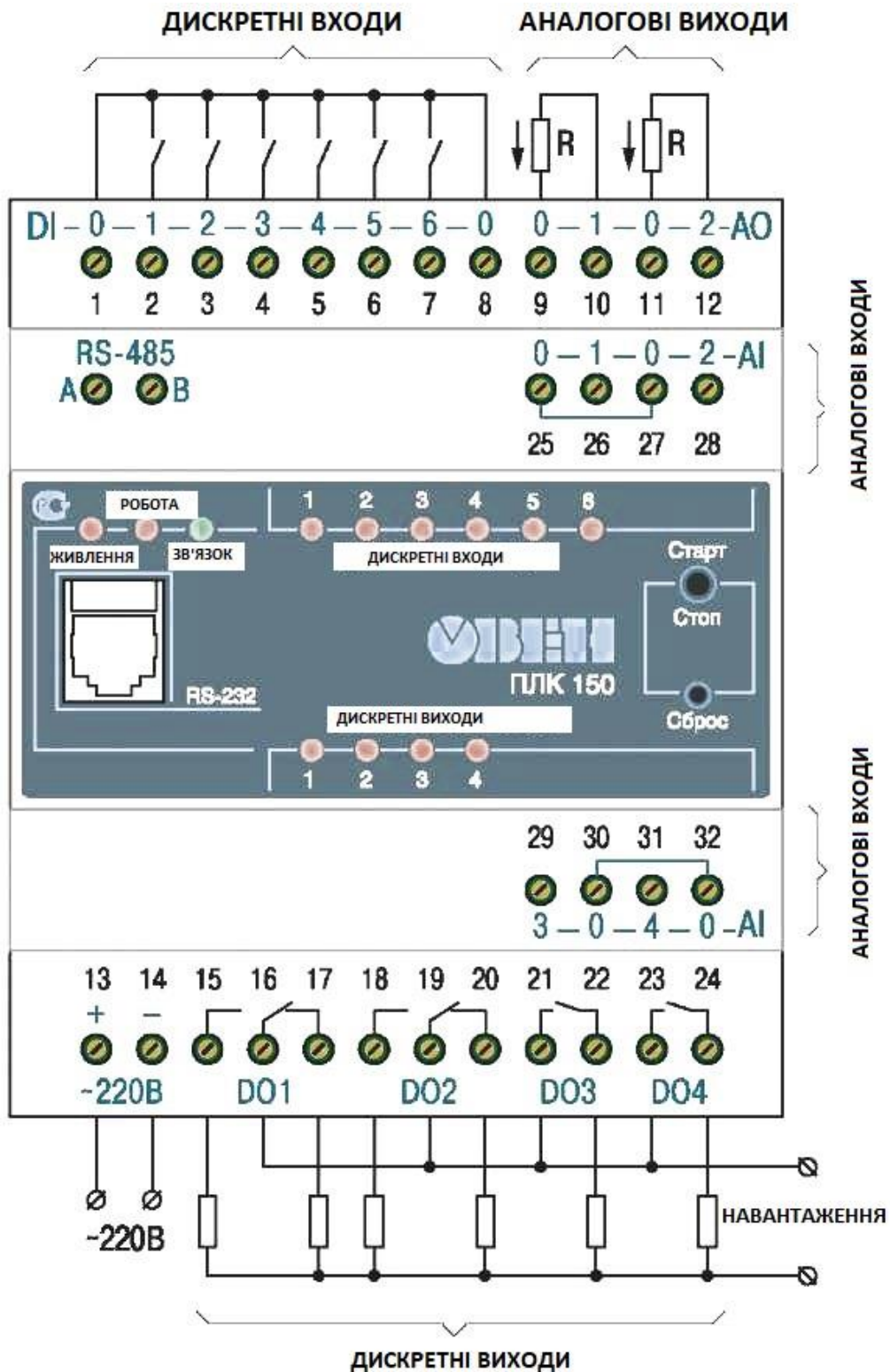


Рисунок 2 - Схема підключення живлення, входів і виходів ПЛК 150-220

Крім цього, ми підбираємо датчики до нашої системи : температури та вологості повітря та модуль введення аналоговий ОВЕН МВА8



Рисунок 3 - Номінальна статична характеристика (НСХ) датчика вологості

Третій розділ. У цьому розділі було розглянуто створення робочої програми для контролера ПЛК-150 в середовищі CoDeSyS, що входить в комплект постачання контролера.

Основна частина програми побудована за допомогою редактора Continuous Function Chart (CFC). Тут зібрано воедино усі функціональні блоки що реалізують виконання поставленого завдання. Центральною частиною є ПД-регулятори розробки фірми ОВЕН.

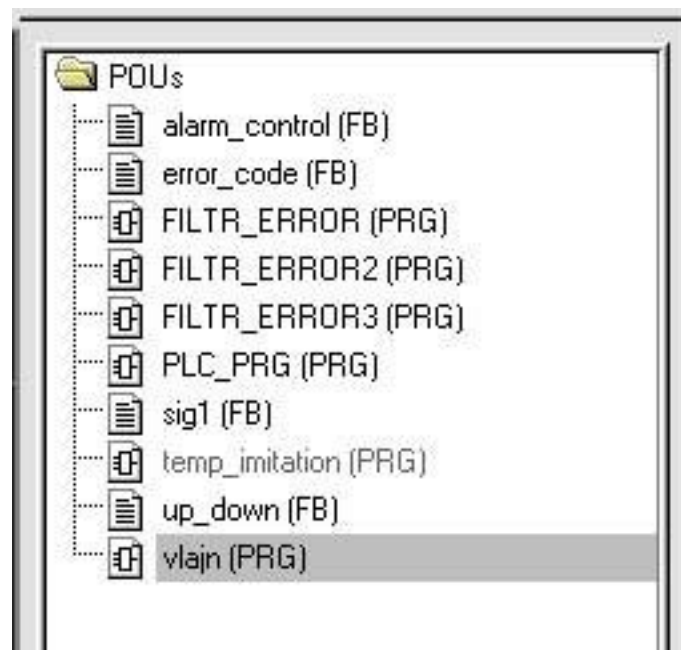


Рисунок 4 - Перелік функціональних блоків

Робота програми розділена на 3 частини:

- контроль температури повітря в теплиці (блоки 1-15)
- контроль вологості повітря (блоки 16 - 22)
- контроль температури ґрунту (блоки 23 - 28)

Така структура програми дозволяє з потреби з легкістю додавати (прибирати) контрольовані параметри. Наприклад швидкість руху повітря, вологість ґрунту, температура води для поливу і так далі.

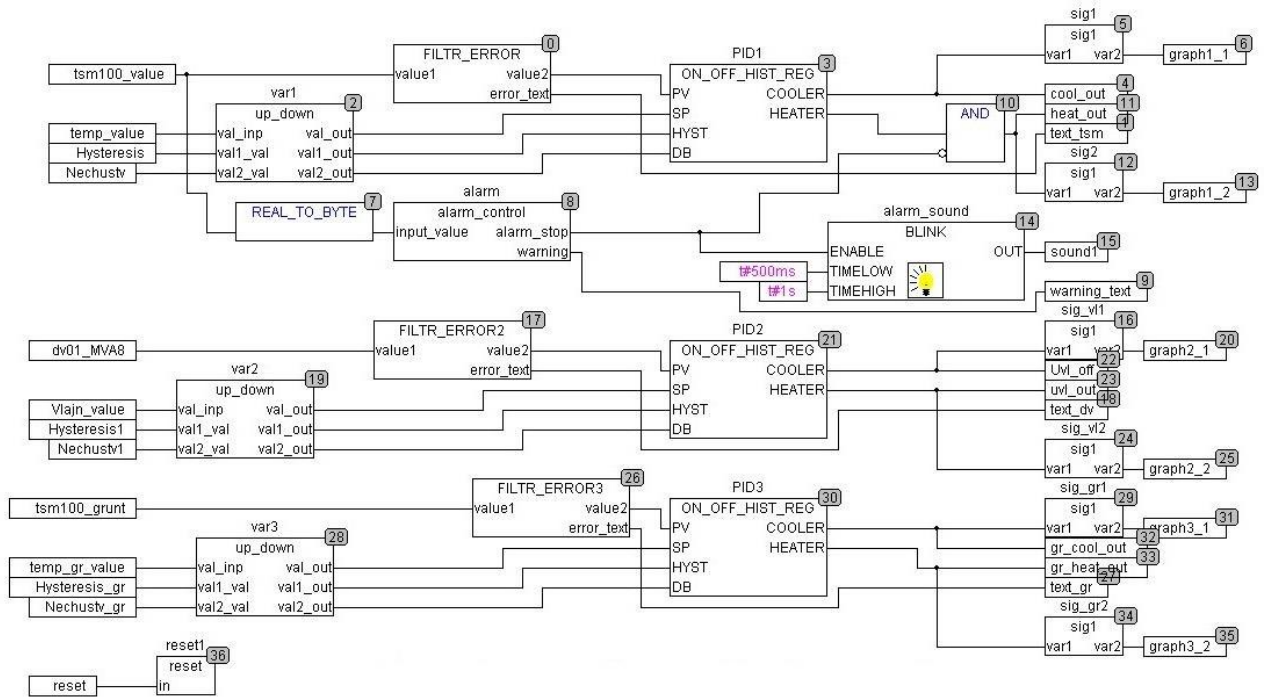


Рисунок 5 – Основний програмний компонент, написаний на мові Continuous Function Chart (CFC), мові Функціональних Блокових Діаграм.

Ця програма управління кліматом теплиць має візуальну частину для спрощення контролю і управління процесом (з виведенням графіків).

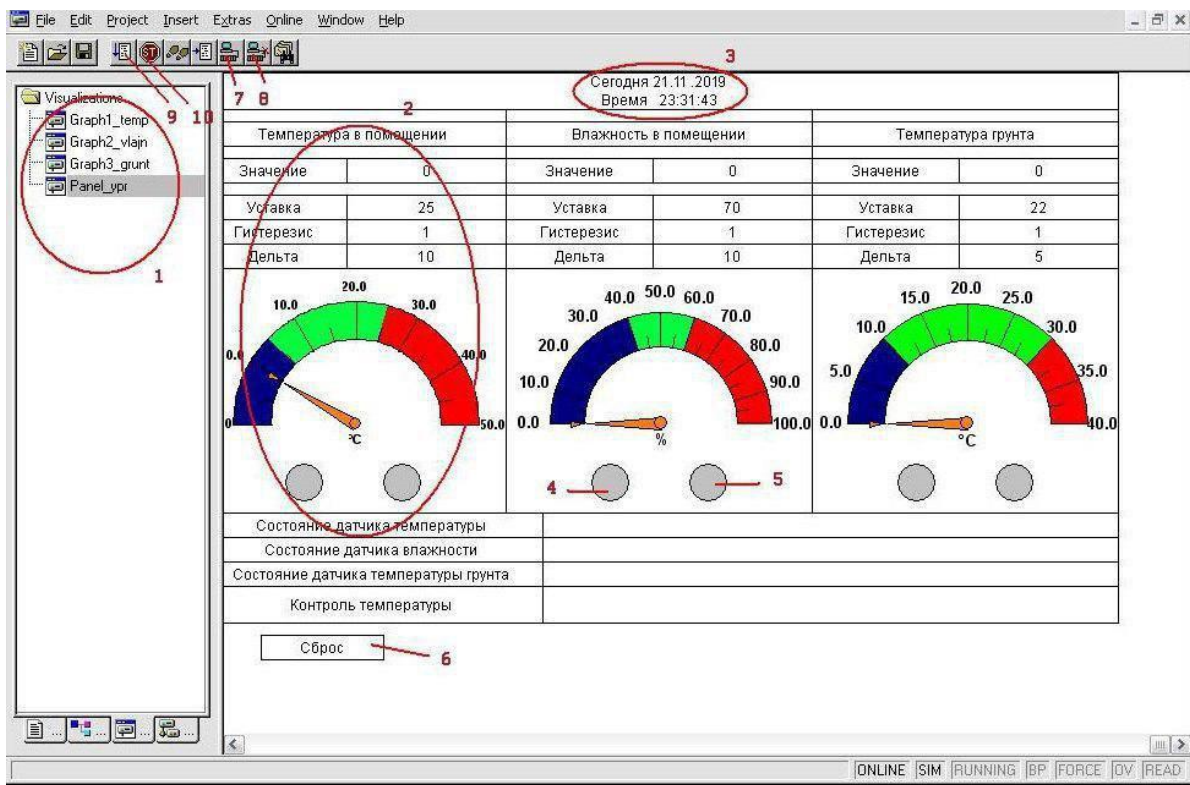


Рисунок 6 – Візуалізована панель оператора.

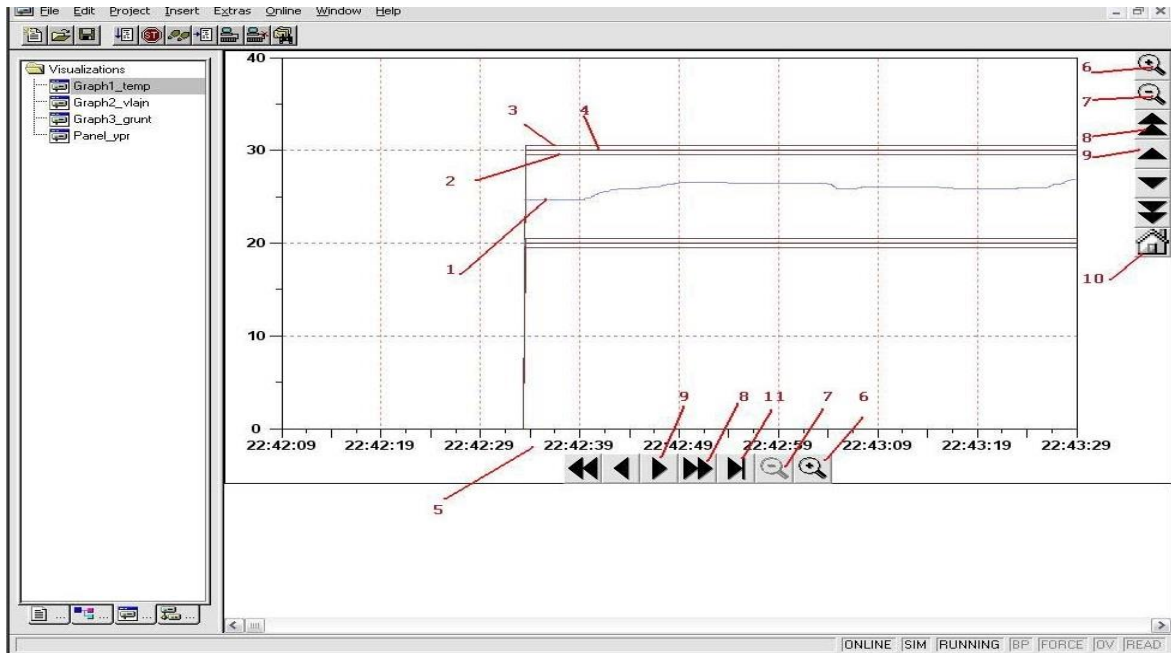


Рисунок 7 – Вікно виведення графіків

Висновки.

1. Здійснено аналіз відомих рішень присвячених вирішенню проблеми автоматизації контролю мікроклімату теплиць. Зроблено висновок, що на сучасному етапі розвитку теорії та техніки актуальною задачею є створення нових підходів та засобів для контролю мікроклімату теплиць.

2. Розроблено програмне забезпечення для програмованого логічного контролера, яке дозволяє виконувати контроль над заданими параметрами мікроклімату теплиці, забезпечити збереження графіків роботи теплиці для подальшого аналізу та звітності, та в будь-який момент часу модернізувати систему (включати додаткові контрольовані параметри, або змінювати алгоритм контролю вже існуючих) з мінімальною перервою у роботі.

Література:

1. Мішель Ж. Програмовані контролери: архітектура і застосування. - М.: Машинобудування, 1986
2. Э. Парр. Програмовані контролери: керівництво для інженера. - М.: БІНОМ. Лабораторія знань, 2007. - 516 с. ISBN 978-5-94774-340-1
3. Петров И. В. Програмовані контролери. Стандартні мови і прийоми прикладного проектування / Під ред. проф. В. П. Дьяконова. - М.: Солон-прес, 2004. - 256 с. ISBN 5-98003-079-4
4. Денисенко В. В. Комп'ютерне керування технологічним процесом, експериментом, устаткуванням. - М: Горяча Линия-Телеком, 2009. - 608 с. ISBN 978-5-9912-0060-8

Науковий керівник О.В.Данілін, к.т.н., доцент (КПІ ім. Ігоря Сікорського),

АНАЛІЗ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ З
НАПІВПРОВІДНИКОВИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ

ANALYSIS OF ELECTRICAL CONTROL SYSTEMS WITH SEMICONDUCTOR
CONVERTERS

Стаття присвячена розробці принципів керування напівпровідниковими перетворювачами частоти асинхронних електроприводів при перемиканні двигуна на мережу.

Ключові слова: напівпровідниковий перетворювач, керування перемиканням двигуна.

The article was devoted to the development of control principles of semiconductor frequency converter for asynchronous electric drives at switching of the engine on a network and on the contrary.

Keywords: semiconductor converter, motor transfer control.

Вступ Електропривод кількох механізмів може бути виконаний на основі перетворювального агрегату (ПА), що має у своєму складі напівпровідниковий перетворювач частоти (ПЧ), та асинхронні двигуни (АД) з короткозамкненим ротором. Частотне керування, принцип якого полягає у регулюванні за допомогою ПЧ частоти та амплітуди вхідного сигналу АД у залежності від параметрів сигналів навантаження дозволяє зберігати електроенергію. В промисловості використовується електропривод з кількома АД однакової потужності, що працюють на спільне навантаження. Типовим рішенням є установка одного ПА на кожний АД. Усталений режим роботи такої системи достатньо досліджений у роботах відомих вчених Блашке Ф., Лабунцова В.О., Епштейна І.І., Волкова І.В., та інших. Однак можливе і альтернативне рішення - установка одного ПА, потужність якого дорівнює потужності АД та додаткової комутаційної апаратури, яка підключає двигуни до ПА або до мережі. Перевагами такої структури є менша ціна та більш високий коефіцієнт корисної дії. Провідні закордонні виробники (Siemens, ABB, Allien Bradlye та ін.) в своїх електроприводах мають таку опцію, як "synchronous transfer" (в роботі використовувався термін "перемикання"), але аналіз процесів при перемиканні та методики такого аналізу досліджені недостатньо. У зв'язку з цим актуальними є розробка та дослідження принципів керування ПЧ асинхронного електропривода при перемиканні АД на мережу та навпаки.

Мета та завдання Визначення властивостей та характеристик напівпровідникового перетворювача з перемиканням АД на мережу та навпаки, розробка на цій основі структур та способів керування системою «перетворювач – двигун». При перевищенні навантаженням рівня, що потребує підключення додаткового АД, ПА переходить до режиму перемикання, розганяє підключений до нього АД до частоти, близької до частоти мережі, перемикає його на мережу, підключає до свого виходу наступний АД та переходить до режиму регулювання. При зниженні навантаження до рівня, що потребує відключення одного з АД, виконується зворотна процедура. У результаті аналізу виділені режими перемикання, який розділено на етапи синхронізації та перемикання контакторів і регулювання.

Для прямого перемикаання АД доцільно спочатку розмикати вихідний контактор (ВК), а потім замикати шунтувальний контактор (ШК), а для зворотного перемикаання АД - спочатку замикати ВК, а потім розмикати ШК. При використанні сигналів напруги у якості опорних для синхронізації недоліками є необхідність у додатковій фільтрації та мають місце додаткові фазові похибки. Обґрунтованим є використання ПА на основі ПЧ з ланкою постійного струму на базі автономного інвертора напруги або на базі автономного інвертора струму, для яких використовуються векторні закони керування.

Головною особливістю синтезованої структури (рис. 1) є використання сигналів потоків мережі та ротору у якості опорних. На рис. 1 зроблені позначення: ДРА – датчик різниці амплітуд; ДРФ - датчик різниці фаз; ДРЧ - датчик різниці частот; СП – система перемикаання; ДС – датчик струму; ДН – датчик напруги; ДПМ – датчик потоку мережі; СР – система регулювання; ДШ – датчик швидкості ротора; ДПР – датчик потоку ротора.

Такий підхід дає можливість підвищити заводостійкість системи та уникнути додаткової фільтрації опорних сигналів.

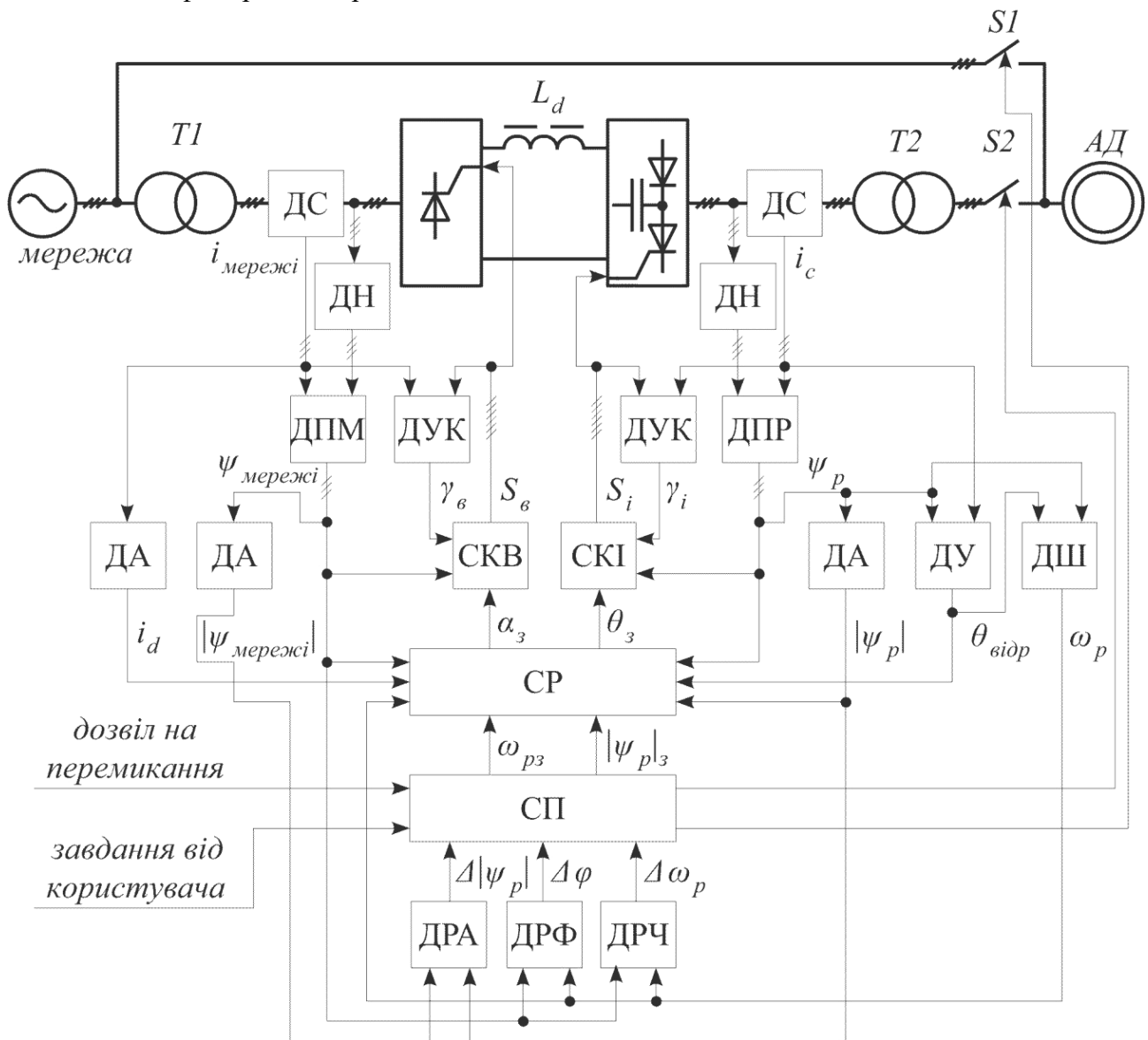


Рисунок 1 - Функціональна схема системи керування ПА асинхронного електроприводу

з можливістю перемикання на мережу

Для аналізу процесів у системі використовується координатний базис "струм-потік", в якому у диференціальних рівняннях зв'язки між електричними величинами записуються не як зв'язки між струмом та напругою, а як зв'язки між струмом та інтегралом від напруги

$$\psi(t) = \int u(t) dt ,$$

для якого вживається термін "потокозчеплення", хоча фізично він не завжди відповідає реальному магнітному потоку.

При розробці системи перемикання враховано, що на етапі прямого перемикання при використанні потоку ротора замість магнітного потоку похибка становить

$$\Delta\varphi_{sp} = \arctg \frac{\omega_s L_{sp}}{R_p / s} .$$

Установку параметрів синхронізації виконано з урахуванням інтервалу часу t , під час якого у живленні АД настає пауза. На етапі синхронізації створено упередження по частоті $\Delta\omega_{sp}$, фазі $\Delta\theta_{pn}$ та амплітуді $\Delta|\psi_p|$ потоку ротора, відносно потоку мережі

$$\Delta\omega_{sp} = -\frac{M_n}{J} t_n , \quad \Delta\theta_{pn} = -\frac{M_n}{2J} t_n^2 , \quad \Delta|\psi_p| = -|\psi_{pn}| \frac{t_n}{\tau_M} \quad (3)$$

при цьому знак " - " у виразах означає, що результуючий вектор потоку ротора повинен випереджати результуючий вектор потоку мережі по усім трьом параметрам синхронізації.

Розрахунок часу паузи у живленні АД та моменту початку цієї паузи урахує дискретність ПЧ, інтервал часу гасіння струму в інверторі та розкиду часів спрацьовування контакторів. З урахуванням впливу дискретності ПЧ момент початку паузи в живленні АД після подачі команди на пряме перемикання відстоїть від поточного моменту часу на

$$t_{наст} = \frac{(\alpha - \alpha_{nom})}{\omega_c} , \quad (4)$$

після якого і починається пауза в живленні АД.

Інтервал часу на гасіння струму в інверторі з достатньою точністю еквівалентний додатковому інтервалу в живленні АД, але при цьому від часу гасіння струму треба відняти час $t_{наст}$. Щоб уникнути проблеми, пов'язаної з розкидом часів спрацьовування ВК, введено програмну затримку від моменту видачі команди на вимкнення ВК до моменту видачі команди на вмикання ШК. Аналіз впливу параметрів синхронізації при прямому перемиканні виконано аналітичним та числовим методами на основі еквівалентної схеми АД у базисі "струм - потік" при живленні від джерела потоку (рис. 2), (колом зображена

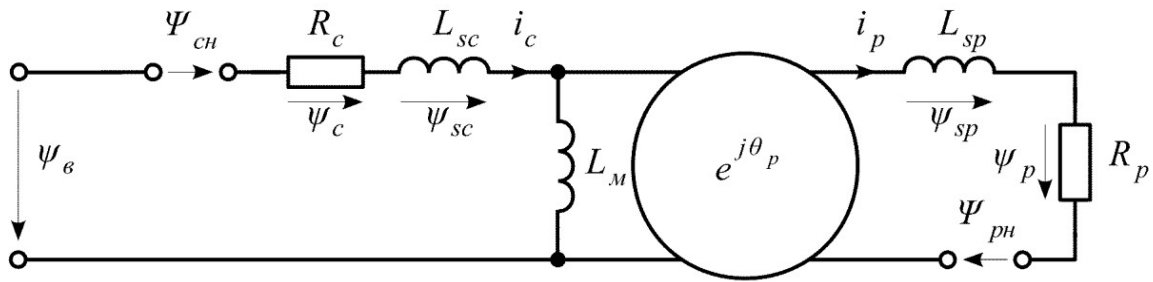


Рисунок 2 - Еквівалентна схема заміщення АД при живленні від джерела потоку

ланка повороту, що здійснює частотний перехід від параметрів статора до параметрів ротора). При використанні в аналітичних дослідженнях методів декомпозиції по частоті та фазі еквівалентну схему системи розділено на роторну та статорну, а роторну еквівалентну схему розділено на поздовжню та поперечну. Механічні параметри АД приведено до поперечної еквівалентної схеми ротору за допомогою введення в її склад еквівалентних ємності та джерела потоку 2, яке враховує початкові значення параметрів механічної частини – моменту навантаження, частоти ковзання ротору та кута ковзання.

При цьому в вільних складових струму статора та електромагнітного моменту можна виділити дві компоненти. Першу запропоновано називати статорною, вона залежить від значення початкового потоку статора та має вид затухаючої з постійною часу синусоїди статора з частотою, приблизно рівною частоті мережі. Другу запропоновано називати роторною, вона має вид затухаючої з постійною часу синусоїди.

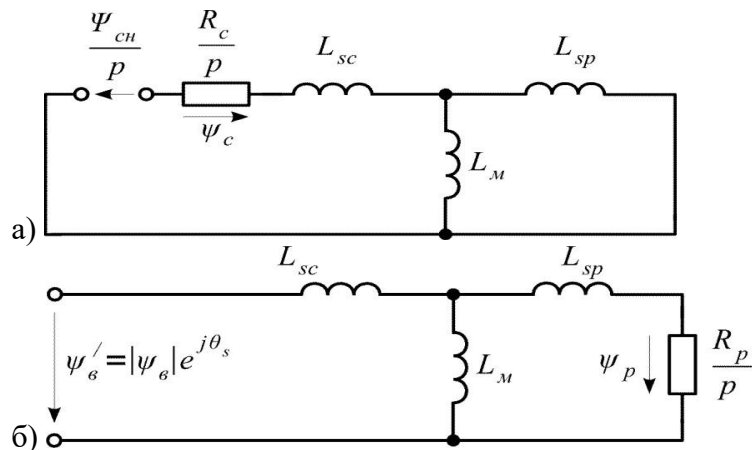
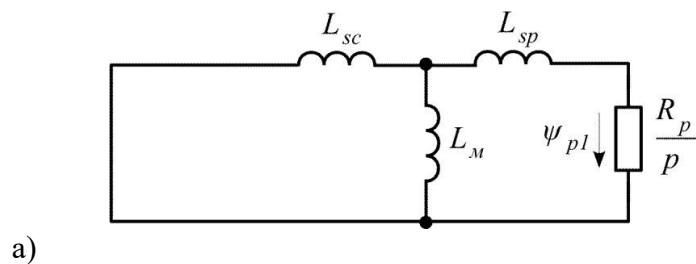


Рисунок 3 - Декомпозиція по частоті схеми заміщення АД при живленні від джерела потоку на роторну (а) та статорну (б) еквівалентні схеми



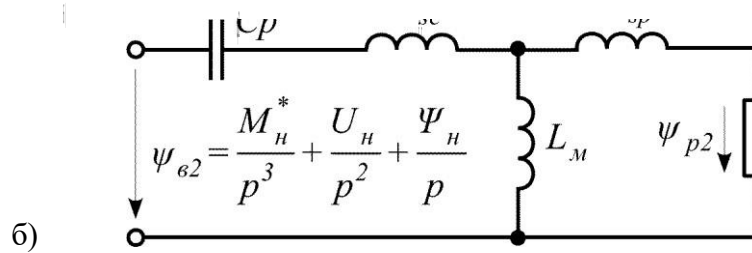


Рисунок 4 - Декомпозиція по фазі роторної схеми АД на повздовжню (а) та поперечну (б) схеми заміщення

Визначення точних значень перехідних величин електромагнітного моменту та струму статора виконано за допомогою числових моделей

$$i_c = -\left(k_c(\psi_c - \psi_s) + k_p \psi_p e^{j\theta_p}\right), \quad i_p e^{j\theta_p} = -\left(k(\psi_c - \psi_s) + k_p \psi_p e^{j\theta_p}\right).$$

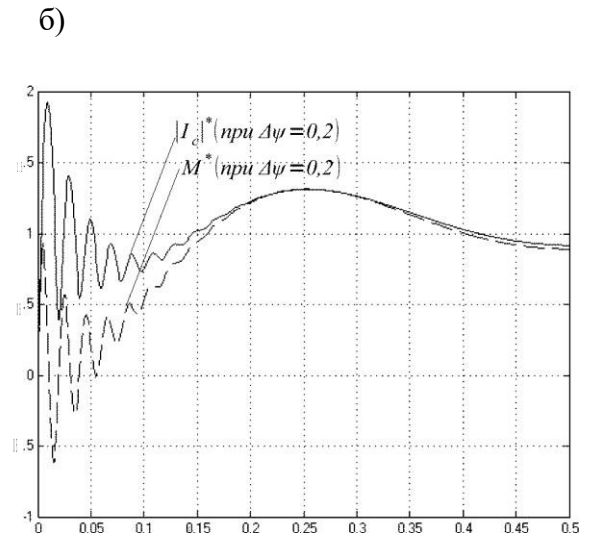
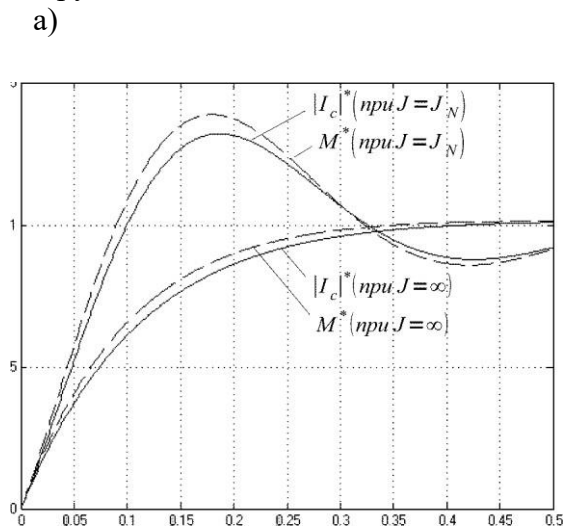
$$k_c = \frac{L_M + L_{sp}}{m}, \quad k = \frac{L_M}{m}, \quad k_p = \frac{L_M + L_{sc}}{m}, \quad m = L_M L_{sc} + L_M L_{sp} +$$

Перевагою використаних числових моделей у порівнянні з моделями бібліотеки Simulink пакету Matlab є можливість прямого задавання значень початкових потоків. Результати досліджень за допомогою числової моделі на прикладі наведені на рис. 5.

Регулятор струму пропорційно - інтегрального (ПІ) типу з коефіцієнтами підсилення пропорційної та інтегральної частин синтезовано за допомогою співвідношень:

$$k_{in} = 6 L_d / (T_c k_s), \quad k_{iu} = k_s (Q k_{in})^2 / L_d, \quad k_s = \frac{3}{\pi} U$$

При цьому обмеження по значенню коефіцієнту k вносила перешкода, пов'язана з виникненням субгармонічних коливань внаслідок дискретного приросту вихідної напруги ПЧ.



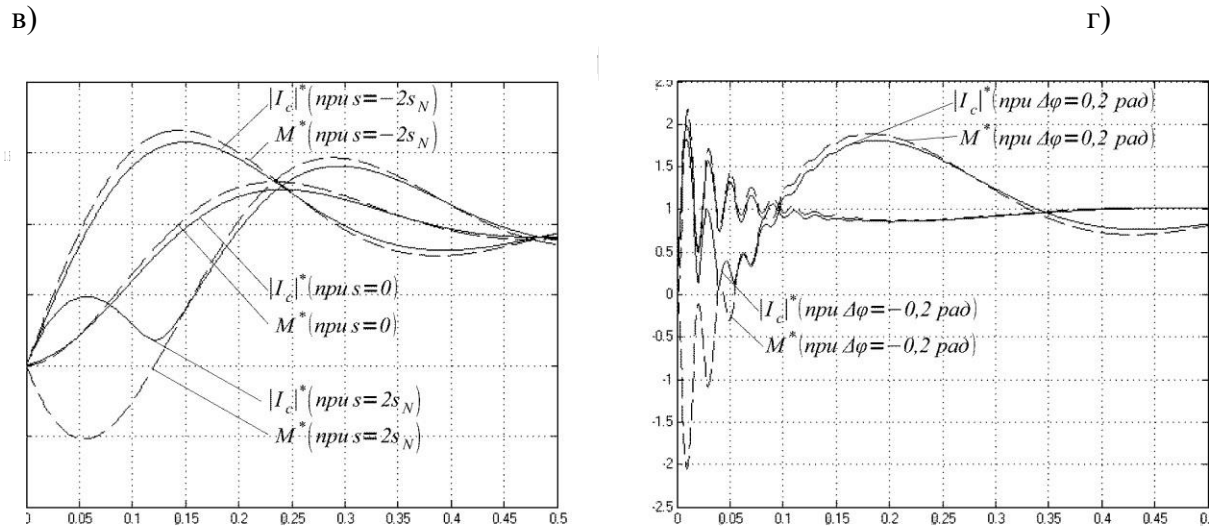


Рисунок 5 - Графіки зміни відносних значень струму статора та електромагнітного моменту при підключенні АД на мережу: а) без розбіжностей по параметрам синхронізації; б) при наявності розбіжності по амплітуді; в) при наявності розбіжності по частоті; г) при наявності розбіжності по фазі

Найбільший вплив на амплітуди перехідних значень струму статора та електромагнітного моменту здійснювала розбіжність по фазі (рис. 5, г), при цьому допустиме значення розбіжності по фазі складає одиниці електричних градусів, що задає високі вимоги до заводозахисності системи перемикання та до фазових похибок датчиків. Найбільш сприятливі умови протікання перехідного процесу забезпечує підключення не з номінального, а з нульового ковзання. Розбіжність по амплітуді має найменший вплив на амплітуди перехідних значень струму статора та електромагнітного моменту.

Для зворотного перемикання у інверторі з одноопераційними тиристорами перехідний процес при вмиканні вторинної обмотки вихідного трансформатора на мережу при знятих з інвертора імпульсах керування не становить загрози для стану ПЧ.

Система керування для режиму регулювання підтримує постійний кут, для режиму перемикання – закон керування з постійною амплітудою потоку.

ВИСНОВКИ

1. Розроблені структури системи керування ПЧ та АД дозволяють виконувати керування як у режимі перемикання, так і у режимі регулювання.
2. Використання потоку мережі у якості одного з двох опорних сигналів системи керування ПЧ дозволяє підвищити заводостійкість, надати схемі ПЧ певну симетрію й застосувати для каналів керування випрямлячем та інвертором однотипний алгоритм.
3. Класифікація перешкод в системі керування дає змогу розробити засоби для усунення їх впливу шляхом використання координатного базису "струм – потік" при розробці структури системи керування, обмеженням коефіцієнтів підсилення пропорційних частин регуляторів струму та потоку.
4. Визначення набору параметрів синхронізації при прямому перемиканні дозволяє виділити першочерговий вплив розбіжності по фазі та другорядний вплив розбіжностей

по частоті та амплітуді між векторами потоків ротору та мережі на перехідні значення електромагнітного моменту та струму статора.

5. Числові та аналітичні моделі АД в координатному базисі "струм - потік" дозволяють провести аналіз впливу параметрів синхронізації на перемикання АД на мережу та виділити в перехідних процесах статорну та роторну компоненти.

6. Математичні моделі електромеханічних процесів силової частини системи ПЧ - АД дозволяють спростити синтез регуляторів системи керування ПА на етапі перемикання.

7. Синтезована структура системи керування ПЧ та контакторами дозволяє виконати перемикання АД на мережу та навпаки із значеннями перехідних струмів статора та електромагнітного моменту, що не перевищують номінальних більше, ніж удвічі.

Джерела інформації

1. Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н. Муренко Т.А. Про захист електродвигуна від струмових перевантажень. Науково-технічний розвиток: економіка, технології, управління. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 21-22 квітня 2010 року. - К.: НТУУ "КПІ", 2010. с.191, т1 с.

2. Дубовик В.Г., Белинский С.Н., Указ Б.С. Устройство защиты асинхронного электродвигателя. Научно-техническое развитие: экономика, технологии, управление. Материалы ІХ Международной научно-практической конференции, г. Киев, 21-22 апреля 2010 года. - К.: НТУУ "КПИ", 2010. с.212, 1 с.

3. Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н., Лукащук А.Н. Пристрій захисту асинхронного електродвигуна з контролем вібрації. Матеріали ІІ науково-технічної конференції. "Енергетика. Екологія. Людина", Київ, 20-21 травня 2010 року. - К.: НТУУ "КПІ", 2010. 1 с.

Науковий керівник ст. викл. Дубовик В.Г

УДК 621.313.3

Тімченко О.Б., магістрант

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ FUZZY-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЗМІННОГО СТРУМУ НА БАЗІ АСИНХРОНОГО ДВИГУНА ДЛЯ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТУ

У статті представлено система управління електроприводом з трьома контролерами. Моделюється працездатність ПІ-регулятора та контролерів на нечіткій логіці (НЛ), у керуванні швидкістю приводу змінного струму. Гібридизація контролерів НЛ та ПІ-регулятора проводиться та використовується як єдиний контролер, враховуючи переваги, наявні в контролері НЛ та ПІ-регуляторі (нульова стаціонарна помилка). Продуктивність перевірялась за допомогою симуляційних досліджень у середовищі MATLAB / SIMULINK.

Відповідно до результатів моделювання, гібридний контролер дав кращі показники в динаміці, перерегулювання та величини похибки.

Ключові слова: електропривод, ПІ-регулятор, контролер на нечіткій логіці, гібридний контролер, непрямий векторний контроль.

The article presents an electric drive control system with three controllers. The performance of the PI controller and controller on fuzzy logic (FL) is simulated in controlling the drive speed of the AC drive. The hybrid design of the FL and PI controllers is conducted and used as a single controller, taking into account the advantages of the FL controller and PI controller (zero steady-state error). Performance was tested using simulation studies in MATLAB / SIMULINK.

According to the results of the simulation, the hybrid controller gave better performance in dynamics, overreaction and magnitude of error.

Keywords: electric drive, PI controller, fuzzy logic controller, hybrid controller, indirect vector control.

Вступ. Традиційно двигуни постійного струму використовувались для точного регулювання швидкості широкого діапазону. У наш час, з прогресом в енергетичній електронній промисловості та розробці недорогих перетворювачів і безлічі переваг електродвигунів змінного струму, ніж постійних двигунів, використання електродвигунів змінного струму звичайне в електроприводах. Деякі з цих переваг:

відсутність комутатора, зменшені витрати на обслуговування, менший об'єм і вага, а отже, менші витрати. Крім того, індукційні двигуни є надійними та мають кращі показники роботи у високій швидкості та крутному моменті.

В останні роки контроль та оцінка індукційних приводів двигуна є активною науково-дослідною сферою, і технологія має в цьому напрямі подальший прогрес. Індукційні моторні приводи, були робочими напрямками в промисловості для застосувань із змінною швидкістю в широкому діапазоні потужностей, який охоплює від малопотужних до багатомегаватних.

Як правило, керування та оцінка приводу змінного струму значно складніші, ніж у приводів постійного струму, і ця складність значно збільшується, якщо вимагають високої продуктивності. Потреба змінних частот, гармонійно оптимальних джерел живлення перетворювача, складна динаміка машин змінного струму, зміни параметрів машини та труднощі обробки сигналів зворотного зв'язку за наявності гармонік, створюють цю складність.

Індукційним двигуном можна керувати більш ефективно, особливо з винаходом векторного керування на початку 1970-х. Векторне управління також відоме як управління роз'єднанням, ортогональним або трансвекторним керуванням. Управління вектором та відповідна обробка сигналу зворотного зв'язку, особливо для сучасного без сенсорного управління вектором, є складними, і необхідне використання потужного мікрокомп'ютера або промислового контролера DSP. Через основні переваги векторного керування, цей метод керування витіснить скалярне управління і буде прийнятий як стандартний для управління приводами змінного струму галузевий стандарт.

Аналіз стану питання. ПІ-контролери широко використовуються в різних галузях промисловості для контролю різних пристроїв і мають якісні показники. Однак ця ефективність може виявитися недостатньою для деяких застосувань, таких як керування приводом змінного струму. Тому в цих випадках важливо використовувати більш складний контролер з використанням методик розробки інтелектуальних систем.

ПІ-контролер ніколи не може досягти ідеального керування, тобто підтримувати швидкість обертання індукційного двигуна безперервно на бажаному заданому значенні при наявності збурень або змін заданого режиму. Тому для цієї мети потрібна техніка інтелектуального управління, наприклад контролерна нечіткій логіці.

На сьогоднішній день інтелектуальні системи застосовуються в широкому діапазоні наукових та промислових галузей, таких як моделювання та управління, обробка сигналів, медицина та ін. Важливим застосуванням нечіткої логіки є пошук нового рішення для проблем управління. У цій статті розглянуто інтелектуальний контролер на основі нечіткої логіки. Нечіткий логічний контролер (НЛК) не потребує складних математичних алгоритмів і заснований на лінгвістичних правилах.

Мета роботи. Розробити модифікований нечіткий елемент управління швидкістю обертання індукційного двигуна (ІД). Спочатку, контролер ПІ, досліджується для контролю швидкості індукційного двигуна, а потім моделюється нечітка робота логічного контролера. Працездатність індукційного двигуна перевіряється за допомогою симуляційних досліджень у середовищі MATLAB / SIMULINK. Гібридизація нечіткої логіки (НЛ) та ПІ-контролера для регулювання швидкості даного двигуна також проводиться для усунення недоліків НЛ-контролера (похибка в у статичному режимі) та

ПІ-контролера (похибка у динаміці). Дослідити показники роботи інтелектуальної системи управління, відповідно до результатів моделювання, та перевірити як гібридний контролер покращує показники з точки зору швидкодії, похибки у статичному та динамічному режимах.

Методики, матеріали і результати досліджень. Електрична частина індукційного двигуна представлена системою четвертого порядку, а механічна частина - системою другого порядку. Всі електричні параметри та змінні приводяться до статора. Це позначається простими символами в машинних рівняннях для електричної та механічної частинами системи. Всі величини ротора і статора знаходяться у довільній двоосі відліку (d-q координати), як показано на рисунку 1.

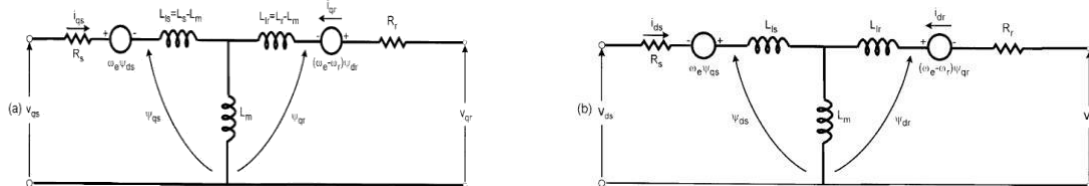


Рисунок 1. Електричні схеми статора і ротору у d-q координатах.

Контролер швидкості ПІ, простий в експлуатації і має нульову помилку в стаціонарному режимі при роботі під навантаженням. Але недоліками цього ПІ-контролера є виникнення запізнення під час запуску під навантаженням та зменшення під час зняття навантаження. Крім того, є потреба, щоб моторна модель визначала до зміни параметрів та режимів роботи і була більш чутлива до змін параметрів, порушень навантаження. Алгоритм ПІ-контролера та модель електроприводу можуть гальмувати від низької продуктивності апаратної частини, при застосуванні безпосередньо до систем зі значними нелінійностями. Ці недоліки ПІ-контролера можна усунути за допомогою контролера НЛ, який не потребує моделі приводу і може обробляти нелінійності довільної складності.

Нечіткий логічний контролер має три функціональні блоки, який поєднаний із ПІ контролером, показано на рисунку 2.



Рисунок 2. Структура схемаконтролера на нечіткій логіці.

Результати моделювання проводились у двох режимах, статичному та динамічному. Але аналізується лише динамічний режим. У динамічному режимі опорна швидкість зростає з 120 (рад/сек) до 160 (рад/сек) при $t = 0,2$ сек, а обертовий момент двигуна змінюється від 0 (Нм) до 200 (Нм) при $t = 1,8$ сек. Підсилення регулятора швидкості ПІ вибираються на основі спроб та помилок шляхом спостереження на вплив на реакцію електроприводу. Значення пропорційного та інтегруючого коефіцієнтів - 13 і 26 відповідно. Динамічні показники роботи двигуна з ПІ-контролером представлені на рисунку 3.

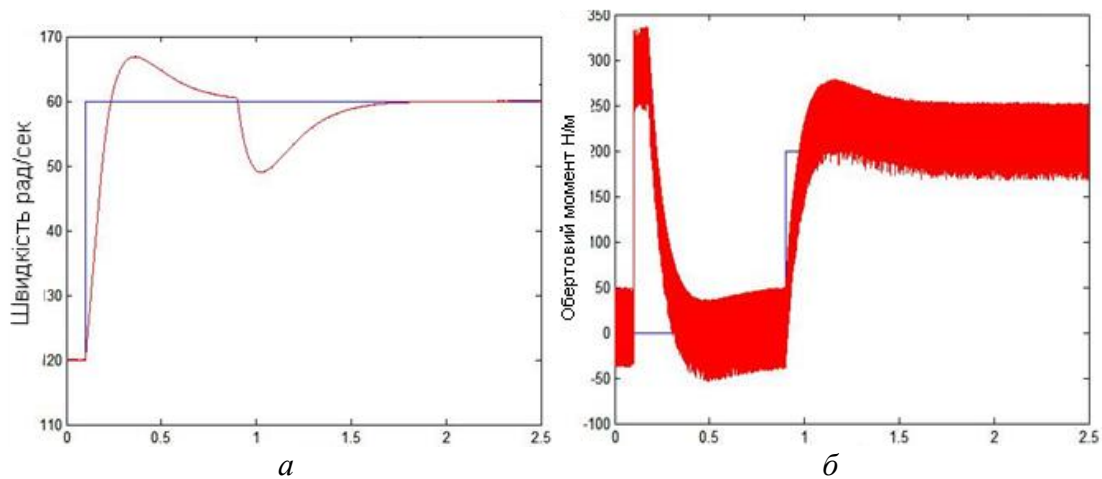


Рисунок 3. Результати моделювання електроприводу із ПІ контролером: *a* – зміна швидкості; *b* – зміна обертового моменту.

Для всіх моментів часу немає швидкого перемикавання швидкостей, а пульсації є незначними (головна вигода НЛ-контролера), але він має більшу похибку часіпрі реакції на зміну завдання та похибу швидкості в сталому режимі (недоліки цього контролера).

Зміна швидкості за допомогою цього контролера не має перекриття і швидше переходить на задане значення без перерегулювання, порівняно з контролером НЛ. Також зазначається, що при роботі активованого гібридного контролера не виникає стаціонарної помилки у швидкості реакції під час роботи. Крім того, в реакції на обертовий момент не виникало коливань, перш ніж вона остаточно виходить на заданий режим, але коливання моменту при використанні контролері ПІ. Якісна характеристика крутного моменту отримується з гібридним контролером для будь-якого моменту часу, а перехідні процеси кращі, ніж при використанні окремо контролерів НЛ та ПІ. У гібридному контролері є незначна пульсація швидкості порівняно з контролерами ПІ та НЛ.

Результати моделювання зміни швидкості і обертового моменту двигуна, при використанні контролера НЛ, наведено на рисунку 4.

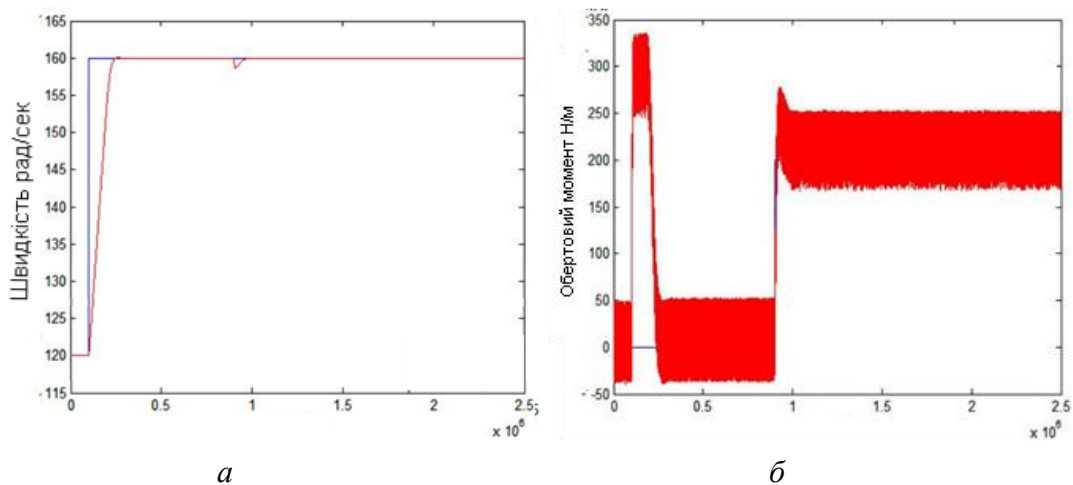


Рисунок 4. Результати моделювання електроприводу із гібридним контролером: *a* – зміна швидкості; *b* – зміна обертового моменту.

Висновки. У цій статті представлено результати роботи приводу чату з трьома контролерами. Продуктивність перевірялась за допомогою досліджень у середовищі MATLAB / SIMULINK. Моделюється працездатність ПІ та нечітких контролерів при керуванні швидкістю приводу змінного струму. Гібридизація контролерів НЛ та ПІ проводиться та використовується як єдиний контролер, що дає переваги, наявні для нечіткої логіки та ПІ регулювання.

Відповідно до результатів моделювання, гібридний контролер дав кращі показники в плані динаміки, швидкодії та мінімізації статичної та динамічної похибки.

Література

1. Bose, B. K, Силова електроніка та електроприводи змінного струму, Prentice-Hall, EnglewoodCliffs, N.J, 1986.
2. Лі-Сінг Ван, Курс нечітких систем і управління, Prentice-HallInternational, Inc, 1995.
3. RajeshKumar, R.A.Gupta, S.V.Bhangale, Індукційний привід непрямого управління з непрямим векторним керуванням та інтелектуальним контролером на основі нечіткої логіки, IETECHJournalofElectricalAnalysis, Vol .: 2, No: 4, 211-216, 2008.
4. AbdelkaderMEROUFEL, AhmedMASSOUM, BagdadBELABES, нечітка адаптивна модель після керування швидкістю для векторного керуваного постійного магнітного синхронного двигуна, LeonardoElectronicJournalofPracticeandTechnologies, ISSN 1583-1078, 2008.
5. В.Читра, Р.С. Прабхакар, Індукційний контроль швидкості двигуна за допомогою нечіткого логічного контролера, Всесвітня академія науки, техніки та технологій 23, 2006.
6. Мулу Азедін Денаї, Сід Ахмед Аттіа, Нечіткий і Нейронний контроль індукційного двигуна, Int.J.Appl.Math.Comput.Sci., Vol.12, No.2, 221-233, 2002.
7. Р.Арулможіял, д-р К.Баскаран, Контроль швидкості індукційного двигуна за допомогою нечіткого ПІ та оптимізація за допомогою GA, Міжнародний журнал останніх інженерних тенденцій, т. 2, № 5, листопад 2009 року.
8. K.Nabti, K.Abed, H.Benalla, покращений DTC, спираючись на гібридний регулятор нечіткої самонастройки ПІ для постійної магнітної синхронної машини, ICGST-ACSE Journal, ISSN 1687-4811, том 8, січень 2009 .
9. Leonhard, W, Управління електричними приводами, Springer-Verlag, Берлін, 1996.
10. Мерфі, Дж. М. Д, Тернбулл, Ф. Г, Силовий електронний контроль двигунів змінного струму, Пергамон Прес, Оксфорд, 1985.
11. Р. Крішнан, Електроприводи - Моделювання, аналіз та управління, видання Prentice Hall of India, 2003.
12. Ж.-Х. Кім, К.-С. Кім, Е. К. П. Чонг, Нечіткі попередньо компенсовані контролери PID, транзакції IEEE в системі управління, 2, 406-411, 1994.
13. С.-В. Лі, М.-Ж. Чонг, Б.-І. Янг, С.-Н. Йо, С.-Г. Кім, Ю.-С. Парк, Fuzzy задалегідь компенсований ПІ-контролер для теплового насоса змінної потужності, У ході конференції IEEE з питань застосування додатків, стор. 953-957, 1998.
14. Radha Thangaraj, Thanga Raj Chelliah, Millie Pant, Ajith Abraham, Crina Grosan, оптимальна настройка коефіцієнта посилення швидкості ПІ в індукційних двигунах з використанням оптимізації рою частинок, опублікована Oxford University Press, 2010.

15. Б. Сінгх, Г. Чудхурі, регулятори швидкості на основі нечіткої логіки для вектора з індукційним двигуном, керованим векторною, IETE Journal of Research, 48, 441-447, 2002

16. С. Thanga Raj, S. P. Stivastava, P. Agarwal, Рой частинок і нечітка логіка, заснований на оптимальному регулюванні енергії індукційного двигуна для діаграми навантаження на шахту, IAENG International Journal of Computer Science, 36, 17-25, 2009.

17. К. В. Нареш, Дослідження індукційних двигунів на базі SVM-PWM, Дисертація M Tech, Індійський технологічний інститут Поркі, 2007.

18. М. Пант, Р. Тхангарадж, А. Абрахам, Оптимальна настройка регулятора швидкості PI з використанням евристики, натхненної природою, У матеріалах Восьмої міжнародної конференції з розробки та застосування інтелектуальних систем, стор. 2008 рік.

Науковий керівник магістерської роботи - доцент каф. Автоматизації управління електротехнічними комплексами Тишевич Б.Л.

**ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ПРИ
ВИКОРИСТАННІ ПІД НЕЙРОНЕГУЛЯТОРА В УМОВАХ ВПЛИВУ ДЕФЕКТІВ
ТА ПОШКОДЖЕНЬ**

**EFFICIENCY OF ASYNCHRONOUS ENGINE OPERATION UNDER USE OF SUB-
NEURIGONATOR IN DEFECTS AND INJURY CONDITIONS**

***Анотація.** В даній статті розглядається алгоритм навчання ПІД нейрорегулятора на основі багатoshарової нейронної мережі прямого поширення. Такий підхід дозволяє оперативно реагувати на зміну характеристик об'єкта керування, що виникають внаслідок появи і розвитку пошкоджень та неякісностей двигуна. Показана ефективність застосування запропонованих рішень для задач підтримування заданих параметрів технологічного процесу.*

Ключові слова: ПІД-нейрорегулятор, нейронна мережа, асинхронний двигун, діагностика, система керування, перетворювач частоти, пошкодження

Annotation. This article discusses the algorithm for learning a PID neuroregulator based on a multilayer direct propagation neural network. This approach allows you to quickly respond to changes in the characteristics of the object that occur as a result of the appearance and development of engine damage and defects. The effectiveness of the application of the proposed solutions for the problems of maintaining the set parameters of the technological process is shown.

Key words: PID neuroregulator, neural network, asynchronous motor, diagnostics, control system, frequency converter, damage

Вступ. Завдяки простоті конструкції та відносній надійності роботи, асинхронний двигун (АД) є наймасовішим перетворювачем електричної енергії у механічну, і основним елементом більшої кількості виконавчих механізмів як у промисловості, так і у народному господарстві [1–3]. Одним з найвагоміших таких факторів є виникнення або розвиток пошкоджень або неякісностей АД, що призводять до зміни характеристик під час роботи. Це, в свою чергу, призводить до неефективності систем керування налаштованих стандартними методами з використанням закону ПІД регулювання. Таким чином, на даний момент існує актуальна задача розробки методів керування асинхронним електроприводом, що містить двигун з наявними дефектами або неякісностями.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є оцінка системи керування з використанням штучних нейронних мереж для керування асинхронним електроприводом з можливістю компенсування впливу пошкоджень або неякісностей двигуна.

На основі структури та алгоритму функціонування ПІД нейроконтролера було запропоновано модель системи автоматичного керування (САК) асинхронним електроприводом, структурна схема якої зображена на рис. 1. Дана модель також використовує синтезовані математичні моделі АД з обривами стрижнів ротора та витковими замиканнями у обмотці статора. Дана модель заснована на принципі використання ПІД закону керування, та доповнена штучною НМ. Використання штучної

НМ забезпечує кількісні та якісні показники керування. Оскільки штучна НМ може функціонувати в умовах істотних нелінійностей, та має здатність до узагальнення даних, САК засновану на її використанні можна назвати адаптивною та робастною.

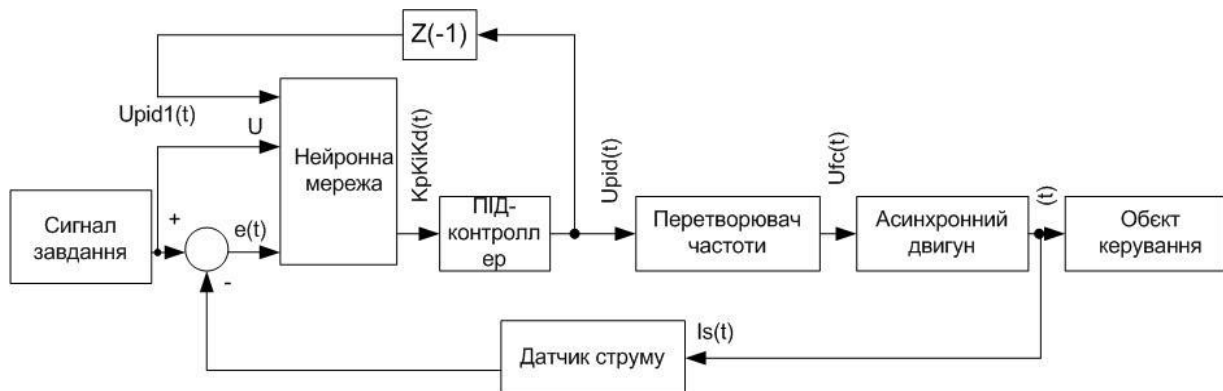


Рисунок 1- Структурна схема адаптивної САК для керування електроприводом

Нейронна мережа отримує на свій вхід три вхідні сигнали: – сигнал розузгодження від сенсора струму $e(t)$; – значення уставки U ; – керуючий сигнал від ПІД контролера UPID -1 з затримкою у часі (затримка у часі необхідна для запобігання утворення алгебраїчної петлі). На основі отриманих даних нейронна мережа (НМ) генерує коефіцієнти для ПІД регулятора, який в свою чергу керує роботою перетворювача частоти.

Для реалізації проектного регулятора була обрана мережа прямого поширення (feedforward) типу багатшаровий персептрон з трьома шарами: два прихованих та один вихідний. Розмір першого прихованого шару 50 нейронів, другого 75, функцією активації обох шарів була обрана – гіперболічний тангенс. Структура нейронної мережі зображена на рис. 2, перший вхідний шар розміром у 3 нейрона не було взято до уваги оскільки він виконує функцію розподілення інформації до першого прихованого шару. Структура вихідного шару зображена на рис. 3. Параметри структури нейронної мережі обиралися емпірично. Оскільки методології щодо створення НМ не існує, розробник обирає параметри відповідно до задачі та отриманих результатів в процесі навчання.

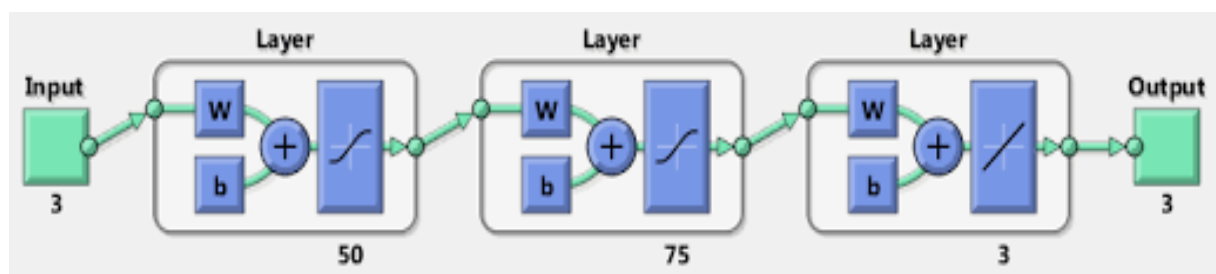


Рисунок 2 - Структура нейронної мережі яку покладено в основу САК

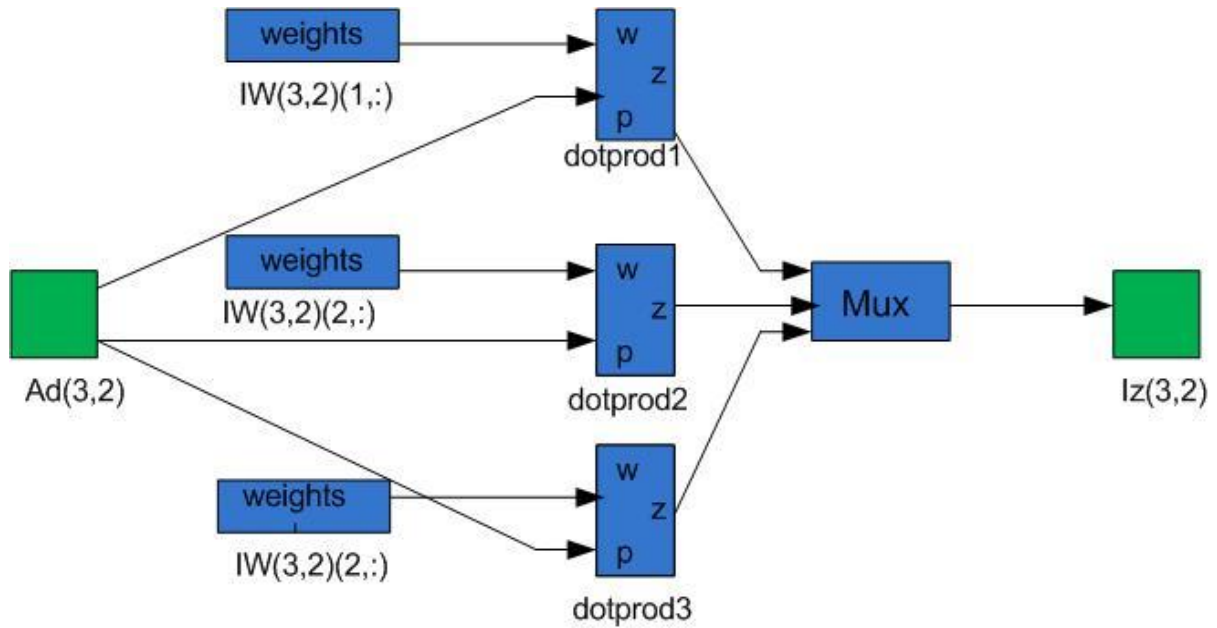


Рисунок 3 - Структура вихідного шару нейронної мережі

Навчання НМ виконувалося за 2500 циклів, умова зупинки за відхиленням від еталону – 0.001. В якості опції оцінки функціонування мережі (помилка мережі) була використана середньоквадратична помилка (MSE). На рис. 4 зображено процес зміни помилки мережі в процесі навчання. Помилка навчання є показником точності налаштування моделі НМ на навчальній вибірці, може використовуватися в якості умови зупинки навчання.

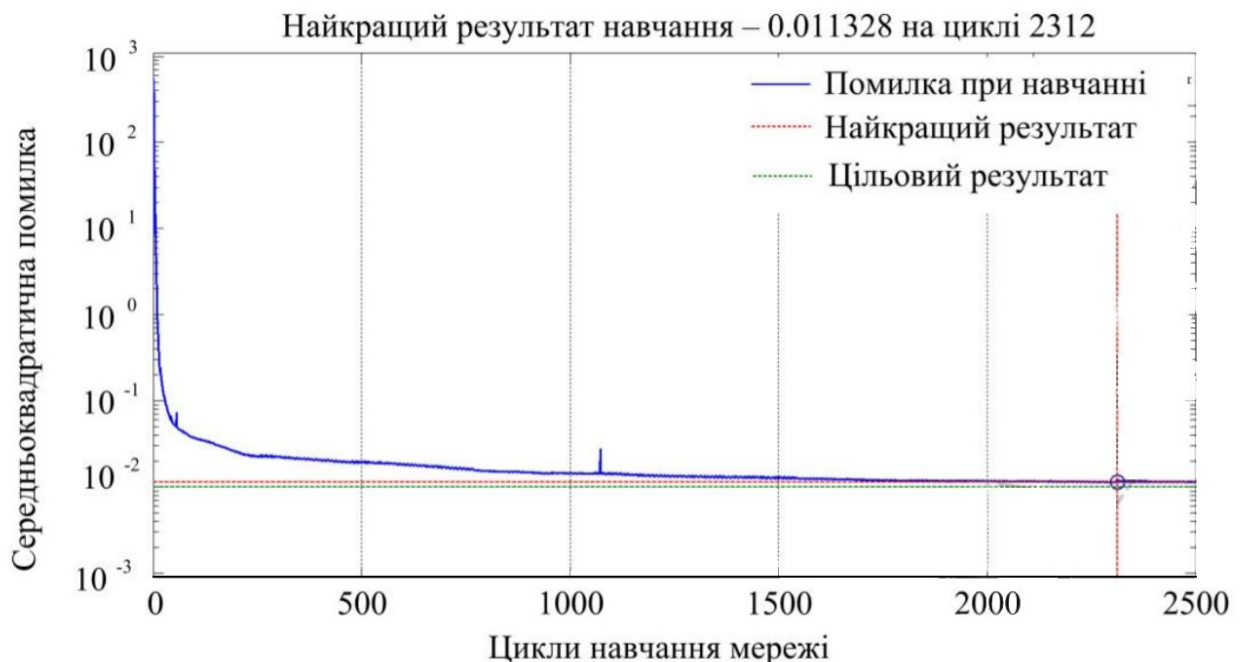


Рисунок 4 – Графік процесу зміни помилки мережі в процесі навчання

В результаті навчання отримано значення вагових коефіцієнтів вихідного шару нейронних мереж. Вагові коефіцієнти можна вважати кінцевим результатом створення та навчання мережі, оскільки головним чином за рахунок них формується вихідний сигнал. Вагові коефіцієнти можна вважати свого роду пам'яттю нейронної мережі.

На основі отриманих в результаті навчання параметрів НМ було синтезовано математичну модель нейро-ПІД системи керування АД, що має дефекти або неякості (рис. 5).

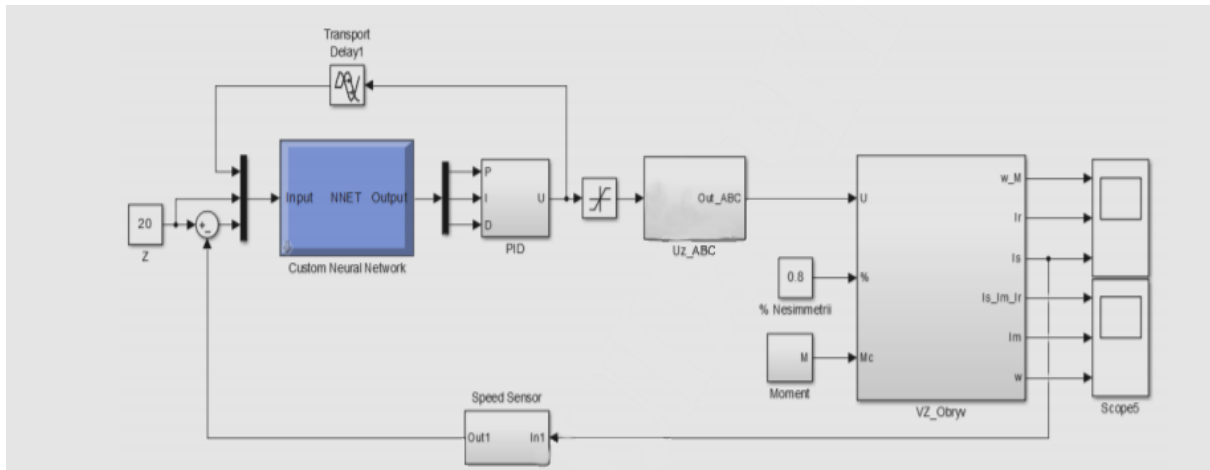


Рисунок 5 – Структурна схема моделі системи керування АД з ПІД нейрорегулятором

Для дослідження було обрано роботу АД з витковими замиканнями у обмотках статора, роботу АД з обірваними стрижнями ротора, та роботу АД за наявності одночасно обох перелічених пошкоджень. Проаналізуємо отримані результати моделювання, проведеного для випадку наявності одночасно обриву одного стрижня ротора та виткових замикань 2,52 % витків обмотки фази С. При використанні ПІД нейрорегулятора значно знижується амплітуда змінної складової сигналів швидкості та моменту. При цьому середнє значення швидкості для випадку використання регулятора відповідає заданому в режимі неробочого ходу (0–1,5 с). Сигнал швидкості містить відносно незначну змінну складову в режимі роботи з навантаженням (1,5–3 с). В той же час для випадку роботи системи без регулятора середнє значення швидкості менше за бажане майже вдвічі. Це спостерігається при роботі як в режимі неробочого ходу, так і при роботі з навантаженням (рис. 6).

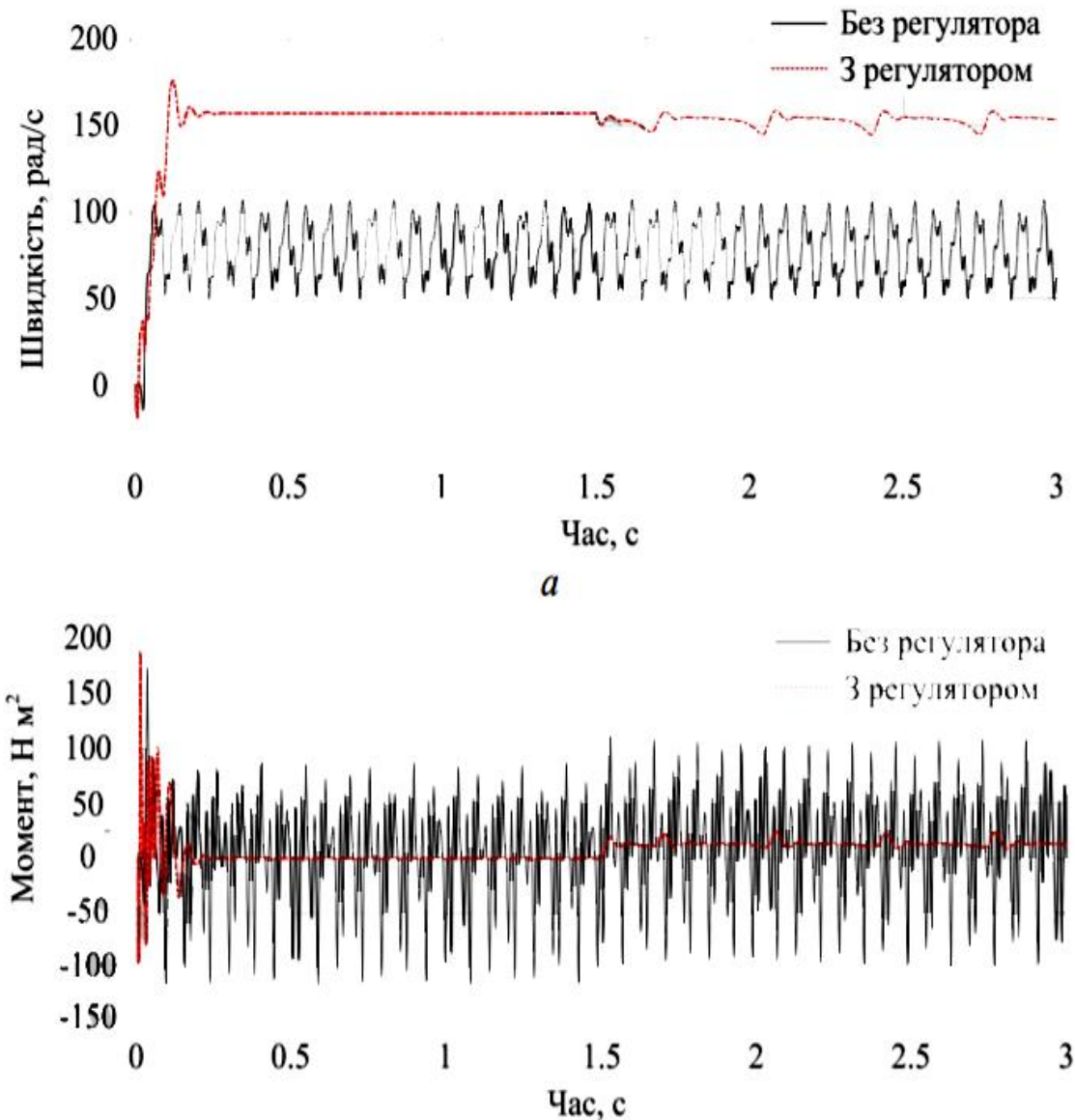


Рисунок 6 - Часові діаграми системи керування з та без ПДД нейрорегулятора
а – сигнал швидкості; б – сигнал моменту

Також, спектри струму та потужностей фаз, і спектр сумарної потужності трьох фаз містять значно меншу кількість неосновних гармонік порівняно з відповідними спектрами роботи без регулятора. Це свідчить про менше споживання енергії з мережі, яка не йде на виконання корисної роботи, а, отже, і про підвищення енергоефективності роботи системи електропривода (рис. 7).

Отже, проведені дослідження на математичних моделях показали ефективність використання розробленого адаптивного ПДД нейрорегулятора для компенсації впливу дефектів і неякостей АД на енергоспоживання системи електропривода.

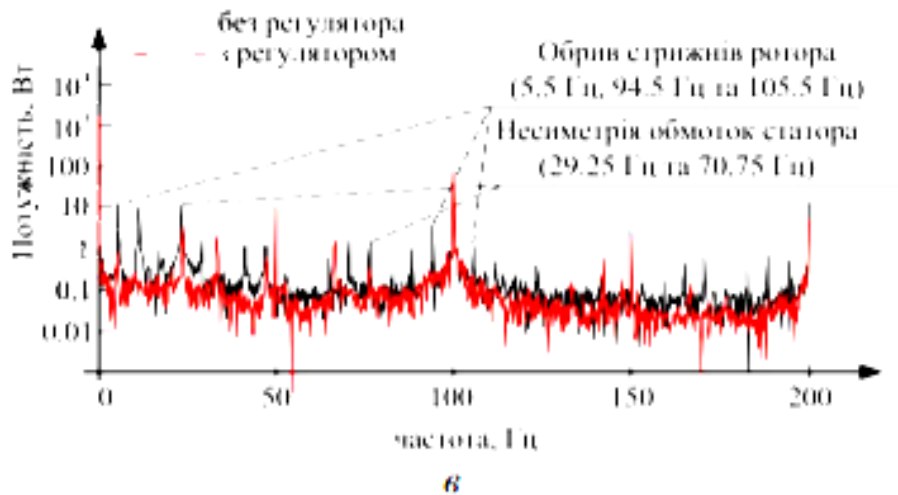
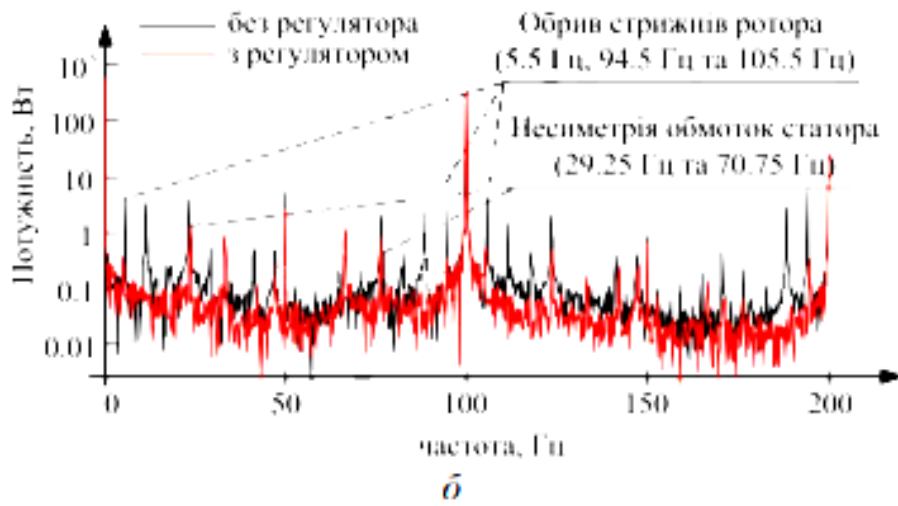
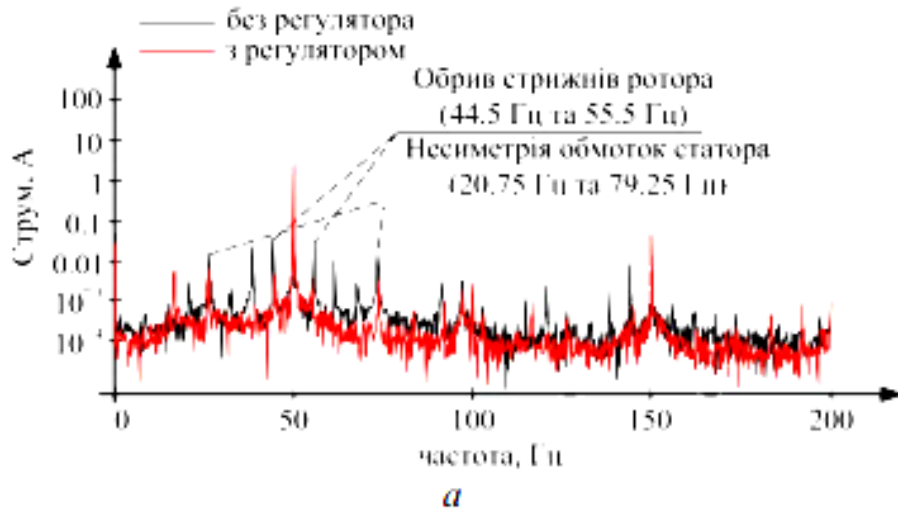


Рисунок 7 - Спектральний склад струму та потужностей системи керування АД з дефектами при роботі з та без регулятора: а – спектр струму фази А; б – спектр Т потужності фази А; в – спектр сумарної потужності трьох фаз.

Висновки.

На основі проведеного аналізу для реалізації адаптивного управління електроприводом, що містить АД з пошкодженнями, було обрано ПД нейрорегулятор на основі НМ типу багатошаровий перцептрон, що дозволяє покращити реакцію регулятора навіть на збурення, яким перцептрон не навчався.

За допомогою математичного моделювання доведено ефективність запропонованих рішень, що дозволяють підтримувати задані параметри об'єкта керування у разі виникнення і розвитку пошкоджень і дефектів АД, та дозволяють знизити кількість і амплітуду змінних складових характеристик об'єкта керування, що свідчить про підвищення енергоефективності системи в цілому.

Література.

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. М.: Гардарики, 2001. 638 с.
2. Паламар М. І. Керування слідкуючими антенами із невизначеними динамічними параметрами для супроводу низькоорбітальних космічних апаратів // Автоматика, вимірювання та керування. Вісник ДУ "Львівська політехніка". 2006. № 401. С. 32–38. URL: http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/11748/1/8_keruvannya.pdf

УДК 629.7.03

Майстренко Л.Ю.
Каф. АУЕК

**ЗАХИСТ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ПРИ ПІДВИЩЕНИХ РІВНЯХ ВІБРАЦІЇ
ASYNCHRONOUS MOTOR PROTECTION AT HIGHER VIBRATION LEVELS**

У статті представлено дослідження вібрації асинхронних двигунів при підвищених рівнях. Показано застосування дискретного перетворення Фур'є. Розглянуто математичне визначення коливальної дії обмоток статора.

Ключові слова : вібрація, асинхронний двигун, захист

The article presents the study of vibration of asynchronous motors at elevated levels. The application of discrete Fourier transform is shown. The mathematical you-value of oscillatory action of stator windings is considered.

Keywords: vibration, asynchronous motor, protection

Вступ. Численні публікації і конструкторські розробки показують, що вдалося вирішити ряд завдань по створенню маловіброактивного електрообладнання, що працює переважно в стаціонарних режимах, тобто при незмінних швидкісних і навантажувальних умовах. Розробка електричних машин з обмеженими вібраціями, які працюють в динамічних режимах, їх віброконтроль є новими аспектами у вітчизняному електро-машинобудуванні.

Мета та завдання. Метою роботи є обґрунтування варіантів захисту асинхронних двигунів (АД) при підвищених рівнях вібрацій.

Матеріал і результати досліджень.

Підвищена вібрація різко знижує надійність електродвигуна і перш за все небезпечна для його підшипників. Під впливом поштовхних, ударних навантажень від вібруючого ротора в підшипниках ковзання може порушитися масляна плівка. У деяких випадках з'являються тріщини і відколи. У підшипниках кочення швидко розвиваються втомні явища металу, з'являються тріщини, вибоїни на робочих поверхнях кочення, розриваються сепаратори. Від впливу вібрації може також наступити вигин або злам валу, бочка ротора - відірватися від вала, з'явиться тріщина в станині статора або в торцевій кришці, пошкодитися опорна рама і фундамент. Підвищується і прискорюється знос ізоляції обмоток електродвигуна. Тому захист асинхронних двигунів від вібрації дуже важливий у використанні електричних машин.

Працездатність асинхронних електродвигунів контролюють за певними показниками, які класифікують таким чином:

- електричні величини, вимірювані безпосередньо;
- електричні величини, що вимагають для свого вимірювання додаткового перетворення;
- електричні величини, вимірювані непрямим шляхом;
- неелектричні величини, що вимагають для вимірювання первинного перетворення;
- показники, оцінка яких проводиться візуально.

За інформативністю показники поділяють на такі дві групи:

- узагальнені показники, що характеризують стан декількох елементів або всього електродвигуна;

- локальні показники, що характеризують стан одного елемента електродвигуна.

До узагальнених показників відносять вібраційні і акустичні параметри електродвигуна, характеристики його магнітного і температурного поля, споживані двигуном з мережі потужність, струм, напруга, а також ковзання, струм або напруга нульової послідовності і інші показники.

Для контролю працездатності АД використовують методи, засновані на порівнянні його поточного стану з еталонними або граничними значеннями.

В якості прикладу наведемо деякі послідовності розвитку пошкоджень, що призводять до відмови асинхронного двигуна:

1) пошкодження підшипника (знос тіл кочення, вироблення мастила) → збільшення сили тертя в підшипнику → збільшення моменту опору на валу → збільшення сили струму в обмотці статора → перегрівання обмотки статора, а також посилення вібрації електродвигуна → прискорення зносу обмотки статора → пошкодження обмотки статора → відмова електродвигуна;

2) пошкодження обмотки ротора (обрив стержня, розрив кільця) → збільшення нагріву обмотки ротора → перегрівання обмотки статора, а також посилення вібрації електродвигуна → прискорення зносу обмотки статора → пошкодження обмотки статора → відмова електродвигуна;

3) пошкодження магнітопроводу статора (порушення міжлистової ізоляції) → збільшення нагріву магнітопроводу → перегрівання обмотки статора, а також посилення вібрації електродвигуна → прискорення зносу обмотки статора → пошкодження обмотки статора → відмова електродвигуна.

Метод спектрального аналізу дозволяє визначити амплітуди і частоти коливань, що входять до складу сигналу. Метою його, крім отримання безпосередньої інформації, наприклад, визначення частот основних гармонік, виявлення окремих ділянок спектра найбільшої інтенсивності також порівняння між собою спектрів різних процесів. При детальному аналізі виявляються елементарні частотні складові сигналу, а при загальному - роль окремих частотних ділянок в спектрі сигналу. За допомогою приладів для аналізу виявляють в досліджуваному сигналі наявність частотних ділянок з шириною смуги, яка визначається поставленим завданням. Математичною основою спектрального аналізу є перетворення Фур'є.

В АД, як і в будь-яких пристроях з неізолюваними енергетичними перетвореннями, статор є джерелом силових збурень по відношенню до конструкції машини. Оскільки механічна система є пружною і зафіксована в декількох точках, то збурення і реакція на них проявляються у вигляді коливального руху. У багатьох випадках промислового використання АД цей факт виявляється важливим. Доцільно оцінити амплітуди і частоти складових силового обурення, що вноситься статором АД в механічну систему робочої машини. При аналізі причин відмов згідно зі статистичними даними по деяких країнах видно, що вплив аварійних режимів роботи на надійність електродвигунів залишається все ще значним. Великий відсоток виходу АД з ладу через зношування підшипників і механічних вузлів передбачає запобігання аварій АД шляхом контролю механічних вузлів. Це може бути реалізовано шляхом введення додаткового каналу вимірювання амплітуди вібрацій вузлів АД і аналізу отриманої інформації для прийняття рішення про відключення або видачу попереджувального сигналу пристроєм захисту.

Основними параметрами виміру вібрації є - віброприскорення, віброшвидкість, вібропереміщення. Для визначення й оцінки рівнів вібрації й визначення можливих несправностей устаткування можуть бути проведені виміри спектрів швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) віброшвидкості, що обгинає віброприскорення й розрахунок характеристичних частот дефектів підшипників і механічних вузлів.

Для аналізу обмірюваних спектрів можуть бути побудовані графіки розкладання загального рівня вібрації на частотні складові за допомогою ШПФ. По осі X такого графіка відкладається частота (Гц), по осі Y – амплітуда. Амплітуда вимірюється в одиницях вібропереміщення (мм), віброшвидкості (мм/сек), віброприскорення (g), $g = 9,807 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$. Значення величини амплітуди вібрації відповідає певній частоті на спектрі й визначає ступінь розвитку дефекту. На рис. 1 показано застосування дискретного перетворення Фур'є.

Швидке перетворення Фур'є (ШПФ) - це простий алгоритм для ефективного обчислення дискретного перетворення Фур'є (ДПФ). Для подання сигналу у вигляді суми синусоїд, він повинен бути періодичним.



Рисунок 1 – Структура застосування дискретного перетворення Фур'є

Як набір вхідних даних для ДПФ доступно тільки кінцеве число відліків (N). Основне рівняння для одержання N – крапкового ДПФ виглядає в такий спосіб:

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi nk / N} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) [\cos(2\pi nk / N) - j \sin(2\pi nk / N)]$$

$X(k)$ - частотний вихід ДПФ k-тої крапці спектра, де k перебуває в діапазоні від 0 до N-1. N являє собою число відліків при обчисленні ДПФ.

$X(n)$ являє собою n-ий відлік у часовій області, де n перебуває в діапазоні від 0 до N-1.

У загальному рівнянні $x(n)$ може бути речовим або комплексним. Косинусоїдальні й синусоїдальні компоненти в рівнянні можуть бути виражені в полярних або прямокутних координатах, зв'язок між якими визначається формулою Ейлера

$$e^{j\theta} = \cos\theta + j\sin\theta$$

Вихідний спектр ДПФ $X(k)$ є результатом обчислення згортки між вибіркою, що складається із вхідних відліків у тимчасовій області з набором N пар гармонійних базисних функцій (косинус і синус). На рис. 2 представлена речова частина перших чотирьох точок спектра, косинусоїдальної гармонійної базисної функції.

Часова область

Базисні функції

Частотна область

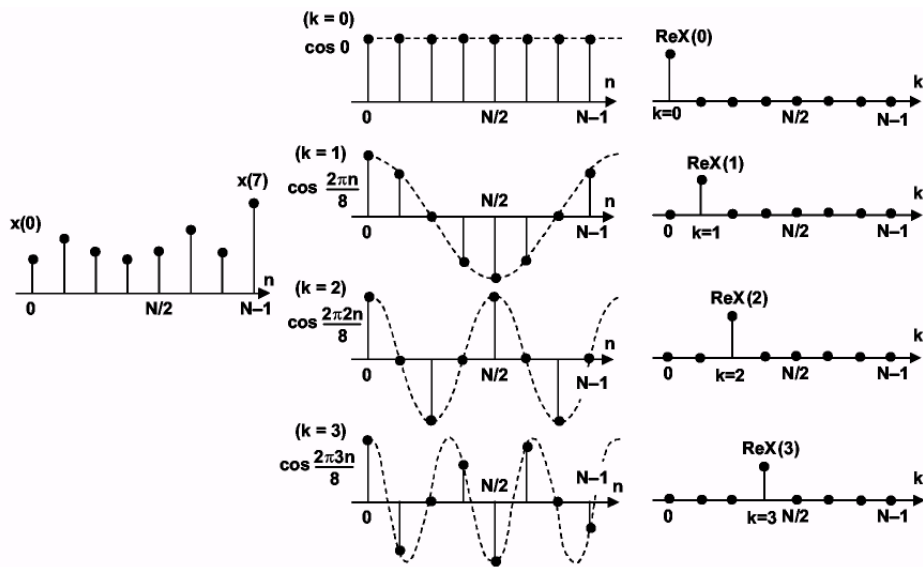


Рисунок 2 - Графіки спектра сигналів при дискретному перетворенні Фур'є

Розглядаючи питання про теоретичний аналіз вібраційного стану і стану напруги обмоток можна виділити два основних моменти. По-перше, теоретичний аналіз електродинамічних впливів, по-друге, поведінка механічно складної конструкції, якою є лобова частина обмотки статора. При розрахунку електродинамічних зусиль загальний підхід полягає в розгляді полів розсіювання в торцевій зоні статора генератора. Інший підхід має на меті лише отримання електродинамічних зусиль, тут лобові частини представляються системою прямолінійних відрізків, при чому магнітна індукція для кожного з відрізків розраховується від струмів інших.

У разі монолітної лобової дуги необхідно розглянути просторовий стрижень, який має точкові і безперервно пружні закріплення. Таке безперервне закріплення характеризується розподілом чотирьох коефіцієнтів погонної жорсткості (пружне середовище). Дія пружного середовища на лобову дугу пропорційна зміщенню останньої. В такому випадку рівняння, яке описує коливання прямої ділянки буде мати вигляд

$$\begin{aligned} \frac{dw}{dx} &= \frac{qw}{E \cdot F}, & \frac{dq_w}{dx} &= -(m\omega^2 - C_w)w, & \frac{d\varphi_w}{dx} &= \frac{M_w}{C_w}, \\ \frac{dM_w}{dx} &= -(\alpha\omega^2 - C_\varphi)\varphi_w, & \frac{dt}{dx} &= \varphi_t, & \frac{d\varphi_t}{dx} &= \frac{M_t}{E \cdot J_t} \\ \frac{dM_t}{dx} &= -q_t, & \frac{dq_t}{dx} &= -(m\omega^2 - C_t)t - \varphi_t \\ \frac{dz}{dx} &= \varphi_z, & \frac{d\varphi_z}{dx} &= \frac{M_z}{dx}, & \frac{dM_z}{dx} &= -q_z, & \frac{dq_z}{dx} &= -(m\omega^2 - C_z)z - \varphi_z \end{aligned}$$

де C_w, C_φ, C_t, C_z - коефіцієнти погонної жорсткості

Значний інтерес представляє питання про інерційний вплив коливань сердечника статора на вібрації лобових частин обмотки.

Стан закріплення лобової частини обмотки характеризується рівнем вібрації $2A$ і стабільністю її в часі. Якісна оцінка вібраційного стану може бути представлена наступним виразом

$$2A = \frac{F}{C} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right]^2 + \gamma^2}}$$

де F – амплітуда вимушених коливань; C – еквівалентна жорсткість системи; ω – частота вимушених коливань; ω_0 – частота власних коливань системи; γ – коефіцієнт демпфування.

Висновки. Використання в пристроях захисту додаткового каналу вимірювання амплітуди вібрації електродвигуна дозволяє своєчасно виявити відхилення режимів роботи його механічних вузлів і усунути несправності, що забезпечує підвищення надійності АД і збільшення терміну до капітального ремонту. Визначення граничних значень амплітуд вібрації для пристрою захисту проводиться відповідно до вимог ГОСТ 10816-1-97.

Джерела інформації

1. Richard J. Higgins, DigitalSignalProcessingin VLSI, Prentice-Hall, 1990.
2. ADSP-21000 FamilyApplicationHandbook, Vol. 1, AnalogDevices, Free Downloadat: <http://www.analog.com>
3. Вольдек А.І., Данилевич Я.Б., Косачівської В.І., Яковлев В.І. Електромагнітні процеси в торцевих частинах електричних машин. - Л : Енергоіздат, 1983.
4. <http://www.skf.ru>, <http://www.zetms.ru>
5. Келім Ю.М. Електромеханічні і магнітні елементи систем автоматики. - М .: Вища школа, 1991.
6. Зварич В.М., Марченко Б.Г., Проценко Л.Д. Аналіз вібрації і виявлення несправностей електричних машин // Известия АН СРСР. Енергетика і транспорт. - 1985. - № 4. - С.29 - 35.
7. Гемке Р.Г. Несправності електричних машин / Під ред. Р. Б. Уманцева. - Л .: Вища школа, 1989. – 336 с.

Науковий керівник ст. викл. Дубовик В.Г.

УДК 621.313

Повар Я.Ю.
Каф. АУЕК

**ОСНОВНІ АСПЕКТИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ
ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК**

MAJOR ASPECTS OF EFFICIENCY IN USE WIND POWER PLANTS

У статті розглянуті основні складові впливу на ефективність роботи вітроенергетичних установок

Ключові слова: ефективність, вітроенергетичні установки

The main components of influence on efficiency of work of wind power installations are considered in the article

Keywords: efficiency, wind power installations

Використання енергії поновлюваних джерел на даний час є одним з пріоритетних напрямків розвитку світової енергетики. Основною перевагою відтворюваних джерел енергії є їх невичерпність та екологічна чистота, відсутність викидів у атмосферу оксидів азоту, сірки та інших речовин, які створюють парниковий ефект і негативно впливають на людей, флору і фауну. Вітроенергетика – це шлях зменшення техногенного впливу на навколишнє середовище [1].

Основними економічними показниками об'єктів вітроенергетики є питома вартість (грн / кВт) одиниці встановленої потужності і вартість електроенергії (грн/кВт · год), виробленої вітроенергетичними установками (ВЕУ). Останнім часом в оцінці капітальних витрат використовується також показник – питома вартість ВЕУ на одиницю захопленої поверхні вітроколеса. Капітальні витрати включають в себе вартість обладнання, витрати на його транспортування, будівельні роботи, роботи та обладнання для приєднання до мереж споживача, плату за землю. Вартість електроенергії, виробленої ВЕУ, залежить перш за все від її обсягу, який у свою чергу визначається значенням середньорічної швидкості вітру і тривалістю періоду експлуатації вітроустановки, а також від витрат на обслуговування і експлуатацію, значень обов'язкових відрахувань [2].

Питомі капітальні витрати і собівартість виробництва електроенергії на ВЕУ внаслідок їх послідовного технологічного вдосконалення за останні роки істотно знизилися. За 20 років питома вартість будівництва ВЕУ зменшилася в 4-5 разів. На рис. 1 наведено залежності вартості енергії і капітальних вкладень ВЕУ для $V_2 = 5,4$ і 8 м/с.

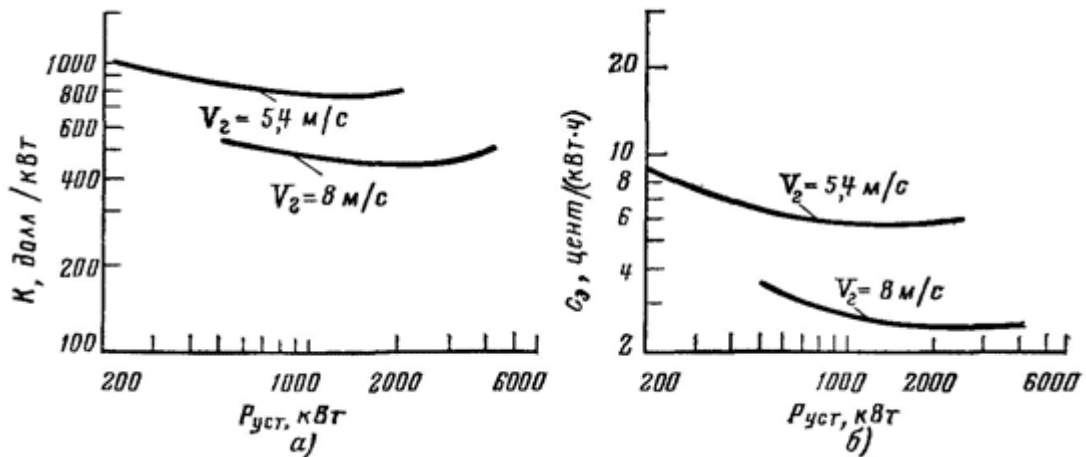


Рисунок 1 - Залежність питомих капітальних вкладень K (а) і вартості енергії C_e (б) від встановленої потужності ВЕУ при середньорічних швидкостях вітру $V_T = 5,4$ і $8,0 \text{ м/с}$.

Вартість електроенергії, одержуваної від ВЕУ, є узагальнюючим економічним показником. Економічний потенціал залежить від існуючих економічних умов, вартості, наявності та якості запасів паливно-енергетичних ресурсів, а також регіональних особливостей. Зазначений потенціал змінюється в часі і має спеціально оцінюватися в ході підготовки і реалізації конкретних програм і проектів з розвитку відновлювальних джерел енергії.

Напрямок використання ВЕУ в енергосистемі визначається за оцінкою допустимої вартості вітроенергетичних систем для трьох напрямків їх використання.

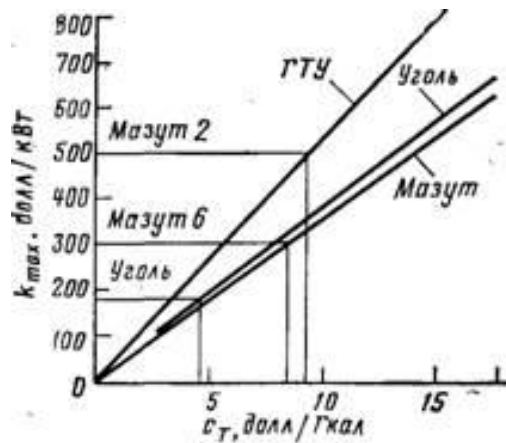


Рисунок 2 - Залежність максимально допустимих питомих капітальних вкладень K_{max} для ВЕУ від вартості і виду заміщення палива S_T .

Використання вітроенергетичних систем як засобу економії палива розглядається в якості головного напрямку їх застосування. При цьому ВЕУ підключаються в мережу

в періоди, коли є вітер, в результаті чого потужність, що видається енергоустановками, які спалюють паливо, може бути знижена. Допустима вартість ВЕУ обчислена як функція вартості зекономленого палива (рис. 2). Застосування ВЕУ потужністю 1500 кВт при прямих капітальних вкладеннях приблизно 480 \$ / кВт може розглядатися як більш ефективне, ніж застосування ГТУ, що спалює відносно дорогий мазут марки 2, але менш ефективний, ніж використання енергоустановок, що спалюють вугілля або мазут марки 6. Для ефективності ВЕС в останньому випадку їх капітальні вкладення повинні бути знижені відповідно до 180 і 300 \$ / кВт [3].

На ВЕУ впливає вітровий потік, що володіє певною кінетичною енергією, при цьому частина її передається на вітроколесо. Потужність вітрового потоку

$$P_0 = 0,5S \rho V^3$$

где S - площа поперечного перерізу вітрового потоку, м²;

ρ - щільність повітря, в звичайних умовах 1,225 кг/м³;

V - швидкість вітру, м/с.

Потужність вітрового потоку, передана вітроколеса

$$P = C_p P_0$$

Коефіцієнт використання вітроколеса C_p виражає частину енергії вітру, що перетворюється в механічну енергію від вітрогенератора, в залежності від конструктивного його виконання. При оцінці сумарної потужності вітрового потоку за тривалий проміжок часу, наприклад, за рік, можна безпосередньо користуватися середніми значеннями швидкості вітру за той само період часу, оскільки істотне значення має фактичний розподіл швидкостей вітру в порівнянні з їх середньою величиною. Згідно з аналізом числених даних метеорологічних спостережень фактичний розподіл швидкостей вітру може бути описано з використанням розподілів Релея або Вейбула, потужність вітрового потоку залежить від кубу швидкості вітру. Для практичних розрахунків за відомої середньорічної швидкості вітру V_{cp} можна використовувати формулу, в якій враховано підвищувальний коефіцієнт

$$P_0 = 1,17S v - V_{cp}^3$$

Сучасні ВЕУ можуть використовувати лише частину вітрової енергії, відповідно до критерію Бетца, $k = 0,593$. Крім цього, треба враховувати і конструктивне виконання ВЕУ, що позначається, наприклад, на величині стартової швидкості вітру, зазвичай 3–4 м/с, при якій вітроколесо починає обертатися, і відповідно ВЕУ починає виробляти електроенергію. Тому в формулу для розрахунку середньої потужності, що розвивається, вводиться понижувальний коефіцієнт, за допомогою якого враховуються головні чинники, що визначають фактичну потужність ВЕУ. У загальному випадку для розрахунку потужності ВЕУ з урахуванням місця підключення установки до енергомережі ізольованого споживача можна скористатися формулою

$$P_{BEU} = C_p^{BEU} \cdot P_0 = P_0 \cdot C_p \cdot \eta_g \cdot \eta_p \cdot \eta_a \cdot \eta_i \cdot \eta_k,$$

де η_g - ККД генератора;

η_p - ККД редуктора;

η_a - ККД акумуляторної батареї;
 η_i - ККД інвертора;
 η_k - коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в кабелі підключення до мережі.

На механічну вихідну потужність вітроколеса P_0 впливає співвідношення швидкості обертання валу турбіни і швидкості вітру. На рис. 3 представлено сімейство кривих залежностей механічної потужності P_0 від кутової швидкості при різних швидкостях вітру. Як видно з цього рисунку, криві потужності мають різну максимальну потужність, або оптимальну потужність P_{opt} , що може бути розрахована наступним чином:

$$T_{opt} = k\omega_{r-opt}^2,$$

$$k = 2,10 \cdot 10^{-3} \rho R_r^5.$$

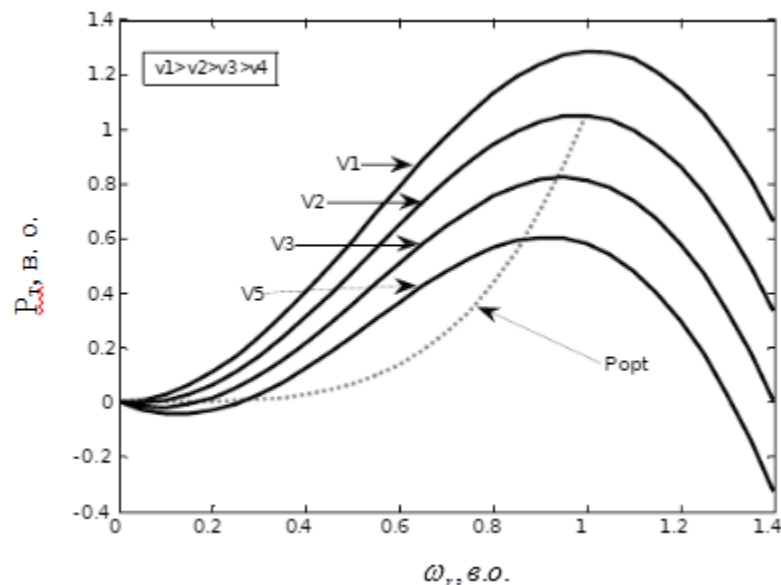


Рисунок 3 - Криві вихідної механічної потужності вітроколеса для різних швидкостей вітру

Аналіз статичної характеристики (рис. 3) показує, що робота ВЕУ при швидкостях вітрового потоку менших 2 м/с малоефективна, оскільки генерується відносно мала потужність сумірна з механічними втратами. Електроенергія ВЕУ потужністю до 10 кВт затребувана в переважній більшості населених пунктів протягом доби, при потужностях 50, 100 кВт необхідно досліджувати питання доцільності акумуляції електричної енергії, оскільки в певні години виробляється електрична енергія, яка не затребувана.

Найбільший вплив на вироблення електричної енергії спричиняють швидкості вітру (7-13) м/с. Вироблення електроенергії на швидкостях (3-4) м/с практично несуттєве. Вимога для ВЕУ – мати якомога меншу стартову швидкість –

фактично не впливає на економічну ефективність. Значну технічну ефективність мають ВЕУ малої потужності, оскільки на 1 кВт встановленої потужності вони виробляють більше електричної енергії. Однак економічно вигідніші ВЕУ великої потужності. Вибір кількості та одиничної потужності ВЕУ для використання в пунктах з високим економічним вітропотенціалом вимагає додаткового техніко-економічного аналізу [4].

Для порівняльної оцінки технічних рішень вироблені критерії, що характеризують енергетичну ефективність конструкції і режим роботи: коефіцієнт використання енергії вітру і швидкохідність. Коефіцієнт використання енергії вітру – це відношення механічної потужності, що розвивається вітродвигуном, до механічної потужності повітряного потоку, що протікає через простір по робочих поверхнях крила. У міжнародній вітроенергетиці прийнято позначати коефіцієнт використання енергії вітру CP і називати «Сі Пі фактором». Теоретично доведено, що для ідеального вітродвигуна, в якому не враховуються жодні втрати, величина CP не може бути більше 0,593. ($CP=0,593$) – ліміт Бетца – і за визначенням є величиною безрозмірною. Швидкохідність вітродвигуна – це відношення лінійної швидкості на максимальному радіусі ротора і його частоти обертання до швидкості вітру, прийнято позначати символом U . Вважається, що вітродвигун тихохідний, якщо $U < 2$, швидкохідний, якщо $U > 4$.

Досягнуті до теперішнього часу фактичні коефіцієнти використання енергії вітру у горизонтально-пропелерних вітроагрегатів та вертикально-осьових вітроустановок також однакові і лежать в межах 0,4 - 0,45.

З досвіду експлуатації зарубіжних ВЕУ, до 13% відмов припадає на системи орієнтації. Крім цього, при постійних змінах напрямку вітру практично неможливо ефективно орієнтувати вітроколесо через запізнювання дії механізмів орієнтації.

Системи повороту гондоли для орієнтації на вітер і повороту лопатей вимагають відповідних приводів, тобто при роботі горизонтально-пропелерні вітроагрегати постійно споживають певну кількість енергії на власні потреби, що в кінцевому підсумку зменшує річну видачу ВЕУ електроенергії.

Горизонтально-пропелерні вітроагрегати поступаються вертикально-осьовим за такими характеристиками:

- необхідність орієнтації вітроколеса на вітер знижує ефективність вітроагрегата;
- робота з постійною швидкістю обертання вітроколеса забезпечує максимальну вихідну енергію лише у вузькому діапазоні робочих швидкостей вітру;
- розміщення генератора і мультиплікатора в гондолі на верхньому торці опорної вежі ускладнює вимоги до їх масогабаритних показників, також ускладнює умови експлуатації конструкцій за рахунок виникнення додаткових вібрацій, поштовхів;
- застосування механізму повороту лопатей для регулювання швидкості обертання вітроколеса ускладнює конструкцію, а застосування в автономних вітроагрегатах інерційних регуляторів зменшує точність регулювання;

- підвищена швидкохідність вітроколеса підвищує вимоги до його динамічної стійкості, балансування, міцності і надійності, призводить до підвищеного рівня аеродинамічних і механічних шумів;

Енергія W , що виробляється ВЕУ

$$W = \sum_{i=1}^N P(V_i)T_i$$

де $P(V_i)$ – електрична потужність ВЕУ, що відповідає швидкості вітру V_i на i -му інтервалі, кВт; T_i – тривалість інтервалу вимірювання, год.

V_i – швидкість вітру на висоті H_i ротора ВЕУ, м/с,

$$V_i = V_{\text{вим}} (H_i/H_{\text{вим}})^m$$

$V_{\text{вим}}$ – швидкість вітру на висоті вимірювання $H_{\text{вим}}$, м/с, m – статичний коефіцієнт, що залежить від сезону і швидкості вітру, приймається 0,2 [5].

Значення $P(V_i)$ для кожної години вимірювання визначаються по характеристиці потужності ВЕУ.

Економічну ефективність використання ВЕУ можна оцінити чистим дисконтованим доходом (ЧДД) за формулою

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^T (E_t^{\text{ПММ}} - B_t) \cdot (1+r)^{-t} - K,$$

де T – розрахунковий період (11-15 років); $E_t^{\text{ПММ}}$ – економія паливно-мастильних матеріалів (ПММ) за рік t , тис. грн; B_t – витрати, пов'язані з експлуатацією ВЕУ, за рік t , тис. грн; r – норма дисконта прийнята $r = 0,1$; K – капітальні вкладення в ВЕУ, тис. грн.

$$E_t^{\text{ПММ}} = \Delta B_t^{\text{нал}} \cdot C_t^{\text{нал}} + \Delta B_t^{\text{м}} \cdot C_t^{\text{м}},$$

де $\Delta B_t^{\text{нал}}$ – заощаджене дизельне паливо в рік t , тон; $C_t^{\text{нал}}$ – ціна дизельного палива в рік t , тис. грн /тона; $\Delta B_t^{\text{м}}$ – заощаджене масло в рік t , т; $C_t^{\text{м}}$ – ціна масла в рік t , тис. грн /тона;

Зміна цін за розрахунковий період визначалося за формулою

$$C_t = C_{t_0}(1 + \pi^{\text{ПММ}})^{t-t_0},$$

де C_{t_0} – ціна на перший рік t_0 , тис. грн/тонн; $\pi^{\text{ПММ}}$ – параметр зростання цін на ПММ.

Зростання цін на ПММ прийнятий за результатами аналізу динаміки індексів цін на придбане промисловими організаціями дизельне паливо.

Щорічні експлуатаційні витрати визначаються за формулою

$$B_t = (B_t^{\text{ам}} + B_t^{\text{рем}} + B_t^{\text{ін}}) \cdot (1 + \pi^{\text{інф}})^{t-t_0},$$

де $B_t^{\text{ам}}$ – амортизаційні відрахування, тис. грн; $B_t^{\text{рем}}$ – відрахування на капітальний та поточний ремонт, тис. грн; $B_t^{\text{ін}}$ – інші витрати, тис. грн; $\pi^{\text{інф}}$ – параметр урахування зростання цін, прийнятий таким, що дорівнює рівню інфляції.

Джерела інформації

1. Ветроэнергетика. Руководство по применению ветроустановок малой и средней мощности. ИСЦ. - М, 2001. 62 с.
2. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. - М.: Энергоатомиздат. 1990. 392 с
3. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов. Косов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: НПО Изд-во «Экономика», 2000, 421 с. Изд 2-е.
4. Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смолдык С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов: Теория и практика: Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Дело, 2002. 888 с
5. Кривцов В.С. Олейников А. М., Яковлев А.И. Неисчерпаемая энергия. Книга 1. Ветрогенераторы, -399 с.
6. Безруких П.П. Ветроэнергетика. Справочное и методическое пособие, М.: ИД "Энергия", 2010г. — 315 с.
7. Шефтер Я.И. Использование энергии ветра [текст] / Я.И. Шефтер. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 200 с.
8. Харитонов, В.П. Автономные ветроэлектрические установки [текст] / В. П. Харитонов. - М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. - 280 с.
9. Мхитарян Н.М., Кудря С.О., Яценко Л.В. „Аналіз стану та перспективи розвитку відновлювальної енергетики в світі та в Україні" / Под ред. А.К. Шидловского и др. // Нетрадиционная энергетика в XXI веке. Материалы IV НТК. - Крым. - 2003. - С. 11 - 25.
10. Брылёва В.А., Воробьева Л.Б. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Минск: 1996. - 224 с.
11. Ветроэнергетика в Украине // «ЭСКО» - Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». - 2002. - № 10.
12. Безруких П.П. О стоимостных показателях энергетических установок на базе возобновляемых источников энергии // Энергетическая политика. 2009. № 5. С. 5- 11.

Науковий керівник ст. викл. Дубовик В.Г.

УДК 621.3.078.3

Курчій В.В., магістрант

ТЯГОВИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ШАХТНОГО ЕЛЕКТРОВОЗА З СИСТЕМОЮ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

Розглянута система тягового електроприводу на базі двигуна постійного струму послідовного збудження, з імпульсним регулятором напруги, для акумуляторного електровоза. Запропоновано паралельно акумуляторній батареї підключити суперконденсатор, який надасть можливість накопичувати енергію гальмування і використовувати її в маневрових роботах.

Ключові слова: енергозбереження, тяговий електропривод, суперконденсатор, імпульсне регулювання напруги, система керування

ТЯГОВИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ШАХТНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА С СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Рассмотрена система тягового электропривода на базе двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, с импульсным регулятором напряжения, для аккумуляторного электровоза. Предложено параллельно аккумуляторной батарее подключить суперконденсатор, который позволит накапливать энергию торможения и использовать ее при маневровых работах.

Ключевые слова: энергосбережение, тяговый электропривод, суперконденсатор, импульсное регулирование напряжения, система управления.

TRACTION DRIVE OF MINE ELECTRIC LOCOMOTIVE WITH AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

The system of traction electric drive on the basis of the DC motor of serial excitation by a pulse regulator of voltage for the battery electric locomotive is considered. It is suggested to connect a supercapacitor in parallel with the battery, which will allow to accumulate the braking energy and to use it in shunting works.

Keywords: power saving, traction drive, supercapacitor, pulse voltage control, control system

Актуальність теми. Енергозбереження, точніше раціоналізація виробництва, розподіл і використання всіх видів енергії, стало за останні 10-15 років, разом з інформатизацією і комп'ютеризацією, одним з пріоритетних напрямків технічної політики у всіх розвинутих країнах світу. Вітчизняні рудникові електровози оснащені тяговим електроприводом (ТЕП) з електричними двигунами постійного струму та резисторно-контакторною системою керування. Даний тип ТЕП недостатньо ефективний, неекономічний і потребує прискорених темпів заміни на нові, сучасні види. В цьому плані економічно вигідним бачиться зміна стратегії оснащення шахтного парку електровозів шляхом заміни тягового електроприводу постійного струму на апробований в промисловості та на магістральному транспорті високоефективний ТЕП змінного струму з асинхронними короткозамкнутими тяговими двигунами (ТАД) [1.2.3], або оснащення двигунів постійного струму імпульсними регуляторами напруги (ІРН-Д) [1.2]. На цей час негативним моментом реалізації ефективних ТЕП змінного струму на

рудниковому транспорті є те, що для рудникових акумуляторних електровозів дозволяється застосування лише електрообладнання, яким є ТЕП рудникового виконання. Основним недоліком ТЕП постійного струму є те, що регулювання швидкості електропривода постійного струму здійснюється за допомогою частоті зміни контролером (контакторами) величини опору, за допомогою секцій металічних реостатів, які вмикаються послідовно з двигуном в сполученні з послідовно паралельним переключенням двигунів. Зазначеному способу регулювання притаманні істотні недоліки, основними з яких є:

- значні втрати електроенергії в резисторах, що складають до 20-30% споживаної електроенергії при маневруванні;
- різкі стрибкоподібні зміни сили тяги як результат частого переключення секцій командоапарата (ККА) і переходу з послідовного з'єднання двигунів на паралельний та

буксування однієї колісної пари, що вкрай несприятливо відбивається на силі тяги.

Застосування імпульсного керування докорінно змінює умови роботи ТЕП значно та поліпшує тягово-експлуатаційні якості електровозів. На вітчизняних вугільних шахтах найбільше поширення набули акумуляторні електровози у виконанні РП і РМ, частка яких складає понад 70%, що обумовлено правилами безпеки.

Мета магістерської дисертації. Покращення енергетичних показників систем тягового електропривода на базі двигуна постійного струму з послідовним збудженням та імпульсним регулятором напруги (ІРН)

Задачі магістерської дисертації:

- провести аналіз існуючих сучасних систем тягових електроприводів шахтних електровозів та вибрати енергоефективний;
- дослідити енергетичні показники електроприводу ТЕП шахтного електровоза;
- розробити автоматизовану систему управління тяговим електроприводом на базі двигуна постійного струму з послідовним збудженням та ІРН для акумуляторного електровоза;
- дослідити вплив способів управління на рівень енергоефективності ТЕП.
- провести дослідження статичних та динамічних режимів роботи ТЕП за допомогою віртуальних моделей в середовищі MATLAB.

Об'єктом дослідження є електромеханічні, електромагнітні та енергетичні процеси в системах електропривода шахтного електровоза з двигуном постійного струму та ІРН;

Предметом дослідження є системи автоматизованого електропривода з двигунами постійного струму послідовного збудження та ІРН.

Методи дослідження. В основу досліджень покладені методи теорії оптимального керування для розробки алгоритмів керування ТЕД з ІРН шахтного електровоза, метод математичного моделювання для аналізу систем керування на математичних моделях

На електровозах застосовуються різні системи регулювання швидкості обертання тягових двигунів: реостатні і безреостатні, ступінчасті і плавні безступінчасті. Результати порівняння систем управління наведені в табл.1. З аналізу таблиці 1 випливає, що впровадження тиристорно-транзисторних систем управління дозволить збільшити ефективність роботи тягових електродвигунів не менше, ніж на 30-50%.

Таблиця 1 – Системи керування швидкістю електровоза

| Параметри | Система керування швидкістю двигуна | | | |
|--|-------------------------------------|-------------|--------------------------------|----------------------------|
| | реостатна | ступінчаста | Тиристорно-транзисторна | |
| | | | Двигуни постійного струму зІРН | Двигуни змінного струму |
| Число ступенів регулювання швидкості | До 6-7 | | необмежено | необмежено |
| Число безреостатних ступенів | 2 | 5 | необмежено | необмежено |
| Втрати енергії % | до 30 | до 14 | 8- 10 | 8- 10 |
| Коефіцієнт використання ваги зчеплення K_v | 0,5-0,6 | 0,5-0,6 | 0,95 | 0,95 |
| Вид електричного гальмування | реостатний | реостатний | реостатний, рекуперативний | реостатний, рекуперативний |

Найбільш перспективними для електровозів з ТЕД постійного струму слід визнати широтно-імпульсні та частотно-імпульсні системи керування, які забезпечують плавний пуск і гальмування потягів. При цьому економія електроенергії може досягати 25-30%, підвищення коефіцієнта використання зчепної ваги - 40%. Підвищення енергоефективності та модернізація рудничних електровозів може проводитися заміною реостатних і ступінчастих систем керування на тиристорно-транзисторні, широтно-імпульсні і частотні. Ці системи зменшують втрати енергії на буксування коліс, тому що забезпечують плавний пуск і гальмування електровозів ТЕД постійного струму і безколекторними двигунами змінного струму - асинхронними і вентильним. Схеми частотно-імпульсного управління ТЕД постійного струму є більш простими і недорогими. Але при рівній вихідній потужності для нормальної роботи частотно-імпульсної схеми потрібні дорогі і складні електричні фільтри. З цих причин частотно-імпульсні схеми були витіснені більш дешевими широтно-імпульсними. На акумуляторних і контактних-акумуляторних електровозах сучасні системи плавного управління ТЕД Перевагою ІРН є можливість рекуперативного гальмування аж до повної зупинки електровоза. При цьому повертається в накопичувач не тільки кінетична енергія рушійного поїзда, але і електромагнітна енергія з індуктивностей обмоток тягових двигунів і згладжу вальних реакторів. Для акумулювання енергії гальмування і зниження стрибків струму бажано розміщувати суперконденсатори КДЕС, які дозволяють запобігти перезаряджанню акумуляторів, яке призводить до інтенсивного виділення водню. Двигуни послідовного збудження мають велику міцність, переважувальну здатність й м'яку характеристику. Для двигуна послідовного збудження, як і для інших двигунів постійного струму при живленні якоря від джерела напруги ($U = \text{const}$), справедливі раніше наведені рівняння [8.9]. Однак, якщо для двигуна незалежного збудження потік не залежить від струму навантаження, то для двигуна послідовного збудження потік є функцією струму навантаження. Ця залежність

визначається кривою намагнічування Структурна схема двигуна з передавальними функціями наведена на рис.1

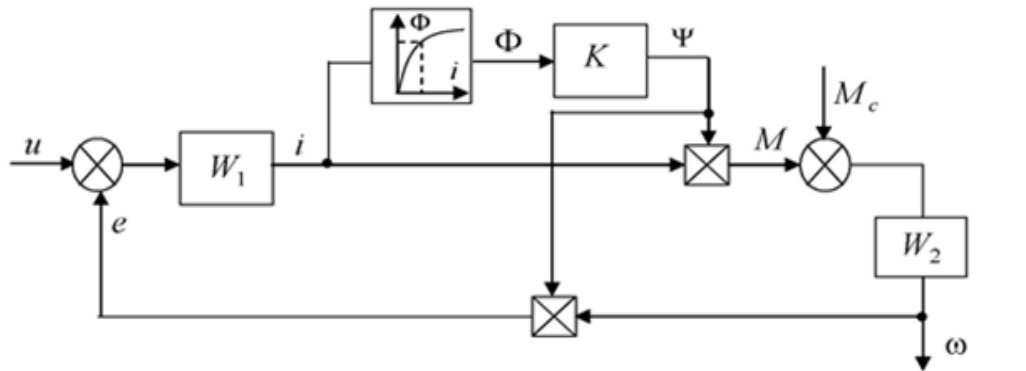


Рисунок 1. Структурна схема двигуна послідовного збудження

$$W_1(p) = \frac{i(p)}{u(p) - e(p)} = \frac{1}{R(T_{дв}p + 1)}; \quad W_2(p) = \frac{1}{Jp}$$

$$T_{дв} = \frac{L_{дв} + L_{я}}{r_{об} + r_{я} + R_r}, \quad (T_{я} = \frac{L_{я}}{r_{я}})$$

Загальне диференційне рівняння двигуна постійного струму послідовного збудження:

$$T_{дв}T_{м} \frac{d^2\omega}{dt} + T_{м} \frac{d\omega}{dt} + \omega - \frac{u}{\psi} - \frac{i_c R}{\psi} - \frac{L_{дв}}{\psi} \frac{di_c}{dt}$$

Постійна двигуна $T_{дв}$, потікозчеплення ψ , та індуктивність двигуна $L_{дв}$ залежать від струму, тому розрахувати передавальні функції двигуна послідовного збудження аналітичним шляхом досить складно. Враховуючи вищесказане, аналіз перехідних процесів та регулювальних характеристик з застосуванням регуляторів проводять методом комп'ютерного моделювання на основі схеми, наведеної на рисунках 2 та 3 [6.7.8].

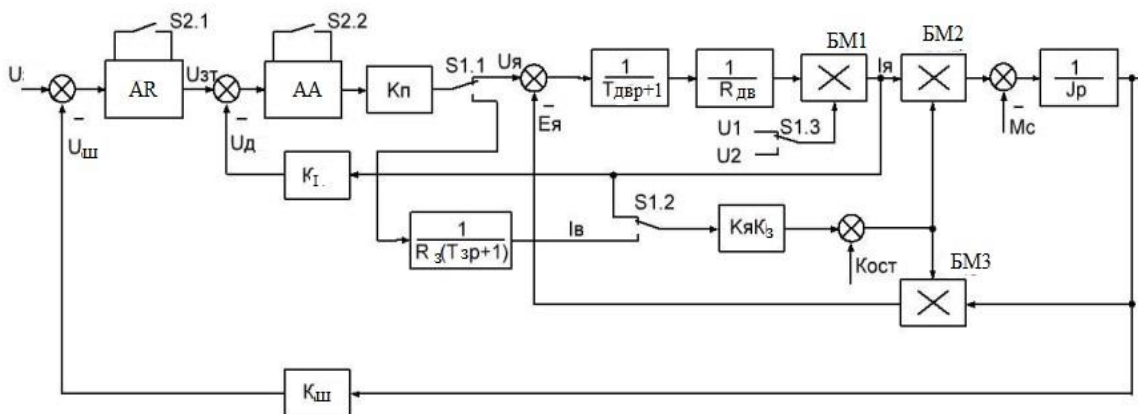


Рисунок 2 – Структурна схема замкнутої системи регулювання швидкості

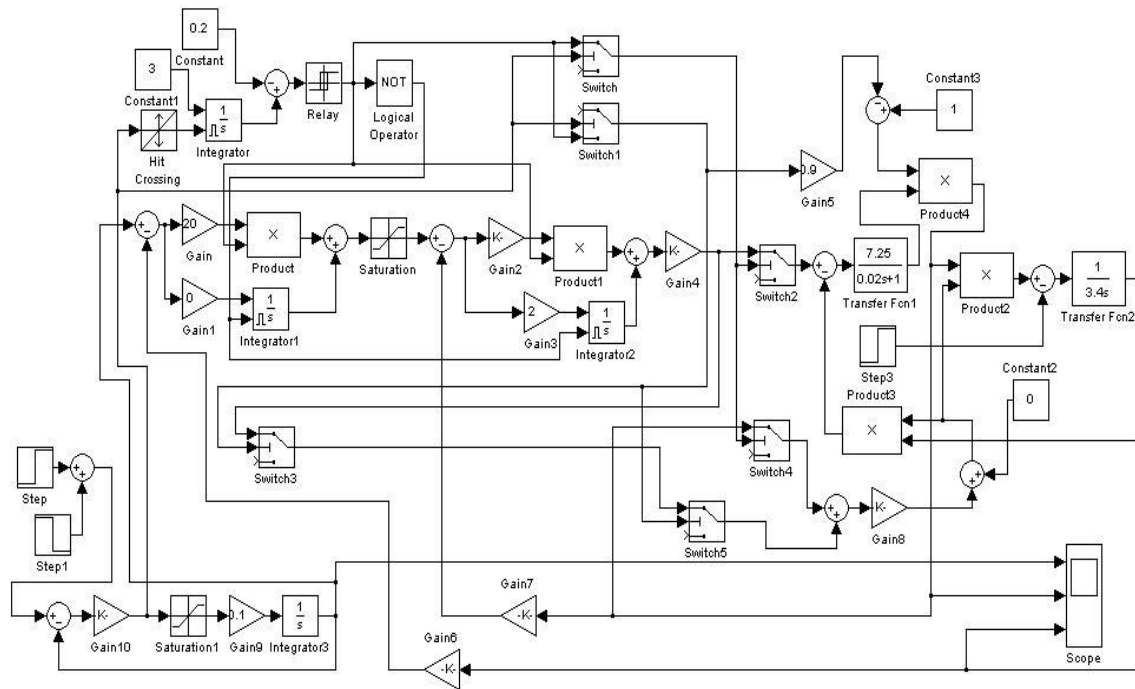


Рисунок 3 – Структурна схема електромеханічної системи в середовищі MATLAB

Практичне значення одержаних результатів. Запропонована система тягового електроприводу на базі ТЕД послідовного збудження з ІРН та комбінованою системою живлення акумулятор – суперконденсатор, що дозволить:

- реверсування за допомогою спеціального безконтактного перемикача в якірному колі електродвигуна;
- завдяки застосуванню ІРН здійснювати регулювання швидкості на м'якій частині механічної характеристики при підвищених навантаженнях та жорсткій частині при малих і негативних навантаженнях, з автоматичним переходом з рушійного режиму в режим рекуперативного гальмування і навпаки;
- безреостатний пуск і імпульсне регулювання швидкості як в рушійному режимі, так і в гальмівному - при русі потяга на самокатном ухилі.

Перелік посилань

1. Волотковський С.А. Рудничная электровозная тяга. -М.: Недра. 1981. - 389 с.
2. В.П. Степаненко. Применение комбинированных (гибридных) Энергосиловых установок в горной промышленности. //Горный информационно-технический бюллетень.- М.-. Горная книга.-2014.-№11.-С.322-328.
3. В. И. Белозеров, В.П. Степаненко. Актуальность создания карьерных локомотивов с накопителем энергии. //Горная промышленность.-2014.-2014.-№4.-. С.76.
4. И.Н. Варакин, В.В. Менухов, В.В. Самитин. Перспективы применения электрохимических конденсаторов в составе комбинированных энергосиловых установок на автосамосвалах.// Горная промышленность.-2008.-.№3.-С.79-86.3.
5. Духопельников В.Д., Сташинов Ю.П. Совершенствование тяговых характеристик рудничных электровозов//Горная электромеханика и автоматика. - Харьков. 1966, N 6.- С. 124-129.

6. Сташинов Ю.П., Сташинова Л.Ф. Реверсивный электропривод постоянного тока с серийным двигателем. А. С. N 483752 (СССР). М. Кл. Н 02р 1/22.Опубл. в бюлл. "Изобретения. Открытия. Пром. образ.. цы. Товарные знаки", 1975, N 33.

7. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин. М., Высшая школа, 1987. 248 с.

8. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6.0. М., Коронапринт, 2001. 320 с.

9.О.М.Закладний,В.В. Прокопенко, О.О. Закладний Електропривод Навчальний посібник\ Київ «Освіта України» 2009

Керівник дисертації Прядко С.Л.

УДК 681.518.3

Гриценко М.В.
Каф. АУЕК

**МОЖЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ**

Проаналізовано досвід створення інтелектуальних систем в Європі і США, виділені особливості нормативно-правового регулювання створення подібних систем в розглянутих країнах. Визначено необхідність доопрацювання законодавчої бази в нашій країні, а також важливість проведення оцінки економічної доцільності створення всіх складових системи, визначення єдиної концепції та технічних вимог, залучення до створення системи всіх зацікавлених сторін і підтримай її з боку держави - як законодавчої, так і фінансової.

Ключові слова: *інтелектуальна система обліку, прилад обліку, електроенергія.*

The experience of creating intelligent systems in Europe and the USA is analyzed, the features of the legal regulation of creating such systems in the countries under consideration are highlighted. The necessity of finalizing the legislative base in our country, as well as the importance of assessing the economic feasibility of creating all the components of the system, determining a single concept and technical requirements, involving all interested parties in creating the system and supporting it from the state, both legislative and financial, is determined.

Key words: *intelligent metering system, metering device, electricity.*

Вступ. Сучасні тенденції розвитку ринку електричної енергії та потужності ґрунтуються на вдосконаленні енергозберігаючих технологій, створенні віртуальних електростанцій, систем акумулювання електричної енергії та інтелектуальних системах, реалізації проектів в атомній енергетиці. Створення інтелектуальних систем є перспективною і важливою задачею розвитку і вдосконалення енергосистеми, що сприяє підвищенню прозорості обліку електричної енергії, надійності енергопостачання, єдності управління виробництвом, передачею та управлінням електроенергії, забезпечення синхронізації обліку на оптовому і роздрібному ринках і енергетичної безпеки.

Аналіз стану питання. Аналіз світової практики створення і використання інтелектуальних систем обліку показує, що ще з 1999 по 2002 р було встановлено 3,5 млн інтелектуальних приладів обліку в рамках реформи в Індії, що дозволило виявити більше 150 тис. Випадків розкрадання споживаної електроенергії і вдосконалити виставлення рахунків і збір платежів. З 2002 по 2017 р інтелектуальні системи обліку створені в 28 європейських країнах, включаючи Швейцарію та Норвегію; на 2017 р існують 950 проектів із середньою сумою інвестицій одного проекту від 3,3 до 9 млн євро залежно від виду проекту та загальним обсягом 5,5 млрд євро[1], як показано на рисунку 1.

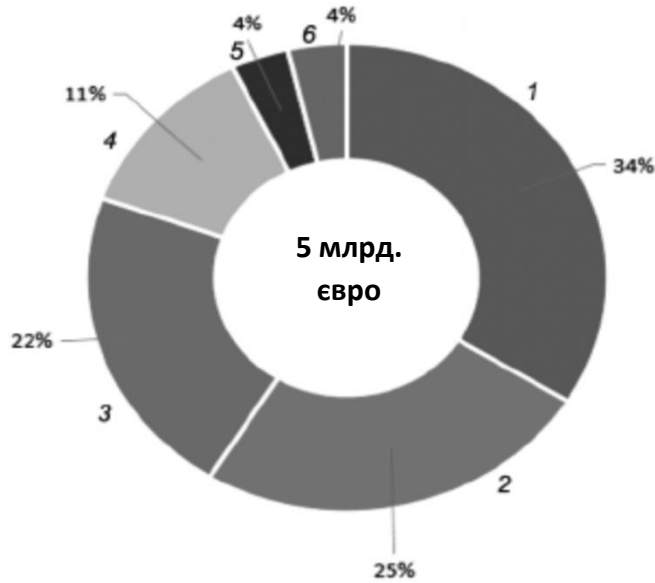


Рисунок 1. Структура витрат на створення інтелектуальної системи обліку електроенергії у ЄЕС: 1 - інтелектуальне управління мережею (установка обладнання для моніторингу та управління мережею); 2 - управління попитом (наприклад, розширення можливостей споживачів за допомогою системи); 3 - інтеграція розподіленої генерації і накопичення енергії в електричну мережу, забезпечуючи надійність і безпеку системи; 4 - електромобілі (інтеграція електричних і гібридних транспортних засобів в електричну мережу); 5 - інтеграція поновлюваних джерел енергії; 6 - інші витрати (кібербезпека, і ін.).

Між країнами ЄС існують серйозні розбіжності у кількості проектів і загальний рівень і темпі інвестицій. Тільки 15% проектів було профінансовано виключно за рахунок приватних інвестицій, які особливо великі в Великобританії і Люксембурзі, а також в Бельгії та Данії. Частка приватних інвестицій в інших проектах становить від 40 до 60%, решта - це національне фінансування (в рамках однієї країни) і фінансування Європейського союзу, які мають значний вплив на обсяг проекту.

Масштабність проекту також залежала від чисельності населення і обсягу споживаної електроенергії в країні. Більшість реалізованих проектів в Європі - це національні проекти (66%), тобто проекти, які здійснюються однією країною з винятковим участю організацій з цієї країни; багатонаціональні проекти менш численні, але з великим обсягом інвестицій (7,5 млн євро, проти 4,7 млн євро національних проектів). Але саме на багатонаціональні проекти припадає 47% інвестицій від загального обсягу інвестицій в Європі, в абсолютному вираженні найбільшу кількість проектів було реалізовано в Німеччині, на які припадає і найбільший обсяг національного фінансування.

У США з 2010 по 2015 року була реалізована окрема програма інвестиційних грантів, спрямована на прискорення трансформації національної електричної мережі шляхом впровадження інтелектуальної системи обліку із загальним обсягом інвестицій 7,9 млрд дол. США, як показано на рисунку 2.

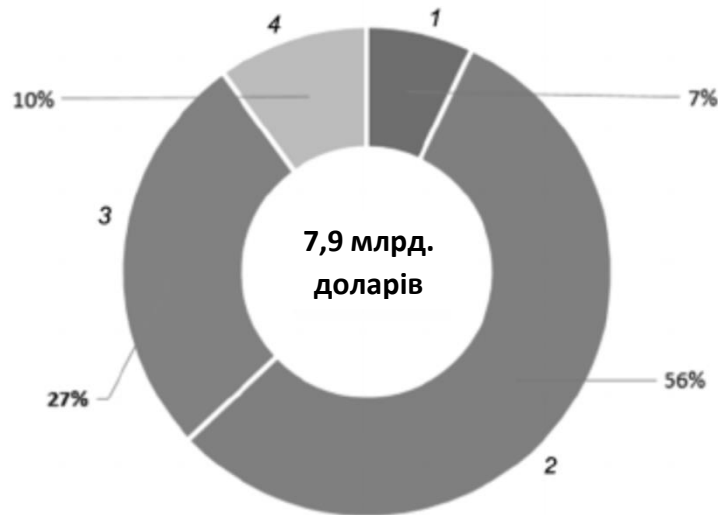


Рисунок 2. Структура витрат на створення інтелектуальної системи обліку електроенергії у ЄЕС: 1 - система передачі електроенергії; 2 - інфраструктура обліку; 3 - система розподілення електроенергії; 4 - система замовників.

Аналіз світового досвіду показує, що нормативно-правове регулювання на рівні держави надає значну законодавчу підтримку в області інтелектуальних мереж і координації зусиль з модернізації національних мереж. Наприклад, створення інтелектуальних систем в США з державною підтримкою дозволило прискорити економічне зростання, створити нові робочі місця, підвищити надійність і стійкість національної електричної мережі і знизити фінансові та технічні ризики, пов'язані з можливими наслідками технологічних збоїв в ній. Створені системи в США включають в себе:

- нові технології в системі передачі електроенергії (synchrophasor technologies);
- технології та системи автоматизації розподілу, що включають передові датчики і системи самостійного контролю показників;
- розвиток інфраструктури вимірювань, включаючи інтелектуальні лічильники і системи зв'язку.

Основним результатом створення інтелектуальних систем обліку на початок 2016 року в світі є установка 454 млн інтелектуальних приладів обліку, а до 2020 р передбачається їх збільшення.

Мета роботи. Створити інтелектуальну систему обліку електроенергії (далі - система), під якою розуміється організація обліку, що забезпечує економічно ефективну, стійку систему електропостачання з низькими втратами, високим рівнем якості і безпеки та ефективно інтегрує дії всіх користувачів, підключених до неї - генеруючих компаній, споживачів та інших зацікавлених осіб, з метою забезпечення[2]. Така система дозволяє здійснювати:

- збір результатів вимірювань з інтелектуальних приладів обліку електричної енергії та потужності із заданою періодичністю та інформації про події (зміні параметрів, конфігурації приладів);
- зберігання результатів вимірювань;
- надання результатів вимірювань з прив'язкою до часу всім зацікавленим сторонам;

- аналіз результатів вимірювань, контроль за цілісністю і повнотою наданих даних;
- дистанційне керування режимом споживання електричної енергії (повне, часткове обмеження споживання);
- захист даних, що збираються від неконтрольованого втручання.

З точки зору «стратегічного» підходу, створення такої системи дозволить:

- підвищити надійність енергосистеми;
- збільшити прозорість обліку електричної енергії;
- забезпечити оперативний доступ до інформації з енергопостачання та енергозбереження;
- поліпшити керованість процесів енергосистеми за рахунок можливості оперативного обмеження споживання.

Методики, матеріали і результати досліджень. Для забезпечення реалізації всіх розглянутих функцій системи визначимо основні дії на шляху до створення і повсюдного впровадження системи в Україні:

1) доопрацювання законодавства, включаючи базові визначення і організаційне забезпечення функціонування інтелектуальних систем обліку, таких як:

- можливість надання споживачам мінімального функціоналу;
- забезпечення мережевим організаціям повернення інвестицій з позатарифних джерел;
- можливість віддаленого встановлення обмеження споживання електропостачання з урахуванням нормативів необхідного споживання;
- установка заборони на використання приладів, які не інтегровані в систему, з певного періоду зобов'язуючого споживачів переходити на інтелектуальні прилади обліку;

2) проведення оцінки[3] доцільності та окупності проекту, включаючи економічну ефективність вкладених коштів і можливість реалізації проекту з позатарифні джерел, для чого необхідно для кожної складової інтелектуальної системи обліку розробити і застосовувати при створенні єдиного набору параметрів, таких як:

- об'єкт інтелектуальної системи обліку (наприклад, інтелектуальний прилад обліку);
- функції, які виконує об'єкт (наприклад, віддалене підключення / відключення послуг, управління);
- впливу, тобто вплив цієї функції на роботу системи (наприклад, зниження пікових навантажень);
- вигоди, коли можливо їх оцінити (наприклад, більш низькі операційні витрати і зниження рахунку клієнта), аналіз яких необхідний для зниження невизначеності з питань ефективності та технологій для осіб, які приймають рішення і інвесторів;

3) розробка та затвердження стратегії створення і розвитку інтелектуальної системи обліку в країні;

4) розробка та затвердження єдиних технічних вимог для створення та технічного забезпечення інтелектуальних систем обліку (включаючи єдині протоколи обміну даними, правила взаємодії системи між собою, показників точності вимірювань, кібербезпеки);

5) визначення послідовності впровадження системи на території країни, для чого необхідно:

- визначити регіони, і організації, де застосування інтелектуальної системи обліку найбільш доцільно, наприклад, через високого рівня втрат;

- визначити обсяги споживаної енергії, облік якої економічно обґрунтований (наприклад, зобов'язання по встановленню інтелектуальних приладів обліку в Німеччині існує тільки при щорічному споживанні вище 10 тис. кВт / рік.);
 - розробити вимоги до компаній, які впроваджують інтелектуальну систему обліку, включаючи установку приладів обліку з урахуванням досвіду реалізації великих інфраструктурних проектів;
 - визначити терміни впровадження системи і установки інтелектуальних приладів обліку з урахуванням найбільш значущих регіонів, інших регіонів і контролюючий орган за функціонуванням єдиної системи інтелектуального обліку, забезпечити доступ до інформації всіх зацікавлених осіб;
- б) розгляд можливості фінансування створення системи за рахунок тарифних джерел і засобів федерального бюджету, без яких в світовій практиці практично не здійснювалася реалізація проектів в області інтелектуальних систем обліку;
- 7) облік можливості інтеграції в енергосистему генерацій на основі відновлюваних джерел енергії, розташованих в децентралізованих районах країни;
- 8) розробка заходів, покликаних унеможливити цілеспрямоване пошкодження встановлених приладів обліку з метою зниження плати за електроенергію, враховуючи, що оплата за нормативами споживання електричної енергії при безобліковому споживанні може бути економічно більш привабливою, ніж оплата за даними приладів обліку.

Успішне створення і повсюдне впровадження інтелектуальної системи [4,5] обліку дозволить масштабувати систему не тільки на ринок електричної енергії та потужності, а й на послуги зі збирання всіх ресурсів - таких як тепло і вода. А в енергосистемі дозволить вирішити основні завдання, які стоять перед інтелектуальною системою обліку (такі, як надійність енергопостачання, прозорість обліку електричної енергії, оперативний доступ до інформації з приладів обліку, керованість процесів енергопостачання). Однак масштабне впровадження такої системи неможливо без оцінки економічної доцільності створення всіх складових системи, визначення єдиної концепції та технічних вимог, залучення до створення системи всіх зацікавлених сторін і забезпечення створення і підтримки її з боку держави - як з боку законодавчої гілки влади, так, можливо, і фінансової (якщо при оцінці економічної доцільності буде визначено, що без залучення бюджетних коштів створення системи неможливо або зажадає значний, а не більш тривалого періоду).

Висновки. Створення і повсюдне впровадження інтелектуальної системи обліку дозволить масштабувати систему не тільки на ринок електричної енергії та потужності, а й на послуги зі збирання всіх ресурсів, таких як тепло і вода. Крім того, це дозволить вирішити основні завдання, які стоять перед інтелектуальною системою обліку, такі як прозорість обліку електричної енергії, надійність енергопостачання, оперативний доступ до інформації з приладів обліку, керованість процесів енергопостачання, забезпечення безпеки енергосистеми.

Література

1. Максименко А.Е., Рыгалин Д.Б. Интеллектуальная система поквартирного учета и регулирования энергоресурсов // Энергосбережение. 2011.
2. Грушников В.А. Инновации в области использования энергии // Компетентность. 2016. № 8.
3. Башмаков И.А. Поддержка систем интеллектуального учета потребления энергоресурсов в жилых домах // Энергосбережение. 2015. № 7.
4. Bayindir R., Colak I., Fulli G., Demirtas K. Smart grid technologies and application // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 66. P. 499-516.

URL:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.002>

5. Malik F.H., Lehtonen M. A review: agents in smart grids // Electric Power Systems Research. 2016. Vol. 131. P. 71-79. URL:<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.10.004>

Науковий керівник магістерської роботи - доцент каф. Автоматизації управління електротехнічними комплексами Тишевич Б.Л.

УДК 620.98: 658.24

Бессальнова О.Р.
кафедра теплотехніки та енергозбереження

ВПЛИВ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ БУДІВЛІ НА РІВЕНЬ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТУ БУДІВЛІ НА ПРИКЛАДІ ШКОЛИ

Моделлю дослідження обрана школа. Для репрезентативних приміщень проведено динамічне моделювання у Energy Plus і визначено динамічну зміну параметрів теплового комфорту. Проведено динамічне моделювання для визначення енергоспоживання та зміни умов комфортності за рахунок термомодернізації. У якості параметра теплового комфорту обрано PMV (прогнозовану середню оцінку тепловідчуттів людини), що є основним у міжнародних та вітчизняних стандартах. Оцінено зміну середньої радіаційної температури у січні та березні для стіни Північної та Південної орієнтації до та після термомодернізації. Встановлено, що підвищення термічного опору огорожувальних конструкцій дозволяє підвищити середню радіаційну температуру приміщення в середньому на 2°C. Південна орієнтація стіни забезпечує підвищення середньої радіаційної температури до 1,4°C у порівнянні з Пн. Таке підвищення середньої радіаційної температури дозволить знизити температуру повітря у приміщенні без зниження рівня теплового комфорту. Розрахунок показників теплового комфорту для змінної середньої радіаційної температури на протязі року до та після термомодернізації для Пн та Пд стіни здійснювався у Mathcad.

Ключові слова: енергопотреба, енергоспоживання, динамічні моделі, тепловий комфорт.

The school was chosen as the model of research. For the representative rooms, dynamic modeling was performed in Energy Plus and the dynamic change of thermal comfort parameters was determined. Dynamic modeling was performed to determine energy consumption and change comfort conditions due to thermal modernization. PMV (the predicted average human heat rating) is chosen as the parameter of thermal comfort, which is the main one in the international and national standards. The change in mean radiant temperature in January and March for the north and south orientation walls before and after thermomodernization was estimated. It is established that increasing the thermal resistance of building envelope allows to increase the room mean radiant temperature by an average of 2 ° C. The southern orientation of the wall increases the average radiation temperature up to 1.4 ° C compared to North. Such an increase in the mean radiant temperature will reduce the room air temperature reducing the level of thermal comfort. The calculation of thermal comfort indices for the variable mean radiant temperature during the year before and after thermal modernization for the N and S walls was carried out at Mathcad.

Keywords: energy need, energy consumption, dynamic models, thermal comfort.

Вступ. Близько 40 % світового енергоспоживання та 1/3 викидів парникових газів припадає на будівлі. Відповідно до цього адаптують українські стандарти до міжнародних і відповідно зростають вимоги щодо ефективного використання енергії будівлями. Підвищення енергетичної ефективності будівель можливе за рахунок сукупності заходів, спрямованих на теплозахисну оболонку будівлі, систему опалення та джерело теплоти. Тому це питання вимагає загального комплексного підходу вирішення, враховуючи різні обмеження, спричинені вимогами до належної якості мікроклімату у приміщенні. Висока якість мікроклімату у приміщеннях представлена сучасними

стандартами та показниками. У даній ситуації важливим є здобуток належного компромісу між зниженням енергопотребити та енергоспоживання будівель та задоволення належного рівня теплового комфорту.

Велика кількість стандартів щодо якості теплового клімату та підвищення енергоефективності будівель обумовлюють підвищення наукового інтересу до цієї проблематики. Тому закордонними дослідниками, а саме I. Budaivi [1] – розглядається створення відповідних теплових умов для задоволення бажань людини до теплового комфорту. У своїй статті дослідник наводить спеціальну анкету за допомогою якої можна виявити проблеми з комфортним умовами та завчасно запобігти їм. Дослідники B. Simons, C. Koranteng, E. Adinyira, J. Ayarkwa [2] – аналізують тепловий комфорт в багатоповерхових офісних будівлях, де дослідження було спрямоване на оцінку рівня теплового комфорту в кабінетах, що провітрюються природним та механічним способом. Також дослідники M. La Gennusa, A. Nucarab, G. Rizzo, G Scaccianose [3]– представили простий метод для оцінки середньої радіаційної температури для людського предмету розміщеного в обмеженому просторі.

Мета та завдання дослідження. Метою та завданням дослідження є визначення комфортних умов для типового приміщення до та після комплексної термомодернізації за результатами моделювання у програмному продукті EnergyPlus.

Результати досліджень. За об'єкт дослідження було взято типову навчальну кімнату розміщену на другому поверсі будівлі в блоці Б розмірами 10×10 м з трьома віконними отворами розміром 2,05×2,1 м. Дана модель була створена в програмному продукті sketchUp і там же були додані всі інженерні системи, а саме моделювання проводилося у програмному продукті EnergyPlus. Для початку задавалися матеріали огорожувальних конструкцій з їх теплофізичними характеристиками, у таблиці 1 зведені всі характеристики та матеріали огорожувальних конструкцій.

Таблиця 1 – Розрахункові дані для огорожувальних конструкцій

| Огородження | Шар | Товщина δ, м | Теплопровідність, λ Вт/м·К | Густина ρ ₀ , кг/м ³ | Питома теплоємність с, Дж/кг·К |
|-------------------|--|-----------------|-------------------------------|---|--------------------------------------|
| Зовнішня стіна | Розчин вапняно-піщаний | 0,01 | 0,81 | 1600 | 840 |
| | Силікатна цегла | 0,51 | 0,87 | 1800 | 880 |
| | Розчин цементно-піщаний | 0,01 | 0,93 | 1800 | 840 |
| Вікна | Металопластикові з одинарним склопакетом | | | | |
| Горище перекриття | Розчин вапняно-піщаний | 0,02 | 0,81 | 1600 | 840 |
| | Залізобетон | 0,22 | 2,04 | 2500 | 840 |
| | Гравій керамзитовий | 0,15 | 0,12 | 200 | 840 |
| | Розчин цементно-піщаний | 0,03 | 0,93 | 1800 | 840 |
| | Руберойд | 0,02 | 0,17 | 1000 | 1680 |
| Підлога | Розчин вапняно-піщаний | 0,02 | 0,7 | 1600 | 840 |
| | Залізобетон | 0,22 | 2,04 | 2500 | 840 |
| | Розчин цементно-піщаний | 0,02 | 0,7 | 1700 | 840 |
| | Паркет | 0,02 | 0,41 | 2300 | 700 |
| Внутрішні стіни | Гіпс | 0,02 | 0,21 | 800 | 840 |
| | Розчин цементно-піщаний | 0,02 | 0,7 | 1600 | 840 |
| | Цегла | 0,51 | 0,64 | 1400 | 880 |
| | Розчин цементно-піщаний | 0,02 | 0,7 | 1600 | 840 |
| | Гіпс | 0,02 | 0,21 | 800 | 840 |

Дані розрахунки проводилися для міста Києва та всі кліматичні параметри задавалися саме для нього.

Моделювання було проведено для типової кімнати розташованої на південній та північній стороні. Наступним кроком було запропоновано утеплення стін, даху та заміна старих вікон на нові енергоефективні. В таблиці 2 представлені матеріали для утеплення зовнішніх огороджувальних конструкцій.

Таблиця 2 – Матеріали утеплювачів для зовнішніх огороджувальних конструкцій

| Огородження | Шар | Товщина $\delta, \text{м}$ | Теплопровідність, $\lambda \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ | Густина $\rho_0, \text{кг/м}^3$ | Питома теплоємність $c, \text{Дж/кг}\cdot\text{К}$ |
|-------------------|---------------------|-------------------------------|--|------------------------------------|--|
| Зовнішні стіни | Мінераловатні плити | 0,2 | 0,05 | 30 | 920 |
| Перекриття горища | Мінераловатні плити | 0,25 | 0,049 | 40 | 920 |

Віконні конструкції пропонується замінити на двокамерні склопакети з селективним покриттям. Після цього було проведено повторне моделювання.

Для оцінки рівня теплового комфорту використовується метод, який розвинув Фангер, адаптований у стандарті ISO Standard 7730, ґрунтується на рівняннях теплового балансу для людського тіла [4]:

$$PMV = (0,303 \cdot e^{-2,1 \cdot M} + 0,028) \cdot [(M - W) - H - E_c - C_{res} - E_{res}];$$

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)}, \quad (1)$$

де M – ступінь метаболізму, Вт/м^2 ; W – ефективна механічна робота, Вт/м^2 ; H – втрати теплоти випромінюванням (sensitive heat losses), Вт/м^2 ; E_c – теплообмін шляхом випаровування зі шкіри, Вт/м^2 ; C_{res} – теплообмін конвекцією, під час дихання, Вт/м^2 ; E_{res} – теплообмін випаровуванням під час дихання, Вт/м^2 ;

$$H = 3,96 \cdot 10^8 \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_{cl} \cdot (t_{cl} - t_a), \quad (2)$$

$$E_c = 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15], \quad (3)$$

$$C_{res} = 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a), \quad (4)$$

$$E_{res} = 1,7 \cdot 10^5 \cdot M \cdot (5867 - p_a), \quad (5)$$

де f_{cl} – фактор, що враховує площу поверхні одягу; t_a – температура повітря, $^{\circ}\text{C}$; t_r – середня радіаційна температура, $^{\circ}\text{C}$; t_{cl} – температура поверхні одягу, $^{\circ}\text{C}$; p_a – парціальний тиск пари у повітрі, Па; I_{cl} – термічний опір одягу, $\text{м}^2\text{C/Вт}$; v_{ar} – відносна швидкість руху повітря, м/с; h_{cl} – коефіцієнт конвективного теплообміну, $\text{Вт/м}^2\text{К}$.

Основною проблемою розрахунків за цим методом є те, що температура поверхні одягу не є відомою наперед, і визначається методом ітерацій з рівняння теплового балансу для шару одягу [5]:

$$(t_{sk} - t_{cl}) = 3,96 \cdot 10^8 \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_{cl} \cdot (t_{cl} - t_a), \quad (6)$$

$$t_{sk} = 35,7 - 0,028(M - W) \quad (7)$$

Коефіцієнт конвективного теплообміну визначається наступним чином:

$$h_c = \begin{cases} 2,38 |t_{cl} - t_a|^{0,25}, & \text{якщо } 2,38 |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \sqrt{v_{ar}}, \\ 12,1 \sqrt{v_{ar}}, & \text{якщо } 2,38 |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \sqrt{v_{ar}}, \end{cases} \quad (8)$$

Фактор, що враховує площу поверхні одягу:

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,29 \cdot I_{cl}, & \text{якщо } I_{cl} \leq 0,78 \frac{m^2 K}{Wm} \\ 1,05 + 1,645 \cdot I_{cl}, & \text{якщо } I_{cl} > 0,78 \frac{m^2 K}{Wm} \end{cases} \quad (9)$$

Метод визначення PMV (Predicted Mean Vote) передбачає зв'язок між оптимальними тепловими умовами, використовуючи рівняння теплового балансу для людського тіла для стаціонарних умов і рейтинг забезпечення теплового комфорту. Дана модель розроблена Фангером, а показник PMV обґрунтований на базі великої кількості експериментів, однак тут не прописаний механізм терморегуляції, що є суттєвим при розрахунку теплообміну людини.

Розрахунок показників теплового комфорту для змінної середньої радіаційної температури на протязі року до та після термомодернізації для Пн та Пд стіни здійснювався у Mathcad. Значення PMV для опалювального періоду представлено на рис.1. Показано, що PMV змінюється від -0,7 у холодні місяці до 0,2 у міжсезоння. Зміна термічного опору огорожень дозволяє підвищити PMV, а отже покращити тепловідчуття людини приблизно на 0,1. Для стіни Пд орієнтації характерні більші коливання PMV, що обумовлено надходженням сонячної радіації і як наслідок зростання середньої радіаційної температури приміщення

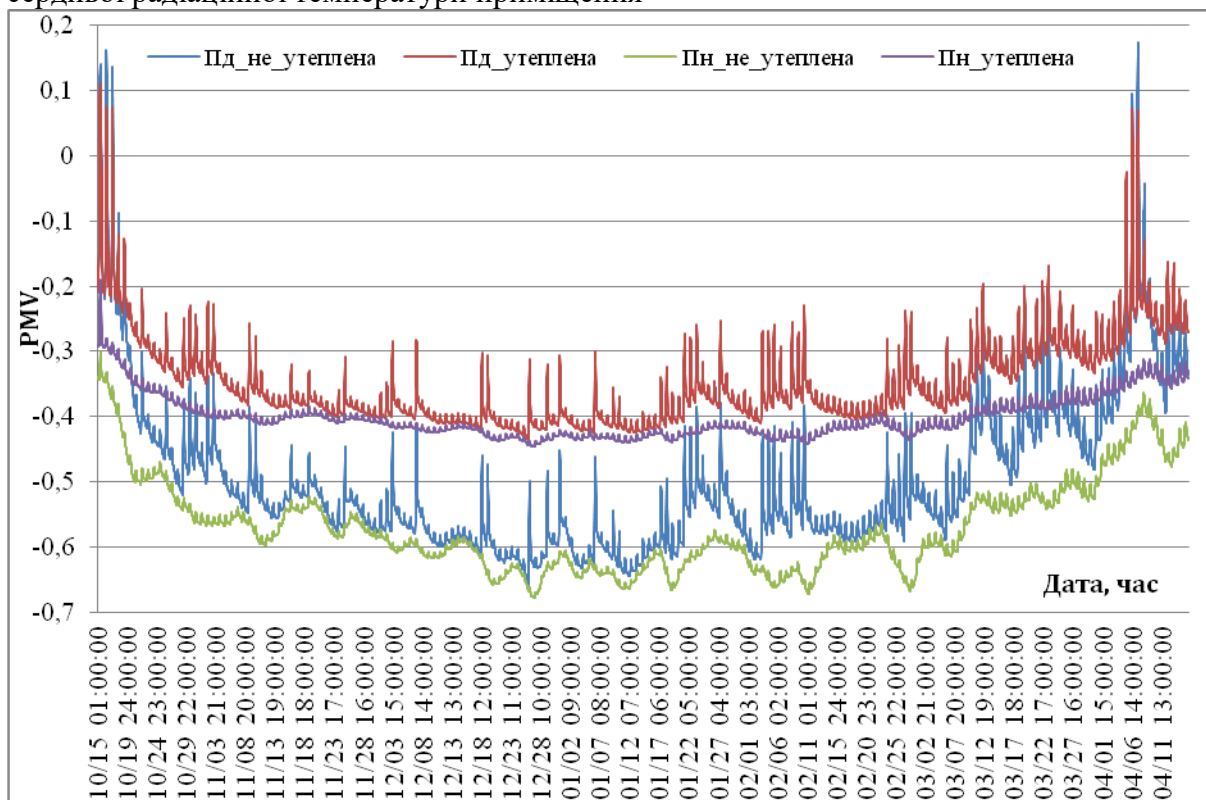
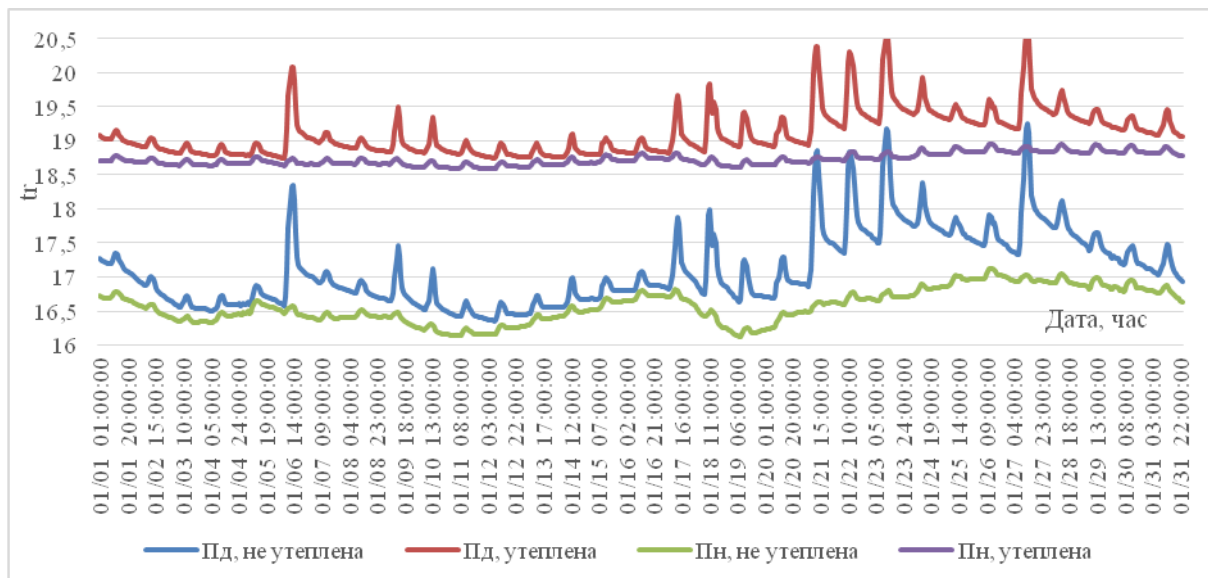
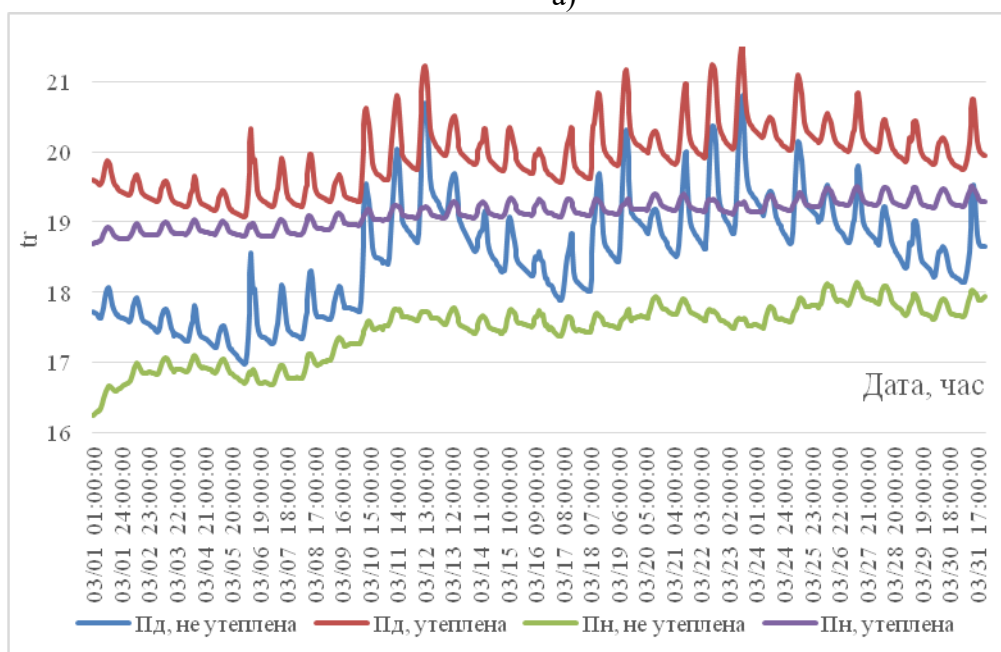


Рис. 1. Значення PMV для опалювального періоду

На рис.2 Представлено зміну середньої радіаційної температури для січня (а) та березня, до та після термомодернізації для стіни Пн та Пд орієнтації. Встановлено, що підвищення термічного опору огорожувальних конструкцій дозволяє підвищити середню радіаційну температуру приміщення в середньому на 2 °С. Південна орієнтація стіни забезпечує підвищення середньої радіаційної температури до 1,4 °С у порівнянні з Пн. Таке підвищення середньої радіаційної температури дозволить знизити температуру повітря у приміщенні без зниження рівня теплового комфорту.



а)



б)

Рис.2. Зміна середньої радіаційної температури у січні (а) та у березні (б)

Висновки

1. Показано, що PMV змінюється від $-0,7$ у холодні місяці до $0,2$ у міжсезоння. Зміна термічного опору огорожень дозволяє підвищити PMV , а отже покращити тепловідчуття людини приблизно на $0,1$. Для стіни Пд орієнтації характерні більші коливання PMV , що обумовлено надходженням сонячної радіації і як наслідок зростання середньої радіаційної температури приміщення

2. Показано, що підвищення термічного опору огорожувальних конструкцій дозволяє підвищити середню радіаційну температуру приміщення в середньому на 2°C . Південна орієнтація стіни забезпечує підвищення середньої радіаційної температури до

1,4 °С у порівнянні з Пн. Таке підвищення середньої радіаційної температури дозволить знизити температуру повітря у приміщенні без зниження рівня теплового комфорту.

Список використаних джерел

1. Budaiwi I. An approach to investigate and remedy thermal-comfort problems in buildings. *Building and Environment*, 2007. V. 42. P. 2124–2131.
2. Simons B., Koranteng C., Adinyira E., Ayarkwa J.. An Assessment of Thermal Comfort in Multi Storey Office Buildings in Ghana. *Building and Environment*, 2014. V. 2. P. 30 – 38.
3. Gennusa M. La, Nucarab A., Rizzo G., Scaccianoce G.. The calculation of the mean radiant temperature of a subject exposed to the solar radiation—a generalised algorithm. *Building and Environment*, 2005. V. 40. P. 367–375.
4. ДСТУ Б EN ISO 7730: 2011. Ергономіка теплового середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV і PPD і критеріїв локального теплового комфорту. [Чинний від 2013-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2012. 74 с.
5. Fanger P. O. Assessment of man's thermal comfort in practice. *British Journal of Industrial Medicine*, 1973. V 30. P. 313–324.

УДК 697.1:332.87

Більда І.М.

Кафедра теплотехніки та енергозбереження

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВІТРЯННОГО КОМФОРТУ В КЛАСІ СЗШ ПІД ЧАС
УЧБОВОГО ПРОЦЕСУ**

**RESEARCH OF AIR COMFORT IN THE CLASS OF A SCHOOL DURING
THE EDUCATIONAL PROCESS**

Анотація. В даній статті проведено дослідження з визначенням температурних і вологісних параметрів повітря, та визначення рівню CO₂ під час учбового процесу. Розглянуто проблему забезпечення умов комфортного повітря відповідно нормативній базі стандартів України відносно учбових закладів та громадських установ. Запропоновано вирішення даної проблеми за рахунок рекуперації повітря автономними рекуператорами, що одночасно дозволить зменшити тепловтрати на інфільтрацію та під час провітрювань.

Ключові слова: енергоефективність, енергозбереження, комфортні умови, концентрації CO₂, вентиляція, повітрообмін, інфільтрація, рекуператор.

Abstract. In this article, a study is conducted to determine the temperature and humidity parameters of the air, and to determine the level of CO₂ during the learning process. The problem of providing comfortable air conditions in accordance with the normative base of standards of Ukraine concerning educational institutions and public institutions is considered. The solution of this problem is proposed by means of air recuperation by autonomous recuperators, which will simultaneously allow to reduce heat losses for infiltration and during ventilation.

Keywords: energy efficiency, energy saving, comfortable conditions, CO₂ concentrations, ventilation, air exchange, infiltration, recuperator.

Вступ

Стан повітряного середовища в учбових класах середніх навчальних закладів регламентується низкою Державних будівельних норм та низкою нормативів і стандартів з кліматології, енергетичної ефективності будівель відносно опалення, вентиляції та кондиціонування повітря [1, 2, 3]. Основним є виданий у 2018 р. ДБН Будинки і споруди «Заклади світи» [4]. Дані ДБН мають посилання на ДБН 2013 р. «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [1]. Крім традиційної результуючої оптимальної температури 22±2,0 °С та оптимальної відносної вологості в межах 25-60% додається значення вмісту двоокису вуглецю в приміщенні. Нижче наведена табл. 1 умов мікроклімату за цими будівельними нормами.

Якщо перше значення періодично вимірюється на уроках, друге □ відносна вологість дуже рідко та в кабінетах зі спеціальними предметами, а вимірювання вмісту CO₂ залишається поза межами можливостей навчального закладу. Збільшення цього показника слід розглядати при наявності людей як природний факт, але перевищення зазначених у ДБН показників створює задуху та дискомфорт особливо в малих кімнатах та класах зі значною кількістю школярів □ для багатьох шкіл м. Києва класи складають більше 35 учнів. За кількістю двоокису вуглецю можливо визначати час провітрювань,

розглядаючи оптимальні та допустимі за нормами концентрації CO₂ в повітрі класу. Вирішує цю проблему □ інфільтрація повітря, провітрювання приміщень, витяжна вентиляція, дуже ефективною є постійна або періодична примусова вентиляція. Але всі вони сприяють надмірному охолодженню приміщень та втратам теплоти.

Таблиця 1. Умови мікроклімату за ДБН [1].

| Умови мікроклімату | Діапазон температури приміщення для опалення та охолодження, °С: | Відносна вологість повітря, % | Рівень концентрації CO ₂ у приміщенні понад рівень у зовнішньому повітрі, ppm | |
|----------------------|--|-------------------------------|--|-----------------|
| | | | Типовий діапазон | Типове значення |
| Підвищені оптимальні | 22±1,0 | 30-50 | <400 | 350 |
| Оптимальні | 22±2,0 | 25-60 | 400-600 | 500 |
| Допустимі | 22±3,0 | 25-70 | 600-1000 | 800 |
| Обмежено допустимі | | Менше 20 та більше 70 | >1000 | 1200 |

За розрахунками во Франції інфільтрацією втрачається 15% теплової енергії, а в США ця величина доходить до 33% [5]. Для ряду учбових закладів Солом'янського району м. Києва втрати на інфільтрацію та з провітрюванням складаються в межах 7...25% [6]. Слід відмітити, що саме провітрювання відкриванням вікон або їх відчинення на протязі уроку для більшості зазначених шкіл є основою створення комфортних умов в класах. Налагодження системи вентиляції на сучасному рівні повітрообміну та очищення, з автоматичним регулюванням вихідних параметрів повітря з рекуперацією □ підігрівом припливного повітря з вулиці за рахунок викидного повітря з класу □ є основною задачею для більшості навчальних закладів України.

Мета та завдання

Метою роботи є дослідження стану комфорту в приміщеннях учбових класів типової для забудови 50 років у м. Києві школи з акцентом на вміст двоокису вуглецю, та на скільки це відповідає допустимим нормам комфорту та вмісту забруднюючих речовин в приміщеннях навчальних закладах на Україні. Ще однією із задач є експериментальне визначення показників початкового значення природного фону по CO₂ в межах прилеглих територій СЗШ №74 м. Києва. Одним з основних завдання було визначення теплового балансу теплоспоживання школою та тепловтрат, а саме за рахунок інфільтрації та провітрювання та розгляду можливих рішень даної проблеми с точки зору енергозбереження з використанням автономних рекуператорів повітря.

Опис об'єкту дослідження

Середня загальноосвітня школа №74 знаходиться за адресою: м. Київ, вулиця Смоленська, б. 4, яка побудована у 1938 році (рис. 1). В школі навчається 530 учнів та працює 70 учителів та технічного персоналу, тобто в будівлі щодня знаходиться приблизно 600 осіб. Заняття розпочинаються о 8.30 та закінчується для старших класів о 15.30.

Зовнішні стіни цегляної будівлі мають площу 1704 м², північна стіна має 584 м², східна 240,5 м², південна 635,4 м², західна 240,5 м². Вікна займають площу 707,6 м².

Будівля опалюється від централізованої теплової мережі через індивідуальний тепловий пункт, що розташований в підвальному приміщенні школи.

Матеріали з яких споруджено школу: фундамент – стрічковий, виконаний з бетону; Зовнішні стіни – виконані з цегли та внутрішнім шаром вапняно-піщаної штукатурки; покрівля – плоска, вкрита плитами; вікна – приблизно половина замінена на однокамерні металопластикові; дерев'яні двері.



Рисунок 1 – Середньоосвітня спеціалізована 74 школа. Клас третього поверху.

За проведеним попереднім енергоаудитом було визначено можливі основні

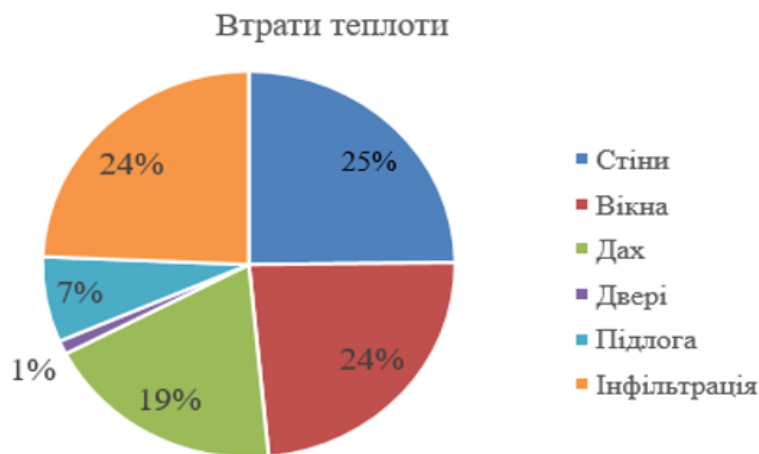


Рисунок 2 – Теплові втрати будівлі школи

теплові втрати будівлю школи (рисунок 2), де 24% з них складають втрати саме на інфільтрацію повітря, або втрати теплого повітря під час провітрювань та виходу крізь щілини та двері. Замінені дерев'яні вікна

на металопластикові покращили тепловий стан в учбових класах, але виникла необхідність у додатковому провітрюванні приміщень, і це пов'язано з існуючою застарілою непрацюючою повітряною системою.

Експериментальна частина.

Для вимірювань було використано: комплексний прилад Регістратор CO₂ TR-75Ui



(див. рис. 3) з діапазоном вимірювань CO₂: 0...9999 ppm, температури: 0...55°C, відносної вологості: 10...95% RH. Для дублювання температур повітря та відносної вологості було використано термісторний електронний комплексний прилад LM-8000 з діапазоном вимірювань температур -20°C ... +65°C і відносної вологості - 10...95% RH, а також пірометр GM320 з діапазоном вимірювань -50°C ... +380°C для вимірювань поверхонь стін, підлоги, стелі, вікон та радіаторів опалення. Для визначення площі та об'єму класів було використано лазерний дальномір Eco Dist Plus з можливістю вимірювати до 30 м з точністю ±1мм та вбудованою функцією

Рисунок 3 – Прилади для вимірювання вмісту CO₂, температури, вологості та швидкості вітру.

розрахунку площі та об'єму. Дослідження проводились після осінніх канікул, в листопаді місяці коли в школі було включено опалення. Вміст CO₂ в повітрі біля школи визначався на протязі доби одного із днів – дані наведено в табл. 2, рис.4.

Була розглянута динаміка зміни температури, відносної вологості та вмісту CO₂ в приміщенні об'ємом 194,4м³ одного із старших класів, в якому під час занять були присутні 22 чоловіка. Вимірювання проводились на третьому поверсі в навчальному класі, кориді та на вулиці до та після занять, для порівняння з фоновим вмістом CO₂. Дані по вимірюванню представлені у вигляді графіків на рисунках 5-6.



Рисунок 4 – Місця вимірювання природного фону.

Таблиця 2.

| 8:00 | | | | | |
|------|------|------|-----------------------|---------|--|
| № | t, C | φ, % | CO ₂ , ppm | Vв, м/с | |
| 1 | 9,5 | 87 | 452 | 0,1 | |
| 2 | 9,4 | 89 | 461 | 0,1 | |
| 3 | 9,1 | 88 | 463 | 0 | |
| 4 | 9,6 | 91 | 458 | 0 | |
| 5 | 9,4 | 91 | 480 | 0,1 | |

| 12:00 | | | | | |
|-------|------|------|-----------------------|---------|--|
| № | t, C | φ, % | CO ₂ , ppm | Vв, м/с | |
| 1 | 11,8 | 80 | 530 | 0,5 | |
| 2 | 11,4 | 80 | 506 | 0,4 | |
| 3 | 11,5 | 81 | 468 | 0,8 | |
| 4 | 11,5 | 81 | 460 | 0,5 | |
| 5 | 11,4 | 81 | 455 | 0,4 | |

| 16:00 | | | | | |
|-------|------|------|-----------------------|---------|--|
| № | t, C | φ, % | CO ₂ , ppm | Vв, м/с | |
| 1 | 10,4 | 83 | 473 | 0,3 | |
| 2 | 10,2 | 82 | 482 | 0,2 | |
| 3 | 10,2 | 82 | 475 | 0 | |
| 4 | 10 | 83 | 469 | 0,1 | |
| 5 | 10,1 | 81 | 470 | 0,2 | |

| 20:00 | | | | | |
|-------|------|------|-----------------------|---------|--|
| № | t, C | φ, % | CO ₂ , ppm | Vв, м/с | |
| 1 | 9,8 | 86 | 440 | 0,3 | |
| 2 | 9,9 | 85 | 446 | 0,3 | |
| 3 | 10,1 | 84 | 475 | 0,6 | |
| 4 | 10,4 | 83 | 446 | 0,8 | |
| 5 | 10,2 | 80 | 446 | 0,7 | |

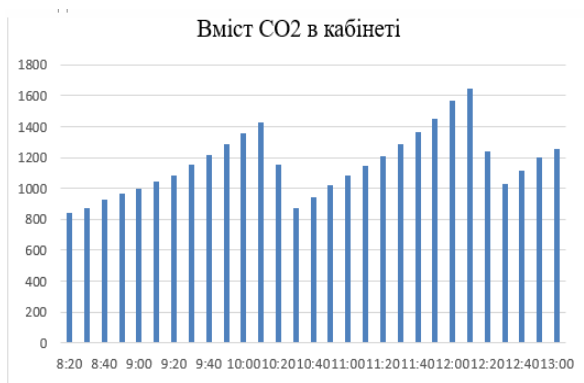


Рисунок 5 – Результати вимірювання CO₂ у навчальному класі.

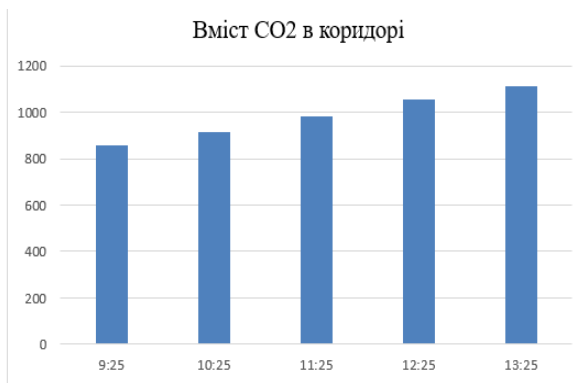


Рисунок 6 – Результати вимірювання CO₂ у коридорі.

Значення природного фону CO₂ знаходилось на рівні 550 ppm, що дещо вище добою раніше виміряних значень на вулиці. Максимальні значення CO₂ в класі перед провітрюванням □ 1426, 1642, 1346 ppm відповідає допустимим та обмежено допустимим нормам. Провітрювання проводились вчасно, але оптимальні норми завищені вдвічі. Температура та відносна вологість підтримувались на рівні комфорту 22,4...24,7 °C та φ=40...45% відповідно. Але кожен раз після трьох 10 хвилинних провітрювань температура в класі знижувалась на 2,5 К, що відповідає втраті теплоти у 1750 кДж або майже 1,0 кВт теплової енергії за 10 хв. провітрювання.

Нами запропоновано, як рішення для ефективного повітрообміну і зменшення частки CO₂ в приміщеннях та підтримання оптимальних теплових без коливань температури та вологісних умов запропоновано встановити рекуператори для вентиляції повітря, які можливо встановлювати стінці або виводити наорище. В табл.3 наведено характеристики ряду рекуператорів встановлення яких дозволить не тільки оновлювати повітря, а і забезпечити його підігрів, фільтрування від забруднюючих речовин вулиці пилку, пилу, комах та бактерій.

Таблиця 3.

| Назва рекуператору | ТвінФреш_Comfo-RB-50-3 | ТвінФреш_ІЗІ-Д РЛ7-50-17 | ТвінФреш_Експерт RB1-50-14-B-2 | Prana-150 | Prana-200C | ТвінФреш_CA-62 |
|--------------------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------|------------|----------------|
| Габарити, мм | 280x330 | 215x250 | 310x260 | 175 | 215 | 300x310 |
| Діаметр проводу, мм | 157 | 160 | 160 | 150 | 200 | 170 |
| Товщина стіни, мм | 240-425 | 250-500 | 310 | 475 | 500 | 470 |
| Споживана потужність, Вт | 7 | 7,6 | 7,06 | 32 | 36 | 8 |
| Темп. перекачуваного повітря, С | -20...+50 | -20...+50 | -15...+50 | -30...+50 | -30...+50 | -20...+50 |
| Ефективність рекуператора, % | 75 | 76 | 77 | 91 | 93 | 88 |
| Витрата повітря, м ³ /год | 50 | 50 | 50 | 105 | 235 | 58 |
| Рівень шуму, дБ(А) | 32 | 38 | 30 | 24 | 24 | 29 |
| Ціна, грн | 6485 | 7200 | 5845 | 6950 | 9500 | 7906 |

Висновки

1. Рекуператор збалансує тиск в класі та на вулиці і таким чином приборе небажану інфільтрацію на 10...16%, зникне потреба у відкривання вікон в холодний період року для провітрювання.

2. Покращення повітрообміну з використанням рекуператорів має суттєві капіталовкладення, але і невеликий термін окупності на рівні чотирьох років.

Список використаної літератури

1. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. –[Чинний від 2014-01-01]– К.: Мінрегіон, 2013. – 141 с. – (Національний стандарт України)
2. ДСТУ Б EN 15603:2013 Енергетична ефективність будівель. Загальне енергоспоживання та проведення енергетичної оцінки (EN 15603:2008, IDT)
3. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. 145 с.
4. ДБН В.2.2-3:2018. Будинки і споруди. Заклади освіти. 61 с.
5. Розрахунок погодної природної кратності повітрообміну в багатоповерхових будівлях в умовах мінливості зовнішнього та внутрішнього середовища. Дешко В.І., Білоус І.Ю., Гетманчук Г.О. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. Вип. 184. 2019. С. 68-78
6. Результати досліджень умов повітряного комфорту в приміщеннях шкіл Солом'янського району в м.Києві. Виноградов-Салтиков В.О. Гаврилюк Д.С., Святний Л.О., Чубенко Д.Е. Матеріали VI Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. студ., асп. і молодих вч. «Актуальні проблеми сучасної енергетики». 22-24 трав. 2019 р. м. Херсон: ХНТУ, 2019. С. 141-144 URL:[http://kntu.net.ua/ Conference_ARME](http://kntu.net.ua/Conference_ARME).

**ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ
СЕРЕДНЬОЇЗАГАЛЬНООСВІТНЬОЇ ШКОЛИ № 46 ЗА ДОПОМОГОЮ
КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВОГО
НАСОСУ**

**INCREASING THE LEVEL OF ENERGY EFFICIENCY OF SECONDARY
GENERAL EDUCATION SCHOOL № 46 WITH THE HELP OF COMPUTER
SIMULATION AND APPLICATION OF HEAT PUMP**

Анотація: В роботі розглянуто систему опалення школи №46. Проаналізовано теплові втрати школи та проведений енергетичний аудит будівлі. Школу було змодельовано в програмі Design Builder та порівняно результати з техніко-економічним розрахунком. Було розглянуто можливість встановлення теплового насосу.

Abstract: The paper deals with the heating system of the school №46. The school's heat losses and energy audits of the building were analyzed. The school was modeled in the Design Builder program and compared the results with a feasibility study. The possibility of installing a heat pump was considered.

Ключові слова: енергозбереження, енергоефективність, енергетичний аудит, Design Builder, тепловий насос.

Keywords: energy saving, energy efficiency, energy audit, Design Builder, heat pump.

Вступ

Переважаюча більшість закладів освіти України були побудовані ще до 1990 року. Через що вони мають, як технічну зношеність, так і моральну. Адже норми за якими будувалися заклади освіти не мали на меті побудову енергоефективної будівлі.

Також, серед мінусів вище зазначених закладів є підключення до централізованого опалення. Стан теплових мереж в Україні можна вважати як незадовільним. За даними [1] теплопостачальних організацій у 2018 році в областях України було зафіксовано 9 590 технологічних порушень. Переважну кількість випадків склали пориви на магістральних та розподільчих теплових мережах.. Через що тепловтрати через трубопроводи є значними і без капітального ремонту є ненадійним джерелом теплопостачання. Серед інших проблем центрального теплопостачання є зношеність обладнання на котельнях та матеріал, що на них спалюється – в переважній більшості газ та вугілля. У відповідності до енергетичної Стратегії України [2] є потреба у відмові зазначених вище джерел теплової енергії та переході на відновлювальні технології.

Тому для комплексного підходу з підвищення енергозбереження та енергоефективності закладу освіти найбільш доцільнішим буде проведення комплексного енергоаудиту. З подальшим виявленням слабких енергетичних сторін об'єкту та виокремлення першочергових заходів, які дадуть вагомий енергетичний та грошовий ефект.

В результаті проведення енергетичного аудиту середньої загальноосвітньої школи № 46 в місті Києві, по вулиці Миколи Василенка 10. Було проведено техніко-економічний розрахунок енергетичних параметрів будівлі та засобів енергозбереження.

Після чого данні розрахунки були підкріпленні в програмному забезпеченні Design Builder.

Заклад можна віднести до закладів освіти, а саме – школи. Огороджувальні конструкції зорієнтовані на: Пн-Сх, Пд-Сх, Пд-Зх, Пн-Зх. Будівля складається з двох крил сполученим одноповерховим вестибюлем.

Крило А має чотири поверхи, стіни знаходяться в задовільному стані, не мають теплоізоляції. Деякі вікна замінені на металопластикові, інша частина це досить застарілі дерев'яні вікна в поганому стані, також сходові клітини освітлюються через склоблоки, які мають велику площу та через свою зношеність їх тепловтрати досить значні. Крило А використовується в навчально-адміністративних цілях. По буднях навчання відбувається з 8:30 до 16:00, персонал школи знаходиться до 18:00, а по вихідних крило знаходиться без людей, охоронці час від часу роблять обхід.

Крило Б – одноповерхове, всередині знаходиться спортзал, актові зала та їдальня. Стіни крила знаходяться в задовільному стані, частково теплоізолювані (приміщення спортзалу) шаром мінеральної вати. Більша половина вікон замінена на металопластикові, решта - зношені дерев'яні. Графік роботи крила Б однаковий з крило А, за винятком спортзалу, де гуртки закінчують роботу о 19:00 по буднях.

Загальна опалювальна площа школи 8100 м². Опалювальний об'єм 23840 м³. Дах плоский над опалювальним приміщенням, площа складає 3100 м². Площа дверей складає 32 м². В школі проходить навчання 424 діти та працює 34 людини.

В програмі Design Builder було промодельована зовнішня оболонка будівлі в фактичному, базовому та запропонованому випадку:

- Фактичний випадок – моделювання при внесенні в програму фактичних температур приміщення та фактичних замірів параметрів необхідних програмі для моделювання;
- Базовий випадок – моделювання при внесенні в програму температур та параметрів відповідно до діючих нормативних актів та відповідного проекту будівлі;
- Запропонований випадок - це моделювання при внесенні в програму запропонованих після техніко-економічного розрахунку даних необхідних для моделювання програмі.

Мета та завдання

Основним напрямком у роботі було проведення енергетичного аудиту та моделювання школи в програмі Design Builder, після чого надання рекомендацій що до підвищення енергетичної ефективності закладу.

Матеріал та результат досліджень

За результатами проведеного аудиту за [3] та [4] основні дані були внесенні до таблиці 1.

Таблиця 1 - основні відомості про об'єкт

| | | | |
|---|---|------|------|
| 1 | Місце розташування об'єкту | Київ | |
| 2 | Кліматична зона | I | |
| 3 | Тривалість опалювального періоду | дiб | 176 |
| 4 | Середня температура опалювального періоду | °C | -0,1 |

| | | | |
|-----------------------|---|------------------------|--------|
| 5 | Розрахункова температура внутрішнього повітря | °C | 18 |
| 6 | Розрахункова температура зовнішнього повітря | °C | -22 |
| 7 | Опалювана площа | м ² | 8 000 |
| Продовження таблиці 1 | | | |
| 8 | Опалюваний об'єм | м ³ | 23 840 |
| 9 | Кількість персоналу | чол. | 424 |
| 10 | Кількість учнів | чол. | 34 |
| 11 | Графік роботи | год. | 24 |
| 12 | Поточна вартість теплової енергії грн/ Гкал. | грн/ Гкал. | 1 822 |
| 13 | Поточна вартість електричної енергії грн/ кВт | грн/ кВт. | 1,68 |
| 14 | ERmax | кВт*год/м ³ | 28 |

За результати обстеження огорожуючих конструкцій були розраховані фактичні опори теплопередачі та занесені в Таблицю 2.

Таблиця 2 – Розрахунковий опір теплопередачі

| № | Огороджувальна конструкція | Нормативний опір теплопередачі Ro (м ² *°C)/Вт | Розрахунковий опір теплопередачі Ro (м ² *°C)/Вт |
|---|----------------------------------|---|---|
| 1 | Зовнішні стіни | 3,30 | 0,81 |
| 2 | Перекрыття неопалюваного підвалу | 3,75 | 0,61 |
| 3 | Перекрыття неопалюваного горища | 4,95 | 1,63 |
| 4 | Вікна | 0,75 | 0,40 |
| 5 | Двері | 0,60 | 0,40 |

Відповідно до розрахунків термічний опір конструкцій значно менший ніж за [дбн тепл. изол.]. Отже, для того, щоб будівля відповідала діючим нормативам України потрібно здійснити комплексну теплоізоляція будівлі з заміною вікон на такі, які відповідають вище згаданим нормам.

В таблиці 3 та 4 наведено результати розрахунку теплової потреби системи тепlopостачання школи за опалювальний сезон реального стану огорожуючих конструкцій та при термомодернізації відповідно до висновків енергоаудиту.

Таблиця 3 – Теплова потреба школи до термомодернізації

| № | Назва | Позначення | Од. виміру. | Значення |
|---|---|------------|------------------------------|--------------|
| 1 | Необхідна кіл-ть теплової енергії опалення | QH,nd | кВт*год | 648 294 |
| 2 | Необхідна кіл-ть теплової енергії для системи ГВС | QDHW,nd | кВт*год | 43 197 |
| 3 | Теплонадходження | Qt | кВт*год | 326 559 |
| 4 | Річна енергопотреба будівлі | QH | кВт*год | 691 491 |
| 5 | Розрахункова питома енергопотреба | EP | кВт*год/м³ | 29 |
| 6 | ((EP-EPmax)/EPmax)/100% | | % | 2,59% |

Таблиця 4 – Теплова потреба школи після виконання приписів енергоаудиту

| № | Назва | Позначення | Од. виміру. | Значення |
|-----------------------|---|------------|------------------------------|----------------|
| 1 | Необхідна кіл-ть теплової енергії опалення | QH,nd | кВт*год | 258 644 |
| 2 | Необхідна кіл-ть теплової енергії для системи ГВС | QDHW,nd | кВт*год | 43 197 |
| 3 | Теплонадходження | Qt | кВт*год | 326 559 |
| Продовження таблиці 4 | | | | |
| 4 | Річна енергопотреба будівлі | QH | кВт*год | 301 840 |
| 5 | Розрахункова питома енергопотреба | EP | кВт*год/м³ | 13 |
| 6 | ((EP-EPmax)/EPmax)/100% | | % | -54,78% |

Відповідно до [3] клас енергоефективності школи до термомодернізації D, що пояснюється недостатньою температурою подачі теплоносія від центрального тепlopостачання. При умовах виконання всіх заходів прописаних за результатами проведеного енергетичного аудиту, рівень енергетичної ефективності закладу сягне рівня A, що є максимальним згідно дійсних нормативів. Комплексна теплоізоляція школи дасть змогу підвищити внутрішні комфортні умови, а саме внутрішню температуру, а також за рахунок меншої потреби в тепловій енергії. Зменшення потреби в тепловій енергії показано в Таблиці 5.

Таблиця 5 – Порівняння тепловитрат школи до та після термомодернізації

| № | Тип теплопередачі | Теплопередача до термомодернізації | | Теплопередача після термомодернізації | | Зменшення в відсотках |
|---|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| | | Q(кВт*год) | За опалювальний період Qht (кВт*год) | Q(кВт*год) | За опалювальний період Qht (кВт*год) | |
| 1 | Зовнішні стіни | 111 | 211 581 | 25 | 48 728 | 76,97% |
| 2 | Перекриття неоп. підвалу | 76 | 145 377 | 52 | 98 880 | 31,98% |
| 3 | Горищне перекриття | 76 | 145 705 | 22 | 42 559 | 70,79% |
| 4 | Вікна | 87 | 165 333 | 46 | 88 177 | 46,67% |
| 5 | Двері | 3 | 6 116 | 3 | 6 116 | 0,00% |
| 6 | Теплопередача вентиляцією | 157 | 300 741 | 157 | 300 741 | 0,00% |
| 7 | Всього | 510 | 974 853 | 306 | 585 203 | 39,97% |

За результатами енергетичного аудиту були виокремлені заходи, які нададуть позитивний енергетичний ефект та допоможуть зменшити затрати на оплату теплової енергії. Дані заходи показані в таблиці 6.

Таблиця 6 - Заходи з енергозбереження та енергоефективності

| № | Захід з енергозбереження та енергоефективності | ΔE , $\frac{грн}{рік}$ | $\frac{Гкал}{рік}$ | T, роки |
|----------------|--|-----------------------------------|--------------------|---------|
| 1 | Заміна вікон | 57620 | 42,5 | 5 |
| 2 | Утеплення зовнішніх стін | 245675 | 181,2 | 4,16 |
| 3 | Утеплення даху | 164960 | 126,7 | 5,1 |
| 4 | Промивка системи теплопостачання | 41500 | 30 | 1,3 |
| 5 | Ізоляція трубопроводів опалення | 31160 | 22,5 | 3,2 |
| Загалом | | 650205 | 482,9 | - |

До вище зазначених заходів також пропонується додати встановлення теплового насосу ґрунт-вода для потреб гарячого водопостачання, особливо в літній період коли за рахунок гуртків потреба в ГВП є, проте воно не відбувається з технологічних причин. А також такий насос може покрити потребу в опаленні крила Б. Для кращої ефективності роботи теплового насосу пропонується обладнати крило Б, так звану, теплою підлогою. Також на ввіді в крило пропонується встановити привод з контролером Сіменс, який за рахунок регулювання по внутрішній температурі приміщення в холодні місяці, коли COP теплового насосу буде низький, частково відкриється та почне запускати теплоносій до вже існуючих батарей.

За допомогою програми DesignBuilder було змодельовано школу № 46. Загальний вигляд школи покажемо на рисунок 1.

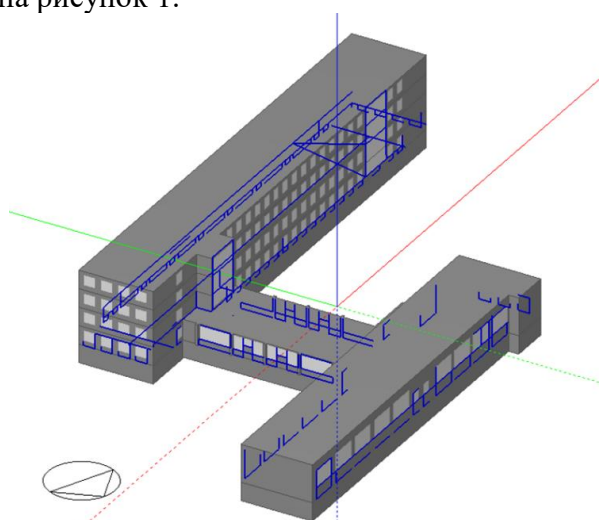


Рисунок 1 – загальний вигляд школи

В даній програмі було змодельовано 3 випадки: фактичний, базовий, запропонований. Результати роботи програми наведемо на рисунках 2-4.

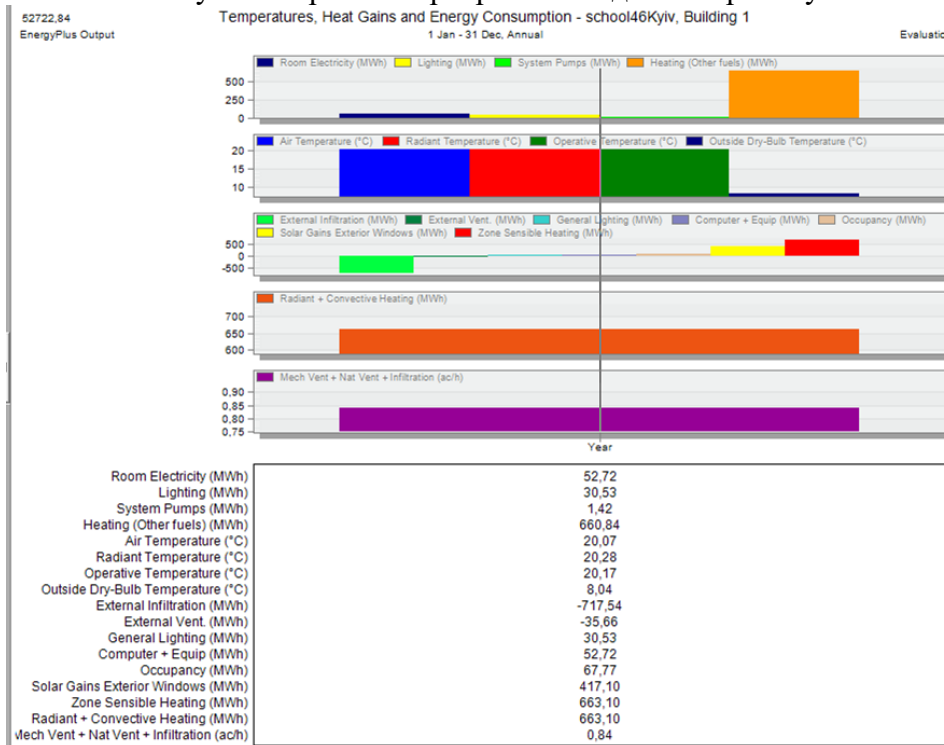


Рисунок 2 – фактичний випадок

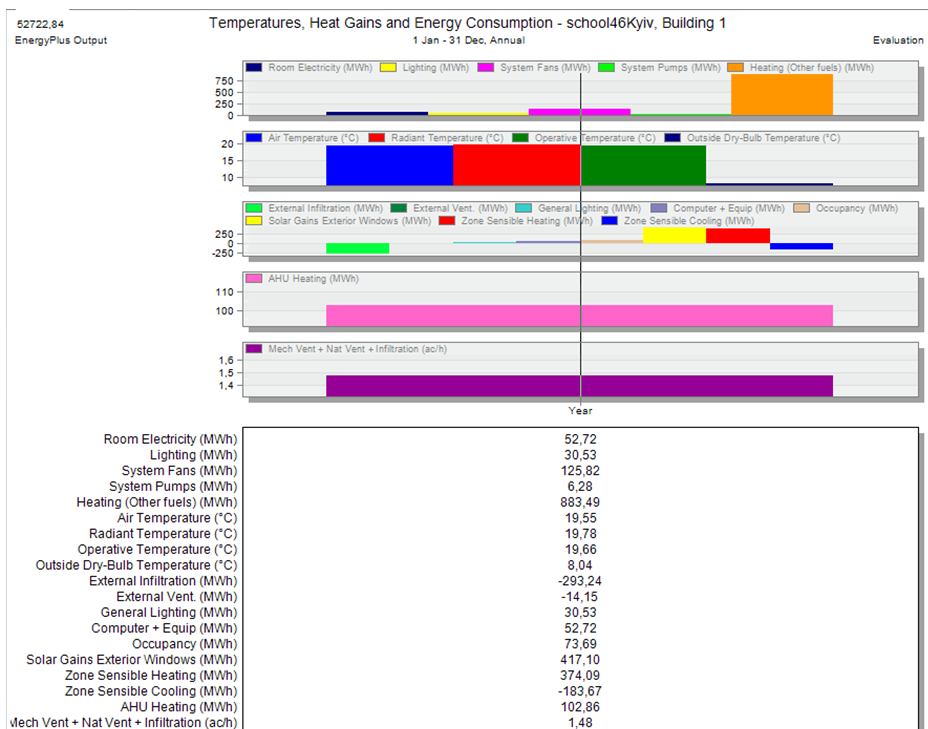


Рисунок 3 – базовий випадок

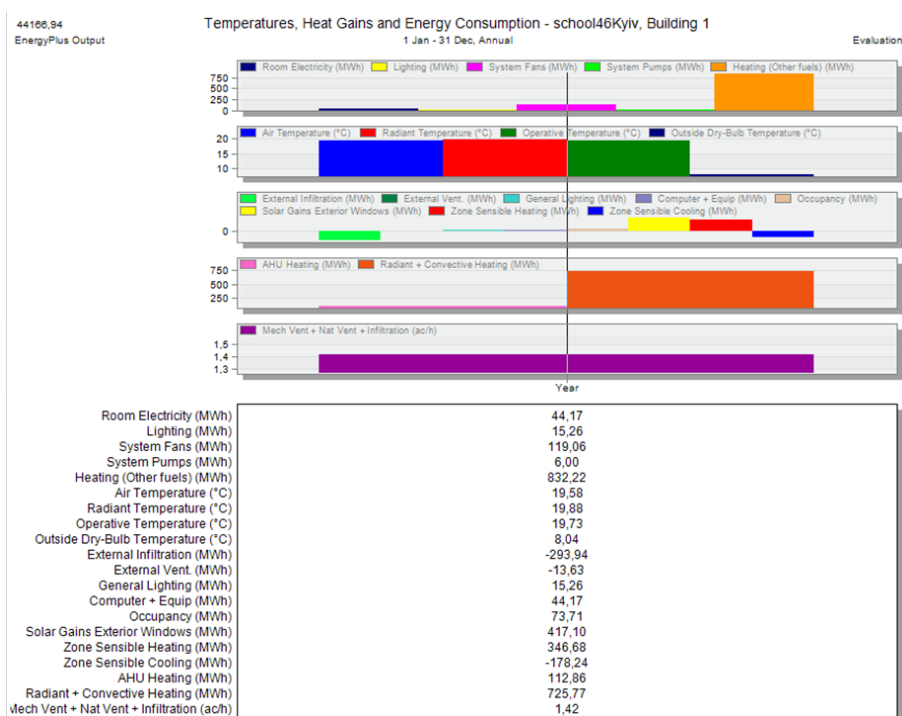


Рисунок 4 – запропонований випадок

Порівнюючи результати фактичного моделювання та техніко-економічного розрахунку можна побачити, що вони є в обох випадках результати подібні. DesignBuilder віняється техніко-економічного тим що має змогу застосування більш детального та дрібного моделювання і має змогу моделювати окремими зонами. Також програма DesignBuilder є більш візуально зрозумілим, особливо при достатньому рівні володіння англійською мовою.

Висновки

13. Застарілі огорожуючі конструкції школи не відповідають умовам дійсних стандартів України, що в свою чергу викликає значні тепловтрати та витрати на купівлю теплової енергії. При проведенні комплексної термомодернізації будівлі ці затрати суттєво скоротяться.
14. При умові впровадження всіх заходів з енергоефективності з'явиться можливість встановлення теплового насоса для потреб опалення та ГВП, що зробить об'єкт частково децентралізованим.

Перелік використаних джерел

1. Гідравлічні випробування теплових мереж - необхідна передумова надійного опалювального сезону. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/printable_article?art_id=245368888
2. ЕНЕРГЕТИЧНА СТРАТЕГІЯ УКРАЇНИ НА ПЕРІОД ДО 2035 РОКУ «БЕЗПЕКА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЬ». СХВАЛЕНО розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р.
3. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. 12 с.
4. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. 10 с.

УДК 697.1:332.87

Бубнов В.В.

Кафедра теплотехніки та енергозбереження

**АНАЛІЗ ПОЛІТИКИ ПІДПРИЄМСТВ - ПОСТАЧАЛЬНИКІВ
КОМУНАЛЬНИХ ПОСЛУГ**

**ANALYSIS OF ENTERPRISE POLICIES - COMMUNAL SERVICE
PROVIDERS**

Анотація: В роботі розглянуто систему опалення житлового будинку після реконструкції. Проаналізовано теплові втрати трубопроводами теплопостачання та циркуляції централізованого опалення та гарячого водопостачання. Також, було розглянуто спірні моменти в Українському законодавстві щодо оплати місць загального користування. Було проведено порівняльний перевірений розрахунок тепловтрат системою трубопроводів.

Abstract: The paper deals with the heating system of an apartment building after reconstruction. The heat losses of the heat supply pipelines and of the district heating and hot water circulation are analyzed. Also, the controversial issues in the Ukrainian legislation on payment for public places were discussed. A comparative check of heat losses by the pipeline system was carried out.

Ключові слова: енергозбереження, місця загального користування (МЗК), система централізованого опалення (ЦО), система централізованого постачання гарячої води (ЦПГВ), житлово комунальне господарство (ЖКГ).

Keywords: energy saving, district heating system, common facilities, centralized heating system, centralized hot water supply system, housing and utility services.

Вступ

Система ЖКГ являє собою ланцюг, що складається з виробників, постачальників та споживачів житлово-комунальних послуг. Основним завданням є функціонування житлового фонду, підтримання параметрів мікроклімату будівель на належному рівні, утримання комунікацій в робочому стані.

До структурних одиниць енергетичних підприємств належать:

- Електричні, газові, теплофікаційні розподільчі мережі
- Опалювальні котельні
- ТЕЦ і електростанції
- Газові заводи

В Україні наявні такі проблеми щодо використання енергетичних ресурсів в сфері житлово-комунального господарства:

- 1) погана керованість підприємств житлово-комунальної галузі;
- 2) низька якість послуг, що надаються;
- 3) застарілість існуючої системи енерго- та теплозабезпечення;
- 4) незахищеність населення перед свавіллям компаній-енергопостачальників;
- 5) високі тарифи на послуги для населення.

Державний контроль за сферою ЖКГ здійснюється на рівні законів, стандартів, норм, порядку і правил, стосовно утримання, обслуговування та експлуатації систем тепlopостачання та інженерного обладнання житлового фонду України.

За підрахунками Держстатистики [1] на 1 січня 2018 року в житловому секторі України налічується понад 9,137 млн. житлових будинків, з яких 566 347 належать Київській області. Аварійний житловий фонд (житловий будинок, у якого надземні конструктивні елементи, фундамент, або будинок у цілому, не відповідають вимогам безпечної експлуатації або частково зруйновані та фізичний знос будинку становить 81...100 %) складає 16 505 будинків, а ветхий житловий фонд (житлові будинки, у яких надземні конструктивні елементи, фундамент (або будинок у цілому) обмежено виконують свої функції та фізичний знос будинку становить 61...80 %) – 44 859 будівель.

З 16 млн. 965 тис. квартир житлового фонду Київській області, з них гарячим водopостачанням (ГВП) обладнано 7 983 286 квартир та мають централізоване опалення (ЦО) – 8 005 850 квартир, індивідуальним опаленням обладнані – 3 589 061 квартира.

Ефективне використання енергоресурсів є основним шляхом підвищення якості функціонування системи ЖКГ і надання споживачам послуг високого рівня. Сьогодні ж питомі втрати енергетичних ресурсів під час виробництва та транспортування в 3-4 рази більші ніж у розвинених країнах.

Зокрема, у Європі:

- нормативні максимальні теплові витрати в Європі біля 45 кВт•год/(м²•рік), в Україні – 57 кВт•год/(м²•рік);

- нормативне споживання теплової енергії в Європі 20-55 кВт•год/(м²•рік), в Україні – 180-310 кВт•год/(м²•рік).

Середнє питоме споживання теплової енергії будівель в Україні в 2 рази вище ніж у країнах Європейського Союзу та становить близько 175 кВт•год/(м²•рік), аналогічний показник країн Європейського Союзу є на рівні 86 кВт•год/(м²•рік) [2].

Довгий термін експлуатації котельного та технологічного обладнання, системи трубопроводів, що використовується для тепlopостачання призвів до їх фізичної зношеності. Це, в свою чергу, призвело до надмірних витрат паливно-енергетичних ресурсів, понаднормованих витрат енергії, зросла кількість аварійних ситуацій та ремонтних робіт, а отже – призвело до підвищення тарифів та збільшення витрат населення на комунальні послуги. Збільшення - перевитрати у споживанні паливно-енергетичних ресурсів призвели до збільшення бюджетних видатків та значного підвищення вартості житлово-комунальних послуг.

Основною складовою низької енергетичної ефективності інженерних мереж і систем є високий рівень питомих витрат теплової енергії, гарячої та холодної води у споживачів комунальних послуг, які проживають в багатоквартирних житлових будинках. Перенесення вартості ремонтних робіт за рахунок власників житла (житло в більшості приватизоване – знаходиться у власності мешканців будинків) під час становлення незалежної держави України - хитрий економічний хід зменшити витрати держави, але при цьому ще і зруйнувати - навіть знищити налагоджену систему ремонтних будівельних управлінь, які займались капітальними ремонтами будівель житлового фонду за рахунок державного та фондів підприємств. В результаті фізична та моральна зношеність конструкцій та внутрішніх систем житлових будівель стала головною причиною зниження якості комунальних послуг, так і погіршення комфортності, надійності і безпечності умов проживання.

Найбільш неприємні наслідки має приватизація стратегічних напрямків розвитку України тепло-та електроенергетики та зосередження їх в руках незначної кількості монополістів з незмінною ненаситністю та збільшенням прибутків за рахунок експлуатації застарілого теплоенергетичного обладнання, тепло- та електромереж - реконструкція яких передбачена саме за рахунок споживачів та коштів з бюджету.

Мета та завдання

Основним напрямком у роботі було визначення складових теплоспоживання будинку та тепловтрат по всій гілці теплопідведення ГВП та ЦО, тепловтрат будівлею, та у з'ясуванні невідповідності в сплаті за теплову енергію та в дійсній кількості її споживання.

Матеріал та результати досліджень

Переважна частина житлового фонду країни побудована у 50-80 роках минулого століття, яка не відповідає сучасним вимогам енергозаощадження, відповідно у цих будівлях низький рівень енергозбереження та більше ніж потрібне енергоспоживання. За оцінками як вітчизняних, так і закордонних експертів, потенціал економії електроенергії в будинках і спорудах дорівнює 50 – 65 %, а теплової енергії - близько 50 %.

Втрати теплової енергії будинком, а також потенціал енергозбереження сьогодні має такий розподіл:

- зовнішні стіни – 40 % (потенціал економії – 70 %);
- вікна, двері – 25 % (потенціал економії – 50 %);
- вентиляція – 15 % (потенціал економії – 65 %);
- гаряча вода – 10 % (потенціал економії – 30 %);
- дах, підлога – 8 % (потенціал економії – 50 %);
- трубопроводи, арматура – 2 % (потенціал економії – 35 %).

З огляду на дані, основне споживання енергоносіїв в житловому секторі пов'язане з опаленням будинку з причини теплових втрат через вікна, стіни, дах, підлогу та за рахунок вентиляції. До можливої значної економії і витрат ресурсів та зниженню тепловтрат, у першу чергу слід віднести наявність бажання споживачів до енергозбереження, в системах теплопостачання, опалення, вентиляції і кондиціонування повітря. Вирішення пов'язано із реалізацією заходів із проведенням термомодернізації будинків - через утеплення зовнішніх стін, горищ, дахів тощо, а також заміну на більш енергоефективні вікон і дверей; збільшення корисного використання енергії за рахунок застосування рекуператорів, терморегуляторів, теплових насосів та інших новітніх енергозберігаючих технологій. Впровадження заходів з термомодернізації буде сприяти збільшенню строку служби будівель житлового сектору області. На даний час державою пропонують пільгові умови термомодернізації 30/70, на жаль це не стосується окремих громадян.

Сформована урядом концепція в теплопостачанні переслідує лише одну мету - перенести відповідальність за стан ЖКГ, а також витрати з його утримання на населення - і в цьому розумінні носять винятково фіскальний характер. З огляду на рівень доходів і заощаджень населення, з одного боку, і масштаби потреби у фінансових ресурсах на утримання та реконструкцію систем життєзабезпечення, які за останні двадцять років прийшли в критичний стан, - з іншого, така концепція приведе не до подолання, а до

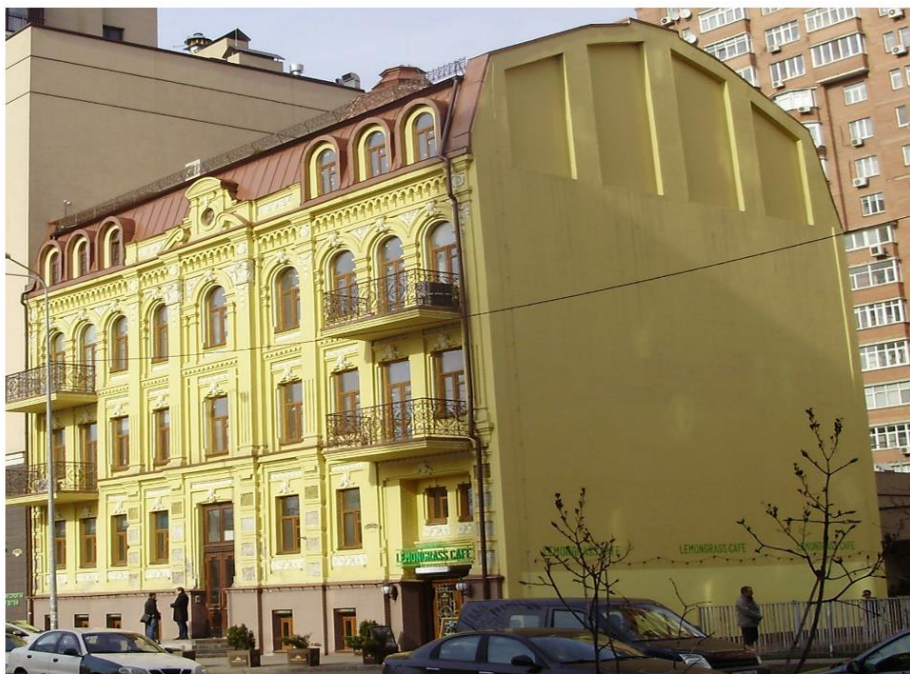


Рисунок 1 – Об'єкт дослідження.

будинку за адресою м. Київ, Златоустівська 14 (див. рис 1), що є об'єктом нашого дослідження.

Будинок побудовано у 1900 роках, в якому відбулась реконструкція, і зданого до експлуатації у 2014 році, має п'ять поверхів. Термічні опори огорожувальних конструкцій мають досить високі значення: стіни товщиною в 2,5 цегли – $2,8 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, вікна сучасні металопластикові з подвійним склінням - $1,01 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, вхідні двері дерев'яні з однокамерним закленням та з ущільненням по периметру - $0,74 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. Здавалося би, з такими характеристиками мешканці не повинні витратити великі кошти на опалення та ГВП, але, по факту, КП «Київтеплоенерго» виставило рахунки, що майже в два рази перевищували показники індивідуальних лічильників.

Теплопостачання до будинку 14 здійснюється від теплопункту, який знаходиться в будинку поруч по Златоустовській 16. Тепловий пункт має відкриту систему теплопостачання на ЦО (див. рис.2), в якій після каліброваної шайби на лініях подачі та звороту встановлено ультразвукові витратоміри та датчики температури, данні з яких зчитуються загальним будинковим теплолічильником. Крім загального теплолічильника кожна з квартир будинку 14 обладнана індивідуальним теплолічильником на системі ЦО та лічильником на централізоване постачання гарячої води. За схемою ЦО передбачено регулювання температури теплоносія за умов температурного графіку та температури повітря на вулиці.

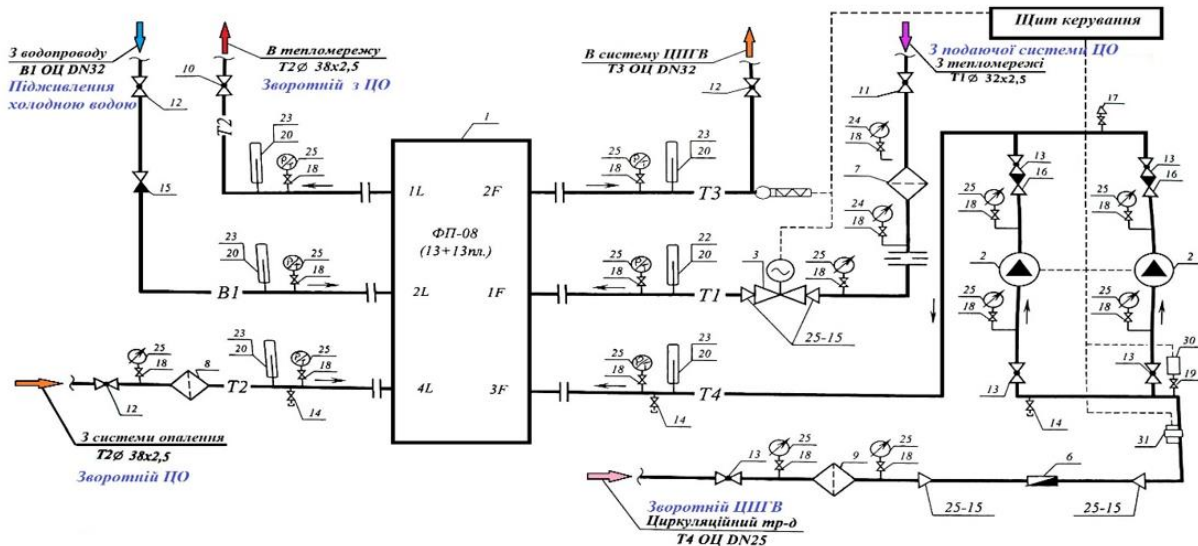


Рисунок 2 – Схема підключення теплообмінника

В подальшому транспортування теплоносія та його повернення здійснюється трубами, які проходять через підземний паркінг сусіднього будинку 16, та двома неопалювальними кімнатами, загальною протяжність теплових комунікацій 76 м. Паркінг знаходиться на першому та у підвальному поверхах, два в'їзди майже постійно відкриті, які закриваються вночі. За проектом паркінг має систему повітряного опалення, але за умов економії коштів вже кілька років не опалюється і температура в холодний період в паркінгу на 5 градусів вище за зовнішню температуру.

На звернення мешканців будинку щодо нарахування за послуги ЦО КП «Київтеплоенерго» надало інформацію та трактування оплати за місяця загального користування (МЗК). За розрахунками спеціалістів комунального підприємства, мешканцям необхідно було сплатити за 25,486 Гкал теплової енергії, що в грошовому еквіваленті складає 34533,53 грн. Але сумарні показники індивідуальних лічильників склали 8,961 Гкал (12 142 грн), покази ж загальнобудинкового лічильника – 22,613 Гкал. Тепловтрати на рівні 7,9 Гкал списано на тепловтрати в місцях загального користування.

Слід зауважити, що комунікації проходять через паркінг сусіднього будинку, через це виникає питання, а чи є це МЗК для нашого будинку? Визначення терміну «місяця загального користування» не було приведені в «Методиці розрахунку кількості теплоти, спожитої на опалення місць загального користування багатоквартирних будинків, та визначення плати за їх опалення». Але вона втратила чинність 25.01.2019 і на зміну прийшли «Методики розподілу між споживачами обсягів спожитих у будівлях комунальних послуг» [3]. Згідно неї: місяця загального користування (МЗК) - місяця, призначені для забезпечення експлуатації будинку та побутового обслуговування його мешканців, крім допоміжних приміщень. Також приведено термін: опалювані МЗК та допоміжні приміщення - місяця загального користування та допоміжні приміщення у будівлі, що приєднана до зовнішніх інженерних мереж або обладнана системою автономного теплопостачання, для яких нормується температура внутрішнього повітря. Як бачимо, визначення досить не точне, а всі неточності в нормативно-правових документах трактуються не на користь платника. Отже, є всі підстави вважати, що частина трубопроводу, що проходить через паркінг сусіднього будинку не є місцем загального користування, а частина що проходить через неопалювані приміщення нашого об'єкту – МЗК.

Також викликають сумніви обсяги тепловтрат, тому нами було проведено розрахунки, щоб впевнитись, що тепловтрати можуть сягати 7... 8 Гкал. Було розглянуто діапазон температур зовнішнього повітря для грудня 2018 року (дані взято із сайту Українського Гідрометцентру). Зовнішній діаметр трубопроводів ЦО – $d=57$ мм, трубопроводів ГВП – $d=38$ мм. Зовні трубопроводи покриті ізоляцією на основі синтетичного етилен-пропіленового каучуку товщиною 10 мм, з експлуатаційною теплопровідністю $\lambda=0,06$ Вт/(м·К). Протяжність теплових комунікацій по паркінгу та неопалювальним приміщенням складає 75 м (Рис.3). Розрахунки розглянуто для добових середніх температур та температури в паркінгу на рівні $+1...+5^{\circ}\text{C}$. Розрахунки зведено до таблиці.



Рисунок 3 – Теплові комунікації в паркінгу.

Таблиця – Розрахунок тепловтрат трубопроводами.

| | Середньодобова температура | Q подача, Гкал/добу | Q зворот, Гкал/добу | Q подача, Гкал/добу | Q зворот, Гкал/добу |
|-----------|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 грудня | -6,2 | 0,09008 | 0,07335 | 0,0651 | 0,04854 |
| 2 грудня | -7,25 | 0,09008 | 0,07335 | 0,0651 | 0,04854 |
| 3 грудня | -5,25 | 0,08240 | 0,06692 | 0,0595 | 0,04429 |
| ... | | | | | |
| 29 грудня | -0,86°C | 0,06949 | 0,05662 | 0,0502 | 0,03747 |
| 30 грудня | -2°C | 0,07721 | 0,06306 | 0,0558 | 0,04173 |
| 31 грудня | -2,29 | 0,07721 | 0,06306 | 0,0558 | 0,04170 |
| Сума | | 2,19926 | 1,79385 | 1,5862 | 1,15822 |

За результатами розрахунку – за грудень 2018 втрати тепловими комунікаціями в паркінгу склали 6,7 Гкал, слід врахувати на 10...15% збільшення цих втрат, які в загальному балансі споживання склали 7,9 Гкал/міс та в грошовому еквіваленті дорівнювали 10704,5 грн.

Отже, за логікою комунального підприємства, мешканці повинні компенсувати тепловтрати трубопроводу, що пролягає поза межами будинку та сплачувати за кількість теплової енергії в 2 рази більшу, ніж вони фактично споживають на опалення своїх помешкань.

Висновки

1. Зазначена застарілість у використанні теплоенергетичного обладнання та теплових комунікацій побудованих у 80-ті роки минулого сторіччя вимагають значних коштів, фахових структур та термінових дій, що до здійснення повного їх оновлення. Це можливо тільки при розробці державними структурами довгострокового плану загальної енергомодернізації України, в першу чергу за кошти держави та іноземних кредитів, та в другу за кошти громад.

2. За умов вартості та сервісу централізованого теплопостачання «Київтеплоенерго» створюються умови переходу до індивідуального вироблення опалення та ГВП, що для ГВП вже набуло поширення в м. Києві.

Перелік використаних джерел

1. Житловий Фонд України. Статистичний збірник . Державна Служба статистики. Київ 2018
2. Energy saving program (energy efficiency) of the Kyiv region for 2017-2020. URL: http://koda.gov.ua/wp-content/uploads/2017/05/216_2017.doc.
3. Методика розподілу між споживачами обсягів спожитих у будівлі комунальних послуг. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 22 листопада 2018 року № 315 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1502-18#n15>

УДК 621.311

Ганжа Д.Г.

кафедра теплотехніки та енергозбереження

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ ДЛЯ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ШКОЛИ

USE SOLAR COLLECTORS FOR HOT WATER SUPPLY SCHOOL

Анотація. Розглянуто один з методів підвищення енергоефективності навчального закладу за рахунок використання сонячних колекторів для ГВП. Проведено порівняльний аналіз різних типів колекторів та обрано оптимальний тип колектора.

Ключові слова: сонячний колектор, гаряче водопостачання, програмні продукти.

Annotation. One of the methods of increasing the energy efficiency of the school through the use of solar collectors for DHW is considered. A comparative analysis of different types of collectors is carried out and the optimal type of collector is selected.

Keywords: solar collector, hot water supply, software products.

Вступ. Сонячні колектори є ідеальним доповненням до будь-якого генератора теплоти в системах гарячого водопостачання.

Використання сонячної енергії дозволяє зменшити витрати на опалення в два рази, а на отримання гарячої води в 4 рази. Сонячні колектори - найефективніші на сьогодні пристрої з використання енергії сонця. Якщо фотоелектричні панелі використовують 14-18% енергії сонця, що надходить на їх поверхню, то ефективність сонячних колекторів 60-80%. Основний принцип роботи полягає в тому, що сонячні колектори захоплюють сонячну енергію, перетворюють в теплову, і спрямовують її для використання людиною.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є аналіз ефективності роботи різних типів сонячних колекторів для використання в системі гарячого водопостачання школи.

Сонячні колектори поділяються на: трубчасті вакуумні і плоскі. Трубчасті вакуумні колектори - це дорогі і ефективні колектори, які використовуються в Європі протягом 20-ти років. Такі колектори встановлюють при необхідності отримання високої температури теплоносія або в комплексних системах для обігріву приміщень та нагрівання води. Плоскі ж колектори широко використовують через їхню невисоку вартість. Однак сьогодні більшість споживачів віддає перевагу трубчастим вакуумним колекторам, так як вони мають більш високий ККД і найнижчий рівень тепловтрат.

Плоский сонячний колектор – це один з найпоширеніших видів сонячних колекторів, які працюють за принципом дії парникового ефекту, тобто крізь скло практично проходять повністю всі сонячні промені і потрапляють на поверхню сонячного абсорбера.

Сонячний вакуумний колектор має значно менші теплові втрати в навколишнє середовище, оскільки вакуум є ідеальним теплоізолятором. У плоских колекторах проблематично домогтися герметичності для утримання вакууму через великий об'єм внутрішньої порожнини і конструкції корпусу.

У табл. 1 наведені основні переваги і недоліки вакуумного і плоского колекторів.

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця переваг та недоліків трубчастого вакуумного і плоского колекторів

| Вакуумні трубчасті | Плоскі високоселективні |
|---|---|
| <p>Низькі тепловтрати Працездатність в холодну пору року до -30°C Тривалий період роботи протягом доби Відмінне співвідношення ціна / продуктивність для помірних широт і холодного клімату Зручність монтажу</p> <p>Нездатність до самоочищення від снігу та інею</p> | <p>Високі тепловтрати Низька працездатність в холодну пору року Висока продуктивність влітку Відмінне співвідношення ціна / продуктивність для південних широт і теплого клімату Складність монтажу, пов'язана з необхідністю доставки на дах зібраного колектора Здатність очищатися від снігу та інею</p> |

Для зменшення фінансових витрат на гаряче водопостачання школи вирішено встановити сонячну геліосистему. Для аналізу були обрані чотири основні типи вакуумних трубчастих колекторів і один плоский високоефективний (рис. 1):

1. Прямоточний вакуумний колектор з пір'яною скляною колбою і трубкою типу труба в трубці.
2. Вакуумний трубчастий колектор з пір'яною скляною колбою і тепловою трубкою «heat pipe».
3. Прямоточний вакуумний колектор з коаксіальною колбою і U-подібними трубками і відбивачем.
4. Вакуумний трубчастий сонячний колектор з коаксіальною колбою і тепловою трубкою «heat pipe».
5. Плоский високоефективний сонячний колектор.

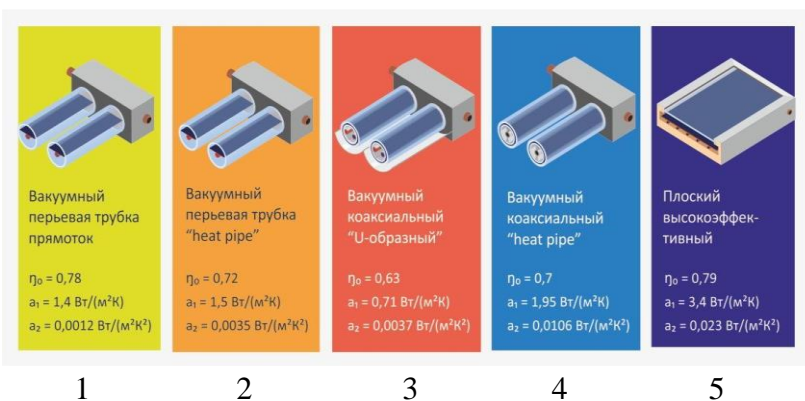


Рисунок 1 – Основні типи вакуумних трубчастих колекторів

На рис. 2 показана залежність ефективності колектора від різниці температур навколишнього повітря і теплоносія при сонячній радіації у 1000 Вт / м^2 . Для аналізу використовуємо середні параметри ефективності кожного обраного типу сонячного колектора, зазначеного на рисунку.

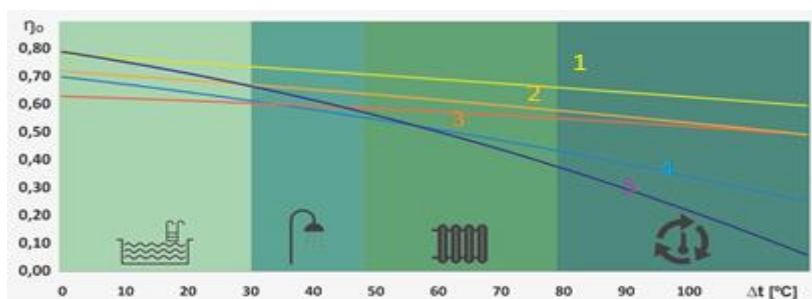


Рисунок 2 – Залежність ефективності колектора від різниці температур навколишнього повітря і теплоносія.

Усі дані зображені на (рис. 3-4) отримані за допомогою розрахунку, в програмних середовищах RETScreen [1] та T*SOL [2], які дозволяють імітувати роботу сонячної системи протягом року, і представленні у вигляді діаграм в MS Excel [3]. У розрахунках використовуються середні дані про сонячну радіацію і погоду в місті Києві.

На діаграмі (рис. 3) наведена кількість виробленої теплової енергії різними колекторами протягом року та за опалювальний період (нижня частина діаграми). Це дозволяє оцінити середню продуктивність колекторів за певний період.

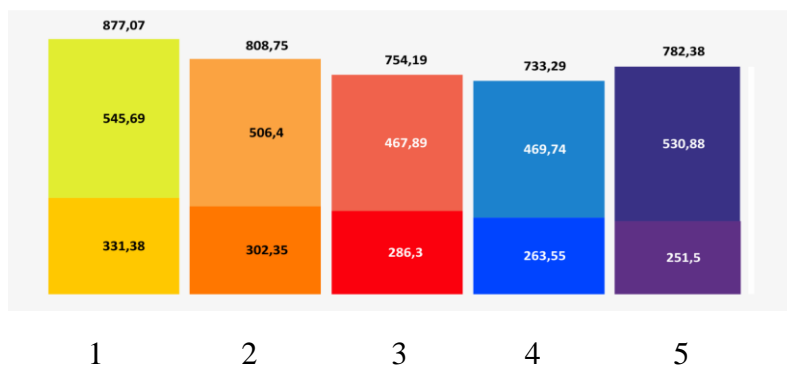


Рисунок 3 – Середня кількість виробленої теплової енергії різними колекторами протягом року.

Розрахунки проведені на 1 м^2 площі апертури кожного типу колектора.

Діаграма дозволяє оцінити максимальну ефективність при безперервній роботі сонячної системи протягом року. На практиці такі умови практично неможливі і не завжди показують реальну картину продуктивності сонячного колектора.

Вартість сонячних колекторів може значно варіюватися і залежить від: якості збірки, поглинача і матеріалу корпусу, товщини і способу укладання ізоляції, товщини скла та ін. Вартість отриманої теплової енергії від сонячних колекторів кожного типу визначаємо як середню вартість теплоти отриманої з 1 м² сонячного колектора (рис. 4).

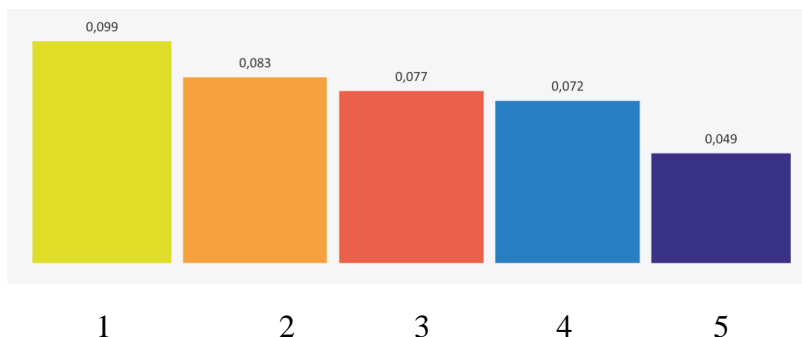


Рисунок 4 – Значення середньої вартості 1 кВт·год енергії з 1 м² різних типів колекторів

Як видно з рисунку теплота, яка отримана від прямого вакуумного колектора з пір'яною скляною колбою і трубкою типу труба в трубі, є найдорожчою. А найдешевшу теплоту одержують від плоского сонячного колектора, і відповідно вони мають менший термін окупності.

Висновок. Було проведено огляд різних типів сонячних колекторів та їх ефективності. Вакуумні колектори виробляють на 6-30 % більше теплоти ніж плоскі протягом року. Але середня вартість 1 кВт·год теплової енергії з 1 м² площі колектора найменша при використанні плоского колектора завдяки його меншій вартості.

Література

1. Програмне середовище RETScreen: [електронний ресурс].- <https://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>
2. Програмне середовище T*SOL: [електронний ресурс].- <https://www.valentin-software.com/en/products/solar-thermal/14/tsol>.
3. Програмне середовище MS Excel: [електронний ресурс]. - <https://www.microsoft.com/uk-ua/p/excel>.
4. Сонячний колектор. Режим доступу: <http://solar-tech.com.ua/solar-power-system/solar-collectors/>

УДК 621.311, 620.91

Гловацький Д.В.
кафедра теплотехніки та енергозбереження

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ШКОЛИ

Анотація. В статті розглядається використання сонячної фотоелектричної системи для зменшення електроспоживання з мережі.

Ключові слова: сонячна фотоелектрична система, потужність, строк окупності, програмні продукти.

ANALYSIS OF USE OF PHOTOELECTRIC SYSTEM FOR SCHOOL ENERGY SUPPLY

Abstract. The article discusses the use of a solar photovoltaic system to reduce power consumption from the grid.

Key words: solar photovoltaic system, power, payback period, software.

Вступ. Вироблення електричної енергії за допомогою альтернативних джерел стає все популярнішим. Одним з екологічних та доступних методів є встановлення сонячних електростанцій. Сонячні фотоелектричні (PV) модулі генерують електроенергію від сонячного світла, яке може використовуватися для електропостачання будівлі або продаватися в загальнодоступну електромережу. Зменшуючи потребу у виробництві викопного палива, зростаючий з мережею сонячний фотоелектричний сектор по всьому світу допомагає створити робочі місця, даючи змогу сім'ям та бізнесу заощадити гроші та скоротити викиди парникових газів. Промислово розвинені країни використовують значні потужності сонячної енергетики для доповнення або надання альтернативи звичайним джерелам енергії, тоді як все більша кількість менш розвинених країн застосовують сонячну енергію, щоб зменшити залежність від дорогого імпортного палива.

Окрім встановлення сонячних електростанцій в приватних будинках та використання їх в комерційних цілях, також набирає популярності монтаж сонячних фотоелектричних систем (ФЕС) в школах та дитячих садках. В Києві вже прийняті в експлуатацію декілька сонячних станцій в таких установах.

Метою роботи є дослідження модернізації системи енергопостачання СШДС «Сяйво» з використанням фотоелектричної системи

Результати

СШДС "Сяйво" була збудована в 1976 році, будівля має 2 поверхи. Загальна площа всіх приміщень складає – 2700 м².

СШДС споживає: теплову енергію, електроенергію та водопостачання з водовідведенням.

Електроенергія, що споживається закладом, використовується для освітлення учбових приміщень, коридорів, роботи електричних приладів, комп'ютерної техніки, електроапаратури. Графік споживання електричної енергії наведено на рис. 1.

Споживання електричної енергії нерівномірне протягом року. Середньомісячна оплата за електроенергію становить 11437 грн.

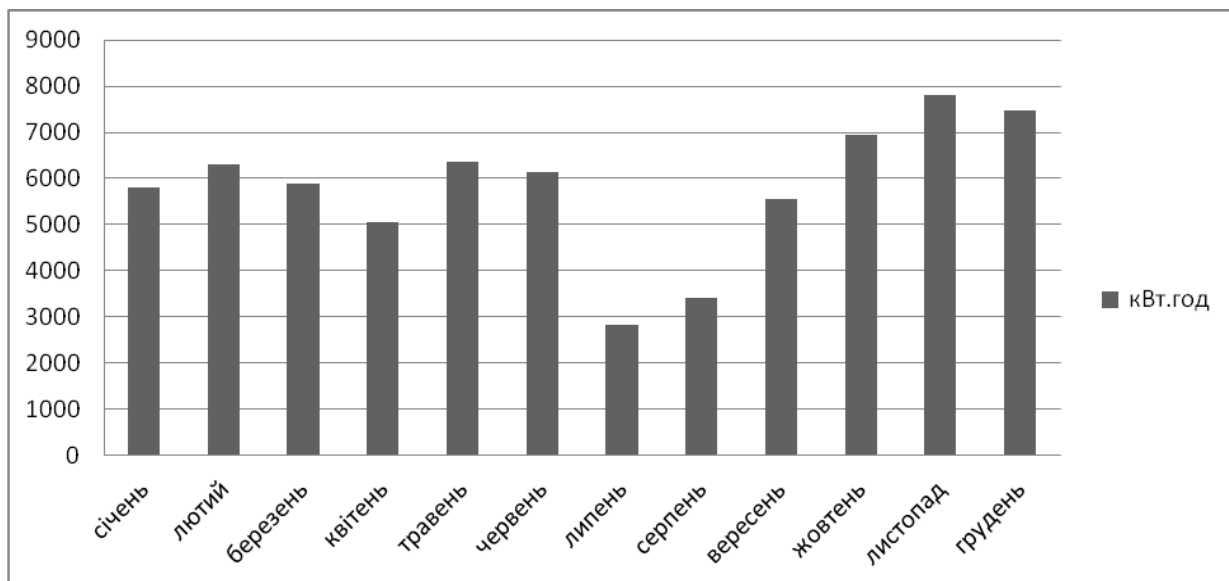


Рисунок 1 – Споживання електричної енергії школою за 2017 рік

Для зменшення споживання електричної енергії від зовнішньої електромережі пропонується встановити на даху ФЕС (рис. 2) для вироблення електричної енергії на власні потреби та продажу її надлишків в мережу.

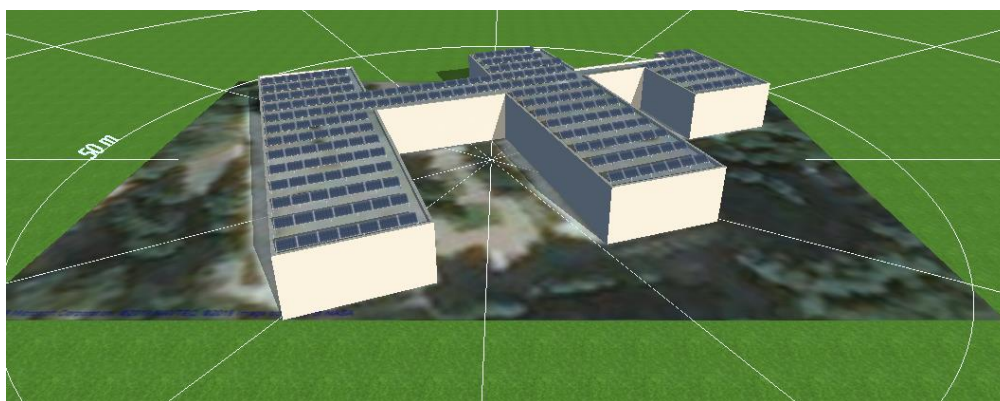


Рисунок 2 – Схема розміщення ФЕС на даху СШДС

Для забезпечення СШДС протягом року електричною енергією обираємо сонячну ФЕС загальною потужністю близько 65 кВт.

Для вибору оптимального варіанту ФЕС розглянуто декілька типів сонячних панелей, характеристики яких наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристики сонячних панелей

| Типи ФЕС | Кількість модулів, (шт.) | Вихідна потужність, (Вт) | Загальна потужність ФЕС, (кВт) | Площа модуля, (мм) | Загальна площа сонячного поля, (м ²) |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------|--|
| Yingli Solar YL 280C-30b | 230 | 280 | 64,4 | 1650x992 | 376,4 |

| | | | | | |
|------------------------------|-----|-----|-------|-----------|--------|
| JA Solar JAM 60S02-280/PR | 230 | 280 | 64,4 | 1650x991 | 376,08 |
| Longi Solar LR – 60 HPH 350H | 185 | 350 | 64,75 | 1776x1052 | 345,65 |
| SunPower SPR-MAX2 – 350 | 185 | 350 | 64,75 | 1690x1046 | 327 |

Результати розрахунку генерації електроенергії цих типів сонячних панелей за допомогою програмного продукту PV*SOL online [1] наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Розрахунок прогнозу вироблення електроенергії за допомогою програмного продукту PV*SOL online, кВт·год

| Місяць | Споживання ел. енергії СШДС "Сяйво" | YL280P12B-29b | JAM 60S02-280 | LR–60 HPH 350H | SPR-MAX2 - 350 |
|---|-------------------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| січень | 5809 | 2670 | 2629 | 2568 | 2579 |
| лютий | 6311 | 3609 | 3564 | 3486 | 3508 |
| березень | 5894 | 6491 | 6386 | 6270 | 6318 |
| квітень | 5061 | 7661 | 7466 | 7357 | 7420 |
| травень | 6349 | 9573 | 9261 | 9161 | 9271 |
| червень | 6145 | 9200 | 8868 | 8779 | 8882 |
| липень | 2819 | 9341 | 8974 | 8895 | 8992 |
| серпень | 3407 | 8820 | 8488 | 8408 | 8496 |
| вересень | 5563 | 6318 | 6122 | 6037 | 6072 |
| жовтень | 6956 | 5076 | 4942 | 4865 | 4902 |
| листопад | 7821 | 2331 | 2267 | 2220 | 2235 |
| грудень | 7479 | 1651 | 1613 | 1573 | 1581 |
| Разом | 69614 | 72741 | 70579 | 69619 | 70256 |
| Генерація ел.енергії з 1 м ² ФЕС, (кВт·год/ м ²) | | 193,25 | 187,67 | 201,41 | 214,85 |

Згідно технічних характеристик та температурних коефіцієнтів [3-6] проведемо розрахунки зміни вихідної потужності модулів в залежності від температури навколишнього середовища.

Коефіцієнт втрати потужності K_{pmax} розраховується з рівняння [2]:

$$K_{pmax} = \Delta t \cdot \gamma_{pmax},$$

де $\Delta t = t_{cp} - t_{stc}$ – різниця температур;

t_{cp} - температура зовнішнього повітря, °С .

t_{stc} - температура сонячних модулів при їх тестуванні 25°С.

γ_{pmax} (%/°С) - температурний коефіцієнт втрати потужності сонячного модуля при зміні його температури на один градус (з температурних характеристик).

Вихідна потужність модуля:

$$P_{max}^{+30\text{°C}} = P_{max} \cdot (K_{pmax}/100 + 1),$$

де P_{max} (Вт) - вихідна потужність згідно технічних характеристик.

На прикладі сонячного модуля типу Yingli Solar YL 280C-30b:

Розрахуємо втрати потужності при нагріванні його до 30°C:

$$\Delta t = 30^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C} = 5^{\circ}\text{C}.$$

Коефіцієнт втрати потужності $K_{p\max}$ даного модуля:

$$K_{p\max} = 5^{\circ}\text{C} \cdot (-0,38\% / ^{\circ}\text{C}) = -1,9\%,$$

Потужність нашої сонячної батареї становить 280 Вт:

$$P_{\max}^{30^{\circ}\text{C}} = 280 \cdot (-1,9/100 + 1) = 274,6 \text{ Вт}.$$

Отже вихідна потужність даного сонячного модуля при $t = +30^{\circ}\text{C}$ буде становити 274,68 Вт.

Розрахунки для інших типів ФЕП проводимо аналогічно та заносимо до табл. 3.

Таблиця 3 – Результати розрахунків характеристик ФЕС

| Тип ФЕП | Yingli Solar YL 280C-30b | JA Solar JAM 60S02-280/PR | Longi Solar LR – 60 HPH 350H | SunPower SPR-MAX2 – 350 |
|---|--------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Температурний коефіцієнт $\gamma_{P\max}$ | -0,38%/°C | -0,39%/°C | -0,37%/°C | -0,35%/°C |
| Вихідна потужність при 25°C | 280 Вт | 280 Вт | 350 Вт | 350 Вт |
| Вихідна потужність при -25°C | 333,2 Вт | 334,6 Вт | 414,75 Вт | 411,25 Вт |
| Вихідна потужність при +30°C | 274,68 Вт | 274,54 Вт | 343,53 Вт | 343,88 Вт |

Вартість ФЕС та термін окупності для різних типів ФЕП наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Вартість ФЕС та термін окупності для різних типів ФЕП

| Типи ФЕП | Вартість ФЕС, \$ USA | Термін окупності, рік |
|------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Yingli Solar YL 280C-30b | 35817,6 | 9,7 |
| JA Solar JAM 60S02-280/PR | 34594 | 10,2 |
| Longi Solar LR – 60 HPH 350H | 42626 | 13 |
| SunPower SPR-MAX2 – 350 | 45758,1 | 13,5 |

Графік зміни потужності різних ФЕП від температури зовнішнього повітря наведено на рис. 3.

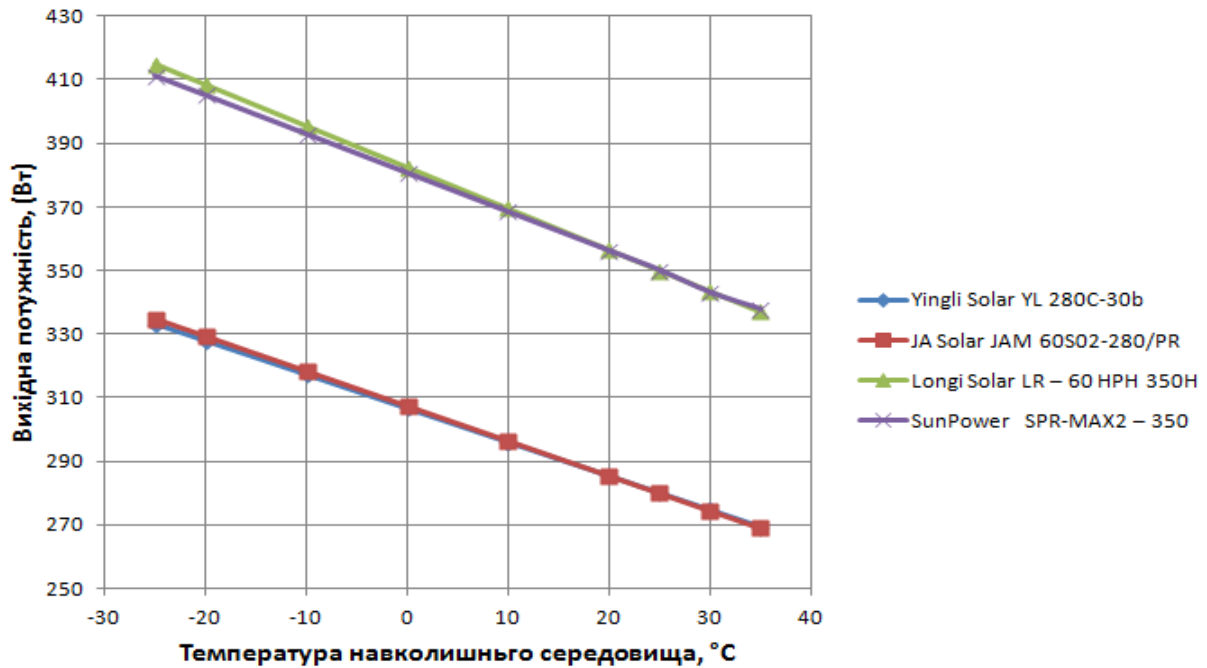


Рисунок 3 – Залежність вихідної потужності від температури зовнішнього повітря

На рис. 4 показана зміна ефективності ФЕП від температури навколишнього повітря при сонячному випромінюванні $1000 \text{ Вт} / \text{м}^2$. Існує лінійна залежність між цією температурою та ефективністю модуля. Зниження температури веде до зростання ефективності ФЕП. Таким чином, для бажаної ефективності сонячної електричної станції ми можемо визначити який фотоелектричний модуль нам потрібен, виходячи з того в якому регіоні встановлюється ФЕС.

На графіку (рис. 4) нанесені данні досліджуваних ФЕП та данні досліджень з роботи [7].

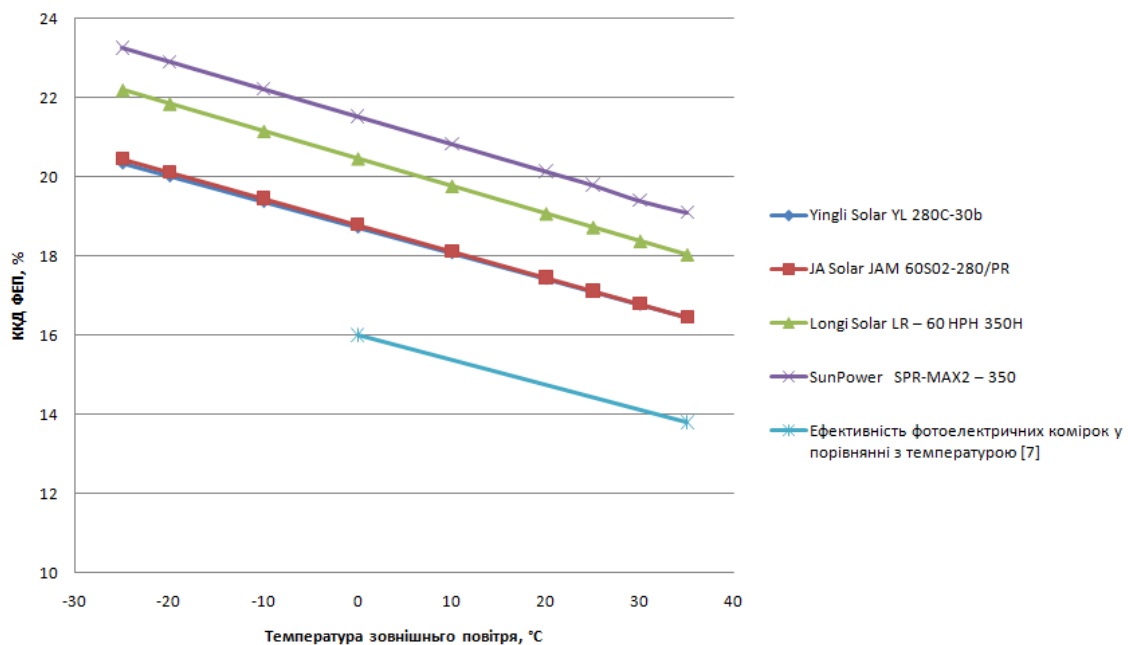


Рисунок 4 – Залежність ККД сонячного модуля від температури зовнішнього повітря

На рис. 5 наведено залежність ефективності ФЕП та температури його поверхні від інтенсивності сонячного випромінювання. Дослідження проводились на імітаційній моделі з полікристалічним модулем та штучним джерелом випромінювання.

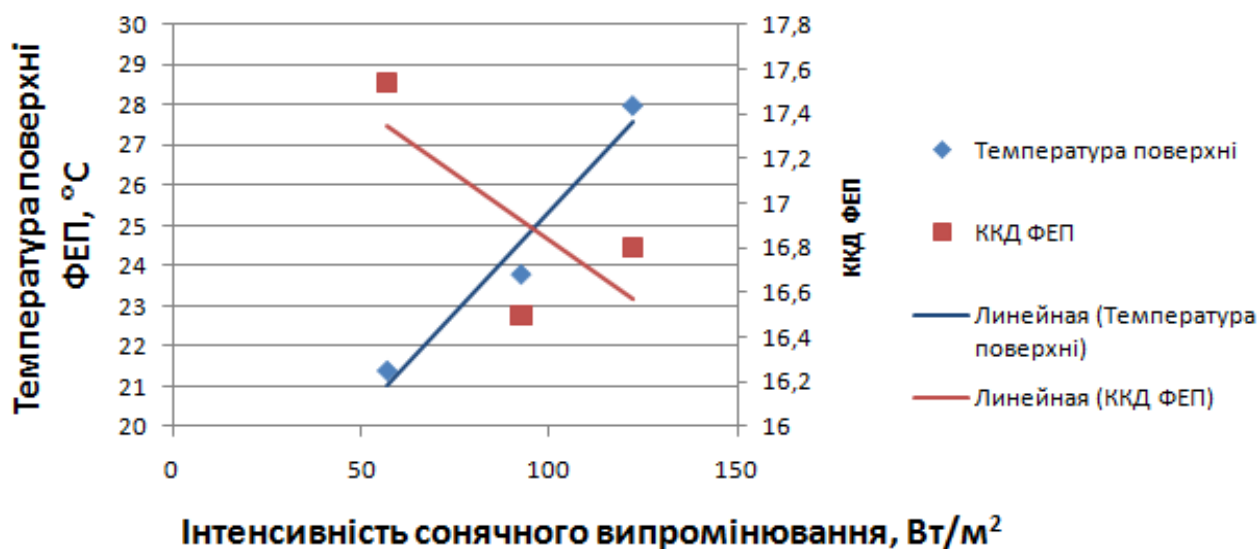


Рисунок 5 – Залежність ефективності ФЕП та температури його поверхні від інтенсивності сонячного випромінювання

Вплив температури поверхні ФЕП на ефективність його роботи при однаковій інтенсивності сонячного випромінювання показаний на рис. 6. При проведенні дослідів використовувався полікристалічний модуль з водяною системою охолодження.

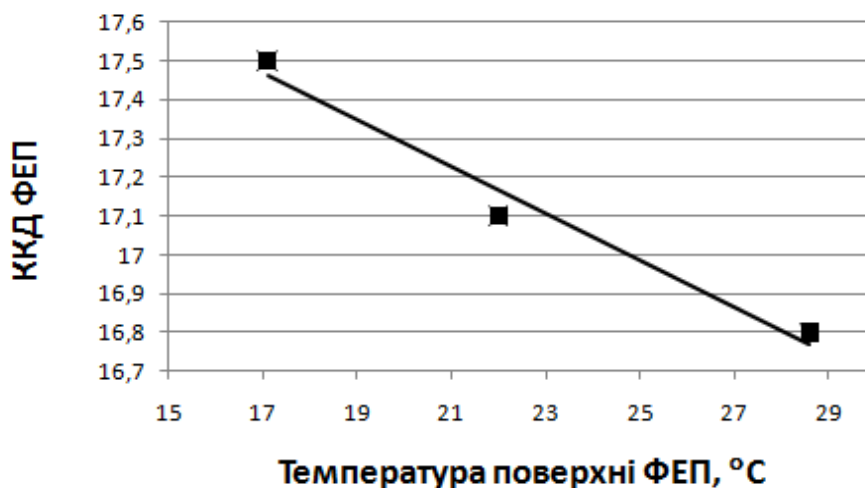


Рисунок 6 – Вплив температури поверхні ФЕП на ефективність його роботи при однаковій інтенсивності сонячного випромінювання

Висновки

Одним з важливих моментів встановлення сонячної електричної станції є правильний підбір ефективного обладнання.

Вказано вплив температури зовнішнього повітря та поверхні ФЕП і інтенсивності сонячного випромінювання на його ефективність для клімату в Україні.

Порівнявши проведені розрахунки можна зробити висновок, якщо брати панелі однакової вихідної потужності при різних температурних коефіцієнтах, то більш ефективною буде панель з більшим температурним коефіцієнтом. З розрахунків генерації та вихідною потужністю при різних температурах можемо зробити висновок що вибираючи з ФЕП Yingli Solar YL 280C-30b та JA Solar JAM 60S02-280/PR, краще буде Yingli Solar YL 280C-30b. А з Longi Solar LR – 60 HPH 350H та SunPower SPR-MAX2 – 350 ефективнішим буде модуль фірми SunPower, так як має менший вплив температури навколишнього середовища на сонячні панелі, більший ККД та кількість виробленої електроенергії.

Література

1. Калькулятор сонячної електростанції. Режим доступу: <https://pvsol-online.valentin-software.com/#/>.
2. Робота сонячних батарей. Режим доступу: <https://prel.prom.ua/a308018-robota-sonyachnih-batarej.html>
3. Технічні характеристики сонячних панелей Yingli Solar YL 280C-30b. Режим доступу:https://ecoenergie.com.ua/wp-content/uploads/2019/02/DS_YGE60CELL-SERIES-2-MBB-29b_RU.pdf
4. Технічні характеристики сонячних панелей Solar JAM 60S02-280/PR. Режим доступу:https://www.bimblesolar.com/docs/JASolar_JAM6_K_SE_60_280_300_PR.pdf.
5. Технічні характеристики сонячних панелей Longi Solar LR – 60 HPH 350H . Режим доступу:<https://ecoenergie.com.ua/wp-content/uploads/2019/09/Longi-Solar-LR4-60HPH-RU-1.pdf> .
6. Технічні характеристики сонячних панелей SunPower SPR-MAX2 – 350. Режим доступу:<https://www.ensolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/41745>.
7. The Effect of Temperature on Photovoltaic Cell Efficiency. Режим доступу: <https://pdfs.semanticscholar.org/4eb1/39ee8e2cc5d722b14ced834f35a8183b1188.pdf>

УДК 621.311

Ергард П.А.

кафедра теплотехніки та енергозбереження

**ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ШКОЛИ У
СОЛОМ'ЯНСЬКОМУ РАЙОНІ М. КИЄВА ЗА РАХУНОК КОМПЛЕКСНОЇ
ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ**

**INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE SCHOOL IN SOLOMENSKIY
DISTRICT OF KYIV DUE TO COMPLEX THERMO-MODERNIZATION**

Анотація. У даній роботі проведено порівняльний аналіз енергоспоживання школи до та після комплексної термомодернізації. Розглянутий підхід дозволяє досягти умов мікроклімату відповідно до діючої нормативної бази у сфері енергозбереження.

Ключові слова: енергоефективність, енергомоніторинг, енергозбереження.

Annotation. In this paper a comparative analysis of school energy consumption before and after complex thermo-modernization is conducted. This approach allows to reach microclimate conditions in accordance with the current normative base in the field of energy saving.

Key words: energy efficiency, energy monitoring, energy saving.

Вступ. Зростання тарифів на енергетичні ресурси стимулює до пошуку шляхів скорочення енергоспоживання. Державні установи, одна з енергоємних галузей в Україні, має велику кількість типових проблем, таких як невідповідність огорожувальних конструкцій існуючим нормативним вимогам, поганий стан інженерних мереж, що пов'язаний зі значним терміном їх експлуатації і т.д. Проте для існуючих будівель існує великий потенціал енергозбереження. Тому саме ця галузь має значний потенціал енергозбереження і потребує впровадження заходів з енергозбереження.

Мета та завдання дослідження. Завданням та метою дослідження є розробка пакету енергозберігаючих заходів та порівняльний аналіз енергоспоживання СЗШ№26 до та після комплексної термомодернізації розрахунковим шляхом та за результатами моделювання у програмному продукті RETScreen.

Результати досліджень. В ході роботи виконано детальне енергетичне обстеження будівлі, що включало уточнення геометричних і теплотехнічних показників огорожень, дослідження умов мікроклімату всередині приміщень, обстеження інженерних мереж, виконання необхідних інструментальних вимірювань і розрахунків. Було проведено комплексний енергоаудит 4-поверхової школи за адресою: місто Київ, проспект Космонавта Комарова, 32. Власник будівлі відділ освіти (рис.1).

Опалювальна площа 5920 м². Школа має «Н»-подібну форму в плані і складається з двох цегляних блоків «А» і «Б» різних розмірів:

- блок «А» - чотирьох поверхова будівля прямокутної форми в плані;
- блок «Б» - двоповерховий прямокутної форми в плані та з'єднує блоки «А» та «В»;
- блок «В» - двоповерховий з цокольним поверхом, прямокутної форми в плані.

Загальна площа забудови 1536 м², площа скління 809 м², що складає 52,67 % від загальної площі огорожувальних конструкцій.

Виконано теплотехнічні розрахунки та аналіз втрат теплоти огороженнями (рис. 2). За результатами обстеження інженерних мереж та дослідження енергетичних

характеристик було запропоновано пакет заходів з енергозбереження та проведено розрахунок енергоспоживання будівлі до та після заходів.

Для даної будівлі пропонується впровадження наступних заходів з енергозбереження: утеплення зовнішніх стін; заміна старих вікон на енергозберігаючі; заміна дерев'яних дверей; встановлення теплової завіси.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд школи, що досліджується

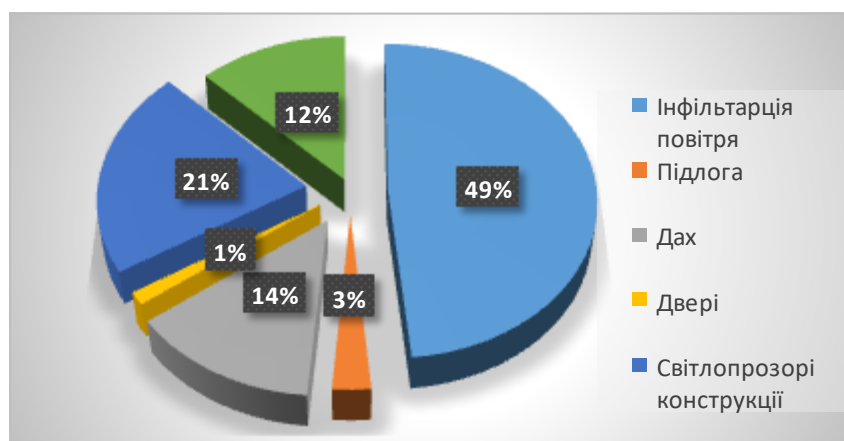


Рисунок 2 – Втрасти теплової енергії

Розглянемо більш детально ефект від виконання термомодернізації огорожень.

Утеплення зовнішніх стін. Приведений опір теплопередачі стін значно нижче розрахункового нормативного опору теплопередачі [1,2]. Площа зовнішніх стін, що підлягає утепленню, складає 2875,02 м². В якості утеплювача пропонується використовувати мінераловатні плити товщиною 100 мм. Технологія виконання – скріплена ізоляція (рис.3)



Рисунок 3 – Технологія утеплення стін

Заміна дерев'яних дверей. Пропонується повністю замінити старі двері 23м² на нові металопластикові.

Заміна вікон. Дерев'яна конструкція деяких віконних рам не піддаються ремонту і знаходиться в аварійному стані, що призводить до збільшення інфільтраційних втрат. Для зменшення тепловтрат пропонується замінити існуючі вікна будівлі на сучасні енергозберігаючі склопакети 4i-10-4M1-10-4i з подвійним склопакетом (рис.4) та опором теплопередачі не менше 0,93 (м²·К)/Вт. Загальна площа дерев'яних вікон – 950,64 м².



Рисунок 4 – Схематичне зображення склопакету

Також виконано необхідні розрахунки та з урахуванням діючих тарифів [3] визначено термін окупності інших енергозберігаючих заходів, що призводять до економії теплової (табл. 1) енергії для даної будівлі.

Таблиця 1 – Енергозберігаючі заходи (теплова енергія)

| Назва заходу | Термін окупності | Економія, кВт · год | Річна економія, грн |
|---|------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Утеплення зовнішніх стін | 8 років 4 місяці | 43,912 | 198 463 |
| Утеплення дверей | 2 роки 1 місяць | 5,7 | 3 481 |
| Заміна вікон | 9 років 2 місяці | 46,12 | 2706066 |
| Інфільтрація | 3 рік 3 місяців | 202,9455 | 827 60 |
| Економія, після впровадження заходів, грн | | 2 990 770 | |

Порівняльна характеристика споживання теплової енергії будівлі до та після заходів наведено на рис.5.

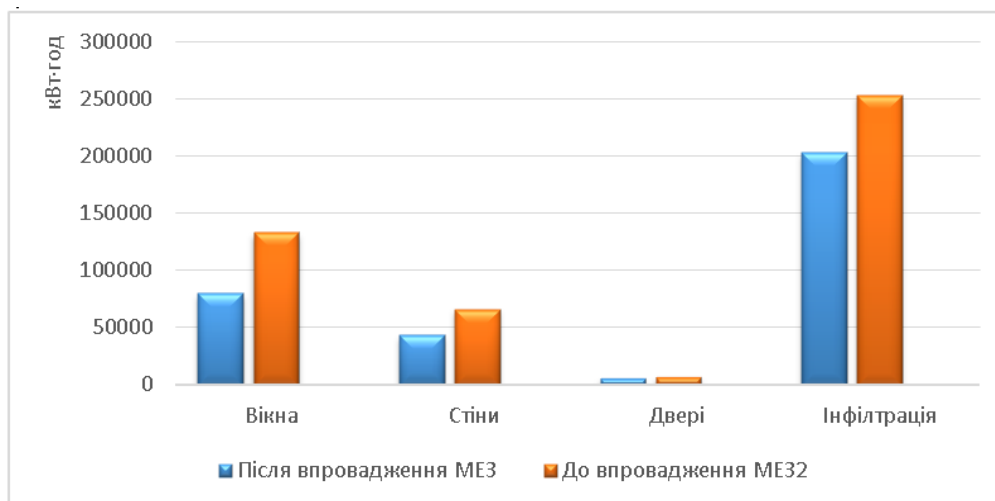


Рисунок 5 – Порівняльний аналіз споживання теплової енергії будівлею

Моделювання в програмному середовищі RETScreen

RETScreen програмний пакет з відновлюваної енергії та енергоефективності, розроблений урядом Канади. Дане програмне забезпечення дозволяє комплексно ідентифікувати, оцінювати й оптимізувати технічну й фінансову життєздатність потенційних проектів з відновлюваної енергії та енергоефективності, а також вимірювати й перевіряти фактичну ефективність об'єктів і визначати можливості зі збереження та виробництва енергії.

Для початку моделювання необхідно задати дані про тип об'єкту, температурний графік, графік присутності, теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій, джерела енергії та графіки навантажень, характеристики інженерних систем та енергоносіїв (опалення, охолодження, освітлення, вентиляція, електрообладнання, гаряча вода, рекуперація теплоти).



Рисунок 6 – Вхідні дані для програмного продукту RETScreen

В даній програмі було прораховано економічний ефект від проведеної термомодернізації, з урахуванням порівняння характеристик об'єкта у базовому та запропонованому випадках. Враховували зміни у оболонці будівлі, освітленні, у наявності певних електроприладів. В результаті введення всіх даних отримали простий термін окупності 10 років, що показує доцільність проведення запропонованої термомодернізації.

Висновок. Досліджувана будівля має досить типові проблеми, на її прикладі видно, що державні установи мають значний потенціал енергозбереження і потребують термомодернізації. Впровадження комплексу заходів для об'єкту дослідження дозволить покращити внутрішні умови в будівлі та значно зменшити витрати та енергоресурси, а впровадження автоматизованої системи енергомоніторингу дозволить здійснювати дистанційний облік та аналіз енергоспоживання.

Список використаних джерел

1. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель
2. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель
3. Тарифи - Київтеплоенерго [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: kte.kmda.gov.ua/tarufu/

УДК 621.18

Лівіщенко А. А.

кафедра теплотехніки та енергозбереження

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ ТИПІВ КОТЛІВ В СИСТЕМІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ШКОЛИ

Анотація. В статті розглядається процес забезпечення школи тепловою енергією та ГВП за допомогою автономної котельні з твердопаливними котлами.

Ключові слова: опалення, котлоагрегат, автоматизація, альтернативні джерела, магістраль, конденсація, паливо.

ANALYSIS OF USE OF DIFFERENT TYPES OF BOILERS IN THE SCHOOL HEATING SYSTEM

Abstract. The article deals with the process of providing the school with heat and hot water using an autonomous boiler room with solid fuel boilers.

Key words: heating, boiler, automation, alternative sources, line, condensation, fuel.

Об'єктом дослідження є СЗШ №121, яка знаходиться за адресою м. Київ вул. Каменярів, 35. Будівля школи має три поверхи, складається з двох корпусів з прибудовою спортивної зали. Будівля з опалювальним підвальним приміщенням і бомбосховищем, має двоскатний дах. На сьогодні школу відвідують 237 учнів, працюють 42 працівники, в тому числі обслуговуючий персонал. Загальна площа будівлі становить 4539,3 м², площа підвалу – 300 м² та площа бомбосховища – 200 м². Загальна опалювальна площа – 3700 м². Площа застелення 500 м², зовнішніх стін - 1987 м². підлоги над неопалюваним підвалом -1119 м², горищного перекриття - 1119 м². Загальна висота будівлі - 12,5 м. На сьогодні головною проблемою закладу є автономна котельня, яка побудована з порушенням чинних норм [1] України: робота котла на вугіллі у закладі освіти в межах міста заборонена.

Метою роботи є модернізація системи опалення школи за рахунок заміни котельного агрегату з термомодернізацією будівлі та запровадження системи регулювання температурного режиму в приміщеннях.

В ході аналізу енергетичних систем будівлі було виявлено, що в навчальному закладі на протязі останніх двох років були замінені усі вікна, частково замінена система освітлення, в приміщеннях холу, актової зали та у коридорах, також капітального ремонту та зміни обладнання зазнало приміщення харчоблоку. На даний момент у школі триває термомодернізація даху, частину перекриття вже замінено, а другу ні. Дах поки є не ізольованим, що суттєво збільшує тепловтрати в опалювальний період за рахунок малого термічного опору, на який в свою чергу може вплинути волога, яка надходить з оточуючого середовища при протіканні даху.

За результатами енергоаудиту навчального закладу та проведених розрахунків прийняті заходи, які направлені на термомодернізацію всіх огорожувальних конструкцій будівлі та розміщення котельні вже у новому приміщенні.

Котельня працює сезонно з двома застарілими твердопаливними котлами НІСТУ-5 з ручним підкиданням вугілля марки АКО. Загальна теплова потужність котлоагрегатів 325 кВт. ККД системи номінально складає 72%, але якщо врахувати стан та термін експлуатації котлоагрегатів та неправильне зберігання вугілля під відкритим

небом у дворі закладу, то фактичний ККД системи складає 45-55%. Згідно аналізу витрати вугілля за останні три роки його споживання зросло, а від так система с кожним роком працює менш ефективно: під час дослідження встановлено, що в школі не завжди дотримується прийнятий температурний режим [3], а витрата палива зростає, що видно на рис. 1.

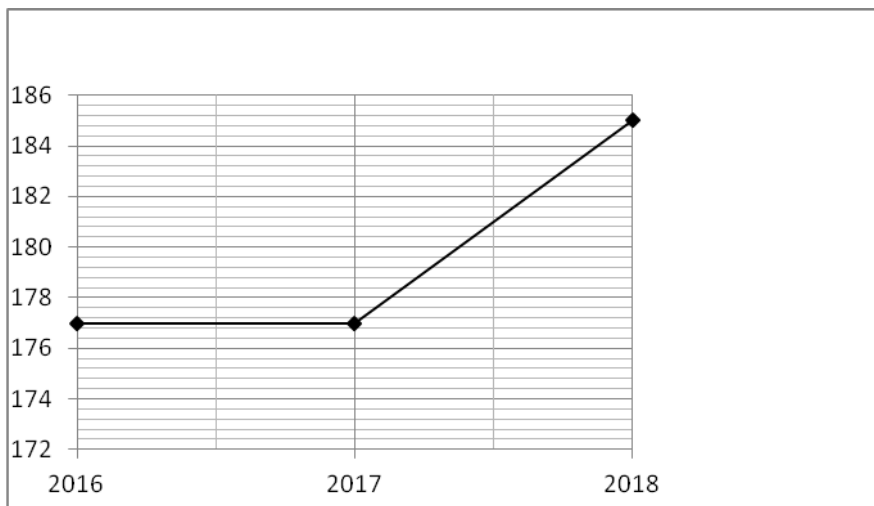


Рисунок 1 – Споживання вугілля, т, на потреби школи за 2016-2018 роки

На опалення будівлі витрачається 540 Гкал/рік теплоти, що складає 490 тис. грн.

Розрахунок тепловтрат та теплонадходжень до будівлі з врахуванням поточного стану огорожувальних конструкцій показав, що повна теплова потужність, яку необхідно компенсувати становить 294 кВт.

Посилаючись на результати дослідження було запропоновано провести ряд заходів, які зменшать споживану теплову потужність та витрату палива.

Проведення термомодернізації будівлі, а саме утеплення даху та зовнішніх стін, буде складати приблизно 1 085 тис. грн. і дозволить зменшити теплове споживання будівлі до 160 кВт.

Важливу роль відіграє вентиляція, яка в школі виконується природним шляхом, через провітрювання, але в школі є примусова вентиляція, яка не використовується тому приймаємо рішення підключити її. Для вентиляції одразу вводимо графік роботи, який збіжний з графіком роботи в школі, вентиляція будівлі працюватиме 5 днів по 10 годин, за такого режиму на вентиляцію буде витрачатися лише 0,59 Гкал/рік теплоти, якщо не вводити графік, то при цілодобовому функціонуванні на вентиляцію витрачається 1,98 Гкал/рік теплоти. Вартість підключення вентиляції 12 тис. грн. Термін окупності даного заходу становить 8,5 років.

Регулювання температури повітря у будівлі. Прийнято, що в час навчання необхідно підтримувати температурний режим на рівні 20 °С, а в вихідні дні, та нічний час підтримувати – на рівні 16 °С.

Запропоновані заходи сумарно економлять 47-50% від загального споживання теплової енергії згідно з поточним станом будівлі. Повна теплова потужність складатиме 150 кВт. Економія теплової енергії на опалення в сумі складає 286 Гкал/рік (210 тис грн.).

Для визначення оптимального виду палива і обладнання для його спалювання при забезпеченні комфортних умов було розглянуто перехід на газове обладнання або твердопаливні агрегати з альтернативними видами палива (пелетно-брикетні) [2]. Підключення до центральної мережі тепlopостачання на даний момент не є

рентабельним тому, що мережа знаходиться на значній відстані від школи, а інші потужні споживачі поряд відсутні.

В таблиці 1 показані запропоновані варіанти переходу на газові котлоагрегати різних типів і фірм.

Таблиця 1 – Газові котлоагрегати для шкільної котельні

| Котел | Вартість, грн | Кількість, шт | Загальна потужність, кВт | ККД, % |
|------------------------------------|---------------|---------------|--------------------------|--------|
| Vaillant ecoTEC plus VU OE 806/5-5 | 206000 | 2 | 160 | 99 |
| Protherm Grizli 85 KLO | 140000 | 2 | 170 | 97 |
| Baxi Slim 1.230 in | 120000 | 3 | 150 | 90 |
| Atem Zhytomyr-3 KS-G-080 | 100000 | 2 | 160 | 92 |

Розглянуто два газових конденсаційних котлів Vaillant ecoTEC plus VU OE 806/5-5 та Protherm Grizli 85 KLO, а також два варіанти газових котлів Baxi Slim 1.230 in та Atem Zhytomyr-3 KS-G-080.

Як видно з таблиці 1 агрегати конденсаційні мають значно вищий ККД за рахунок енергії конденсації водяної пари при низьких температурах оборотної води, яка забирається з відхідних газів і передається теплоносію. Крім того, ці котли мають більшу поверхню теплообміну і тому, навіть при відсутності конденсації водяної пари, більш ефективні ніж звичайні газові котли.

Переваги конденсаційного котла над газовим:

- робота при низькотемпературних режимах;
- економія витрати палива до 35%;
- скорочення викидів димових газів до 70%;
- низький рівень шуму при роботі обладнання.

Недоліком котла є необхідність відведення конденсату.

Твердопаливні котлоагрегати наведені у таблиці 2

Таблиця 2 – Твердопаливні котлоагрегати для шкільної котельні

| Котел | Вартість, грн | Кількість, шт | Загальна потужність, кВт | ККД, % |
|---------------------------------|---------------|---------------|--------------------------|--------|
| Altep Duo Plus 150 | 60000 | 1 | 150 | 86 |
| Aton ТТК 80 | 50000 | 2 | 160 | 80 |
| Metal-Fach Sokol SEG BIO 100&75 | 205000 | 2 | 175 | 90 |
| Metal-Fach Sokol SEG 150 | 280000 | 1 | 150 | 90 |
| Marten Comfort MC-80 | 68000 | 2 | 160 | 85 |

Із запропонованих варіантів твердопаливних котлів, тільки Metal-Fach Sokol SEG BIO можна використовувати з різними видами твердого палива: дрова, пелети, брикети.

Котлоагрегати інших фірм можуть використовувати дрова і брикети. Котли пелетні нажалі дровами чи брикетами замінити важко, тому було обрано саме цей варіант повністю комбінованого агрегату Metal-Fach Sokol SEG BIO або чисто пелетного

агрегату Metal-Fach Sokol SEG 150. Котел має бункер для зберігання пелет та систему автоматики, що дозволяє працювати йому в автоматичному режимі без участі людини.

В обов'язки людини буде входити забезпечення поставки, зберігання та завантаження паливом котлів. Розглянемо ці проблеми для різних видів палива.

Пелети. Можлива організація поставки на тиждень з врахуванням тижневої потреби палива або поставка оптом, якщо є нормальне місце для зберігання, то навіть на весь опалювальний сезон. Для школи знадобиться приблизно 40-65 т пелет. Тоді можна організувати 2-3 організовані поставки на сезон. Пелети можна зберігати трьома способами:

- в приміщенні: необхідно, щоб пелети зберігалися в мішках і на спеціальних піддонах, з невеликим інтервалом один від одного, щоб паливо не відсиріло і не набиралося вологою;
- на вулиці: можна зберігати в мішках навіть на снігу взимку, але знову ж таки з використанням піддонів або настилів;
- в металевому закритому бункері, який за допомогою шнека з'єднаний з агрегатом, це найзручніший вид зберігання для котлів з автоматичною подачею палива.

Дрова. Дрова завжди поставляються великими партіями, в'язками. Транспортування можливе будь-яким видом транспорту. Для зберігання необхідний склад, сухе приміщення з великою площею, яке необхідно обладнати спеціальними стелажми-дровниками та уникати контакту з підлогою. Перед закладкою в котлоагрегат, дрова обов'язково додатково підсушують. Неможливість автоматичної подачі дров.

Брикети. Також можна поставляти оптом великими партіями на сезон або згідно тижневої потреби. Характерно найбільш дешеве транспортування та менші затрати території на зберігання даного палива. Можна зберігати на спеціальних складах або підвальних приміщеннях будівлі, але враховуючи ідею перенесення котельні з підвалу, виникають проблеми підводу палива до котлоагрегату.

Найбільш зручні та раціональні в транспортуванні та зберіганні є пелети та брикети. Найбільш стійкими до вологи є брикети, тому вони схильні до найбільш тривалого зберігання. Подачу пелет на відмінну від дров та брикет можна автоматизувати. Пелети та брикети можна спалювати без попередньої заготовки на відмінну від дров. Дрова є найбільш зольним паливом із трьох запропонованих.

Висновки. Дослідження показало, що найбільш раціональним є використання газових конденсаційних котлів. У таблиці 3 наведено розрахований термін окупності котлів, які працюють на різних видах палива, але без врахування витрат на проекти по встановленню котлів, підведення газу та постачання твердого палива.

Таблиця 3 – Термін окупності котлоагрегатів з різними видами палива.

| Вид палива | Теплота згорання, МДж/м ³ (МДж/кг) | Витрата палива, м ³ /рік (кг/рік) | Ціна котла, грн | Ціна на паливо, грн/м ³ (грн/кг) | Економія, грн | Термін окупності, роки |
|------------|---|--|-----------------|---|---------------|------------------------|
| Газ | 33,4 | 33205 | 206000 | 6,55 | 279100 | 4,8 |
| Пелети | 16,4 | 70566 | 280000 | 3,2 | 259170 | 5,0 |
| Брикети | 13 | 86210 | 317988 | 3,4 | 196884 | 8,4 |
| Дрова | 16,7 | 67110 | 317988 | 8,5 | - 80434 | - |

Література

1. Котельні. Правила експлуатації котелень. [Текст]: ДБН В.2.5-77:2014. – [Чинний від 2010-01-01]. – К.: Укрархбудінформ – 2014. – 49 с. – (Державні будівельні норми України).
2. Техніко-економічний аналіз модернізації котельні школи/зб. текстів виступів на міжвуз. наук.-практ. конф./ ОНЕУ, 2019 – 240 с.
3. Будівельна кліматологія. [Текст]: ДСТУ-Н Б В.1.1:2010 – [Чинний від 2010-11-01]. – К.: Укрархбудінформ, – 2010. – 123 с.– (Національні стандарти України).
4. Теплотворность древесины [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://tehnopost.kiev.ua/drova/13-teplotvornost-drevesiny.html>

УДК 697.1

Мельнікова К.І

кафедра теплотехніки та енергозбереження

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ У
БАГАТОПОВЕРХОВІЙ ЖИТЛОВІЙ БУДІВЛІ**

**METHODS AND MEANS OF ENERGY MANAGEMENT IN A MULTI-STOREY
RESIDENTIAL BUILDING**

Анотація. У даній роботі проведено порівняльний аналіз енергоспоживання житлової будівлі до та після комплексної термомодернізації за результатами моделювання у спеціалізованих програмних продуктах та розрахунку за Національним стандартом України ДСТУ Б А.2.2-12:2015.

Ключові слова: енергоефективність, енергомоніторинг, енергозбереження.

Annotation. In this article, a comparative analysis of residential building energy consumption before and after complex thermo-modernization is conducted based on simulation results in specialized software products and calculated according to the National Standard of Ukraine DSTU B A.2.2-12: 2015.

Key words: energy efficiency, energy monitoring, energy saving.

Вступ. Зростання тарифів на енергетичні ресурси стимулює до пошуку шляхів скорочення енергоспоживання. Житлово-комунальне господарство, як одна з найбільш енергоємних галузей в Україні, має велику кількість типових проблем, таких як невідповідність огорожувальних конструкцій існуючим нормативним вимогам, поганий стан інженерних мереж, що пов'язаний зі значним терміном їх експлуатації і т.д. Тому саме ця галузь має значний потенціал енергозбереження і потребує впровадження заходів з енергозбереження.

Мета та завдання дослідження. Завданням та метою дослідження є розробка пакету енергозберігаючих заходів та порівняльний аналіз енергоспоживання житлової будівлі до та після комплексної термомодернізації за результатами моделювання у програмних продуктах DesignBuilder та RETScreen та результатами розрахунку за ДСТУ Б А.2.2-12:2015.

Результати досліджень. В ході виконання роботи було проведено комплексний енергоаудит 17-поверхової житлової будівлі за адресою: м. Київ, вул. Скрипника 40А, побудована у 1992 році (рис.1).

Опалювальна площа 5916 м². Площа скління 704 м²; площа зовнішніх стін 4190 м². Зовнішні стіни будівлі товщиною 0,51 м виконані з силікатної цегли; вікна в будівлі частково дерев'яні, частково замінені на металопластикові; двері центрального входу металеві не утеплені. Дах з технічним поверхом. Під всією площею будівлі розміщений неопалювальний підвал. Теплопостачання централізоване, автоматичне регулювання відсутнє; схема підключення системи опалення до теплових мереж залежна.

Для об'єкту досліджень було зібрано вихідні дані, проведено необхідні вимірювання та виконано розрахунки геометричних, теплотехнічних, енергетичних характеристик даної будівлі. За результатами обстеження інженерних мереж та дослідження енергетичних характеристик було запропоновано пакет заходів з енергозбереження та проведено розрахунок енергоспоживання будівлі.

Для даної будівлі пропонується впровадження наступних заходів з енергозбереження: утеплення зовнішніх стін; утеплення даху; заміна старих вікон на енергозберігаючі; теплоізоляція трубопроводів системи опалення; встановлення ІТП.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд житлової будівлі, що досліджується

Результати розрахунків теплові втрати будівлі графічно зображено на рисунку 2.

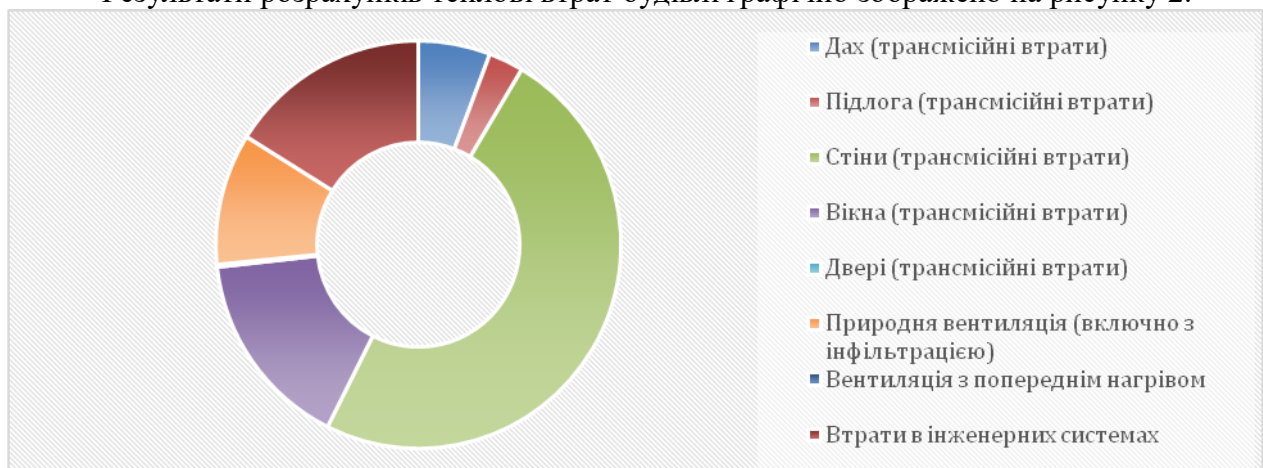


Рисунок 2 – Втрати теплової енергії

Моделювання в програмному середовищі RETScreen

Програмний продукт RETScreen дозволяє комплексно ідентифікувати, оцінювати й оптимізувати технічну й фінансову життєздатність потенційних проектів з підвищення енергоефективності будівель. За допомогою програмного продукту RETScreen було проаналізовано базове споживання енергоносіїв (існуючий стан систем та огорожень з урахуванням дотримання умов мікроклімату) та розраховано споживання після впровадження заходів з енергозбереження.

Для початку моделювання необхідно задати дані про тип об'єкту, температурний графік, графік присутності, теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій, джерела енергії та графіки навантажень, характеристики інженерних

систем та енергоносіїв (опалення, охолодження, освітлення, вентиляція, електрообладнання, гаряча вода, рекуперація теплоти).

RETScreen дозволяє виконувати фінансовий аналіз з урахуванням капітальних витрат, темпу інфляції, додаткових щорічних витрат на експлуатацію обладнання, вартості енергоресурсів, очікуваної економії у натуральних та грошових одиницях після впровадження заходів з енергозбереження. За результатами моделювання термін окупності комплексного пакету заходів з термомодернізації будівлі становитиме 7,8 років, що для подібних проектів є прийнятним (рисунок 3).

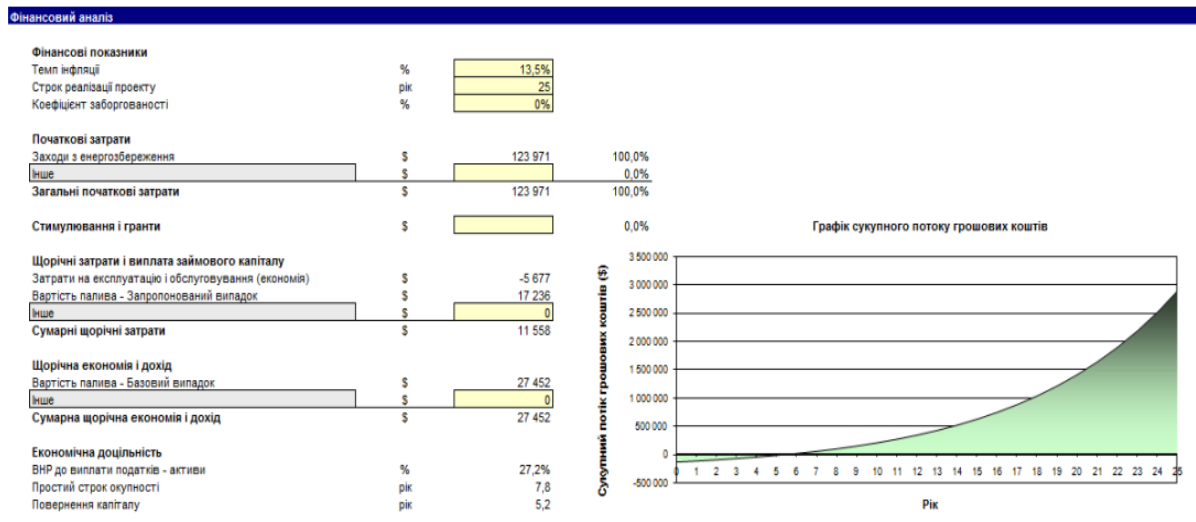


Рисунок 3 – Робоче вікно програми «Фінансовий аналіз»

Результати розрахунку енергоспоживання до та після заходів наведено в таблиці 1.

Моделювання в програмному середовищі DesignBuilder

Програмний продукт DesignBuilder дозволяє створити 3D модель будівлі (рисунок 4) з існуючими характеристиками огорожувальних конструкцій, інженерних мереж та умов експлуатації. Модель дозволяє враховувати графік експлуатації, теплонаходження, характеристики інженерних мереж та більш деталізовані дані огорожень будівлі, наприклад різний тип вікон по фасадам.

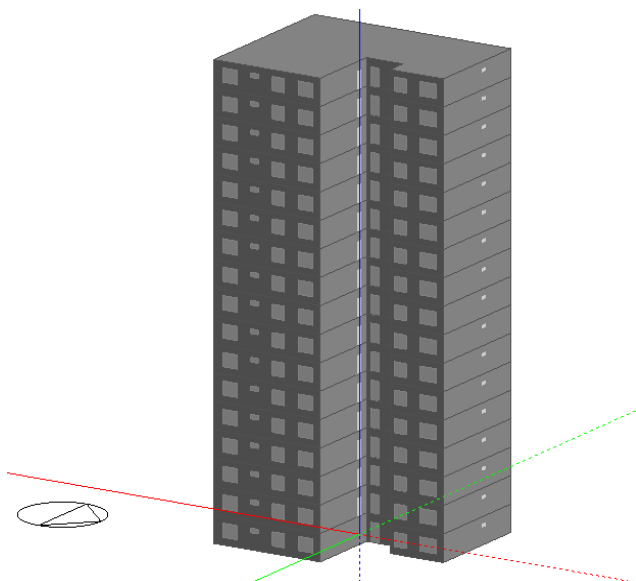


Рисунок 4 – Модель житлової будівлі у програмному середовищі DesignBuilder

В ході моделювання визначено енергоспоживання до та після впровадження запропонованих заходів з енергозбереження, результати наведено у таблиці 1.

Базове енергоспоживання враховує механічну систему вентиляції для забезпечення нормативних вимог по мікроклімату та автоматичне регулювання в системі опалення відповідно до змін зовнішніх погодних умов (рисунок 5). Базове енергоспоживання визначено з використанням стандартної бази даних матеріалів зовнішніх огорожувальних конструкцій та міжнародного кліматичного файлу погоди IWEC (крок дискретизації даних 1 година).

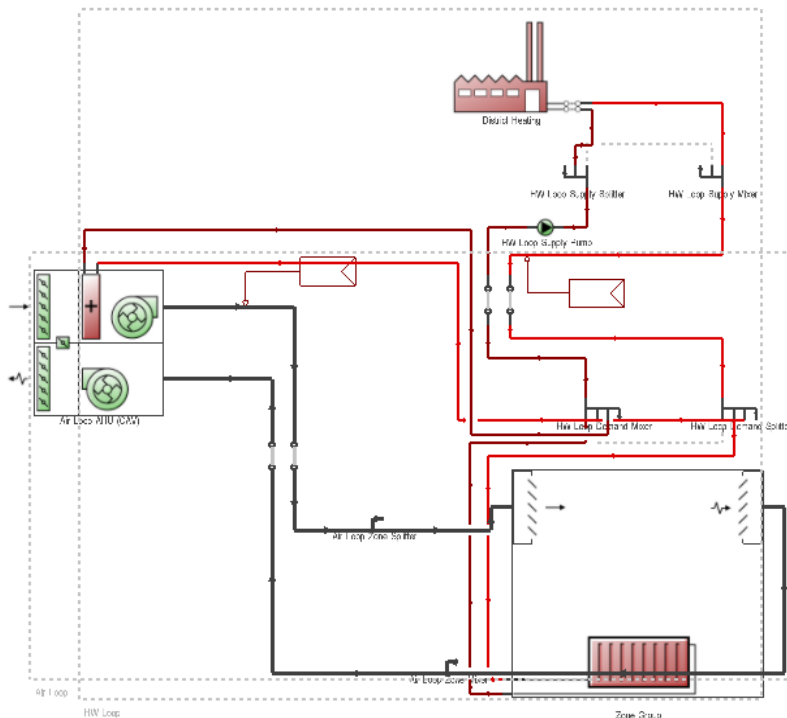


Рисунок 5 – Система опалення та вентиляції будівлі, що досліджується

Розрахунок за ДСТУ Б А.2.2-12:2015

Національний стандарт ДСТУ Б А.2.2-12:2015 встановлює розрахунковий метод оцінки енергоспоживання будівлі. Він включає розрахунок теплопередачі трансмісією та вентиляцією частини будівлі, що опалюється до постійної внутрішньої температури, внутрішні (від обладнання, освітлення, людей) та сонячні теплонаходження, енергопотребу та енергоспоживання на опалення, охолодження та гаряче водопостачання.

Даний стандарт дозволяє провести оцінку загального енергоспоживання, оцінку ефекту від можливих заходів з енергозбереження, моніторинг енергетичної ефективності будівлі та її інженерних систем, допомагає при планування заходів з модернізації та дає змогу прогнозувати необхідні у майбутньому енергетичні ресурси, шляхом розрахунку енергоспоживання.

Для розрахунку необхідно мати інформацію про кліматичні дані, характеристики огорожувальних конструкцій будівлі та інженерних мереж та особливості функціонування будівлі.

На основі інформації, отриманої під час проведення енергоаудиту було виконано розрахунок енергоспоживання до та після впровадження заходів з енергозбереження. Результати розрахунку за методикою ДСТУ виконано за спеціалізованою програмою, розробленою у програмному середовищі EXEL, результати наведено у таблиці 1.

Порівняння результатів розрахунку

Енергоспоживання до та після впровадження запропонованих заходів з енергозбереження наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння результатів розрахунку за різними підходами

| Найменування | Фактичне | За ДСТУ | RETScreen | DesignBuilde |
|--|----------|---------|-----------|--------------|
| Енергоспоживання до впровадження заходів, кВт·год/рік | 642100 | 1033068 | 873415 | 986483 |
| Енергоспоживання після впровадження заходів, кВт·год/рік | - | 404711 | 411518 | 382325 |

Відмінності у результатах є незначними та пов'язані перш за все з особливостями кожного розрахунку, врахуванням або неврахуванням тих чи інших факторів в процесі визначення енергоспоживання. Загалом можна зробити висновок про значний потенціал енергозбереження даної будівлі та доцільність реалізації запропонованих заходів. Після проведення термомодернізації рекомендується проводити моніторинг та аналіз енергоспоживання.

Моніторинг та аналіз даних є важливим питанням з точки зору організації ефективного використання енергетичних ресурсів. Питання контролю, підвищення ефективності споживання та раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів повинні вирішуватись на основі точної та оперативно отримуваної інформації. З цією метою доцільно використовувати спеціалізовані програмні продукти. Для прикладу розглянемо комп'ютерну програму «Автоматизовану систему енергомоніторингу» (АСЕМ), що є однією з найбільш часто використовуваних в Україні.

Комп'ютерна програма «Автоматизована система енергомоніторингу» - це комплекс програмного забезпечення для для дистанційного обліку та аналізу

споживання паливно-енергетичних ресурсів, інформування про порушення в режимі роботи обладнання теплового пункту.

КП «АСЕМ» забезпечує автоматизований облік енергоресурсів на основі даних, отриманих безпосередньо від вузлів обліку теплової енергії, електричної енергії, холодної води, а також збір інформації про аварійні сигнали та температуру повітря всередині приміщень.

Висновок. Досліджувана будівля має досить типові проблеми існуючого житлового фонду України і на її прикладі видно, що багатоквартирні будівлі мають значний потенціал енергозбереження і потребують термомодернізації. Впровадження комплексу заходів для об'єкту дослідження дозволить покращити внутрішні умови в будівлі та значно зменшити витрати та енергоресурси, а впровадження автоматизованої системи енергомоніторингу дозволить здійснювати дистанційний облік та аналіз енергоспоживання.

В ході досліджень виконано порівняльну оцінку розрахунків за допомогою спеціалізованих програмних продуктів DesignBuilder, RETScreen, а також за розробленою програмою, що описує методику ДСТУ 12 [1] в середовищі EXEL. Результати розрахунків енергоспоживання до модернізації відрізняються не більше ніж на 15%, після модернізації – не більше ніж 8%. Розрахункове та фактичне значення відрізняються більш суттєво, що пов'язано в першу чергу з недотриманням температурного графіку теплопостачання та умов мікроклімату у даній будівлі.

Список використаних джерел

1. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні.
2. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель.
3. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель.
4. Тарифи - Київтеплоенерго [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: kte.kmda.gov.ua/tarufu/

УДК 697.1

Микита Є.О.

Кафедра теплотехніки та енергозбереження

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО КЛАСИФІКАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ

COMPARATIVE ANALYSIS OF APPROACHES TO THE CLASSIFICATION OF ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS

Анотація. У роботі було розраховано показники енергетичної ефективності багатоквартирного будинку, виконано порівняльний аналіз двох підходів до визначення класу енергоефективності будівель: за показниками питомої енергопотреби, та за показниками питомого енергоспоживання, відповідно до діючих норм.

Ключові слова: багатоквартирний будинок, енергопотреба, енергоспоживання, клас енергоефективності.

Abstract. In the article, the energy efficiency indexes of an apartment building were calculated, a comparative analysis of two approaches to determining the energy efficiency class of buildings was performed: by specific energy consumption indicators and by specific energy consumption indicators, in accordance with current requirements.

Keywords: apartment building, energy need, energy consumption, energy efficiency class.

Вступ. Відповідно до угоди про асоціацію України з Європейським Союзом, було імplementовано ряд законів та нормативних документів ЄС, зокрема Директиви 2010/31/ЄС щодо енергетичної ефективності будівель. Відповідно до плану імplementації, було організовано систему сертифікації будівель щодо рівня енергетичної ефективності, в рамках якої було прийнято Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» [1], та розроблено ряд нормативно-правових актів, зокрема, «Методика визначення енергетичної ефективності будівель» [2], «Порядок проведення енергетичної сертифікації будівель...»[3]. В результаті, виникла неузгодженість в нормативно-правових документах щодо вимог до енергоефективності будівель. Згідно з новими та діючими вимогами, необхідно визначати клас енергоефективності двічі: за ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель, [4], та за новою Методикою[2].

Мета та завдання дослідження. Метою даного дослідження є порівняльний аналіз результатів розрахунку класу енергоефективності багатоквартирного будинку у м. Києві, за двома різними підходами. Завдання дослідження:

- збір вихідної інформації про будинок та визначення геометричних, теплотехнічних та енергетичних показників;
- розрахунок сумарної енергопотреби та класу енергоефективності багатоквартирного будинку за ДБН В.2.6-31[4];
- розрахунок енергоспоживання та класу енергоефективності за [2];
- порівняльний аналіз.

Матеріал і результати досліджень. Об'єкт дослідження – багатоквартирний житловий будинок, розташований на вул. Миколи Лаврухіна, 12. Односекційна 24-поверхова будівля, тип конструкції – «свічка». Перший поверх - нежитлові комерційні

приміщення, 2-23 поверхи - квартири, 24 - технічний поверх. Будинок зданий в експлуатацію в 2012 році.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд будинку

Відповідно до ДБН В.2.2-41:2019[5] будівля є висотною (умовна висота будівлі вища, ніж 73,5 метрів). Конструкційні характеристики зовнішніх стін: залізобетонний каркас товщиною 300 мм з заповненням повнотілою керамічною цеглою (250 мм). Наявна зовнішня теплоізоляція з пінополістиролу, товщина утеплення 100 мм. Вікна та балконні двері металопластикові, з двокамерними склопакетами 4-12-4-8-4і. Вхідні двері у під'їзд – світлопрозорі металопластикові, з однокамерним склопакетом. Двері переходів на сходові клітини дерев'яні. Покриття горизонтальне, монолітні залізобетонні плити, теплоізоляція двох типів: мінеральна вата 100 мм, та піноскло 80 мм. Перекриття підвалу - залізобетонні монолітні плити. Висота приміщень підвалу 3 м.

Джерело теплової енергії - централізоване тепlopостачання. Температурний графік тепlopостачання - 150/70 °С. Системи опалення та гарячого водопостачання (ГВП) розділені на три зони: торгово-офісні приміщення першого поверху, житлові приміщення 2-13 поверху, житлові приміщення 14-23 поверху. Встановлений модульний індивідуальний тепловий пункт за незалежною схемою, з автоматичним погодозалежним регулюванням витрати теплоносія. Температурний графік системи опалення 90/70 °С. Горизонтальна двотрубна система з центральними вертикальними стояками. На стояках наявні регулятори перепаду тиску та балансувальні вентилі. Опалювальні прилади житлових приміщень - алюмінієві радіатори з термостатичними вентилями. Централізованої системи охолодження будівлі не передбачено. Система вентиляції будівлі природня витяжна. Система освітлення місць загального користування - світильники зі світлодіодними лампами.

Алгоритм розрахунку

Для виконання завдання на базі програмного забезпечення Excel було створено програму для розрахунків енергопотреби, енергоспоживання та класу енергоефективності. Обидва підходи до визначення класу енергоефективності пов'язані з ДСТУ Б А.2.2-12:2015[6]. Основною відмінністю є спосіб визначення енергопотреби на гаряче водопостачання.

Нижче наведено узагальнений алгоритм виконання розрахунків (рис.2).

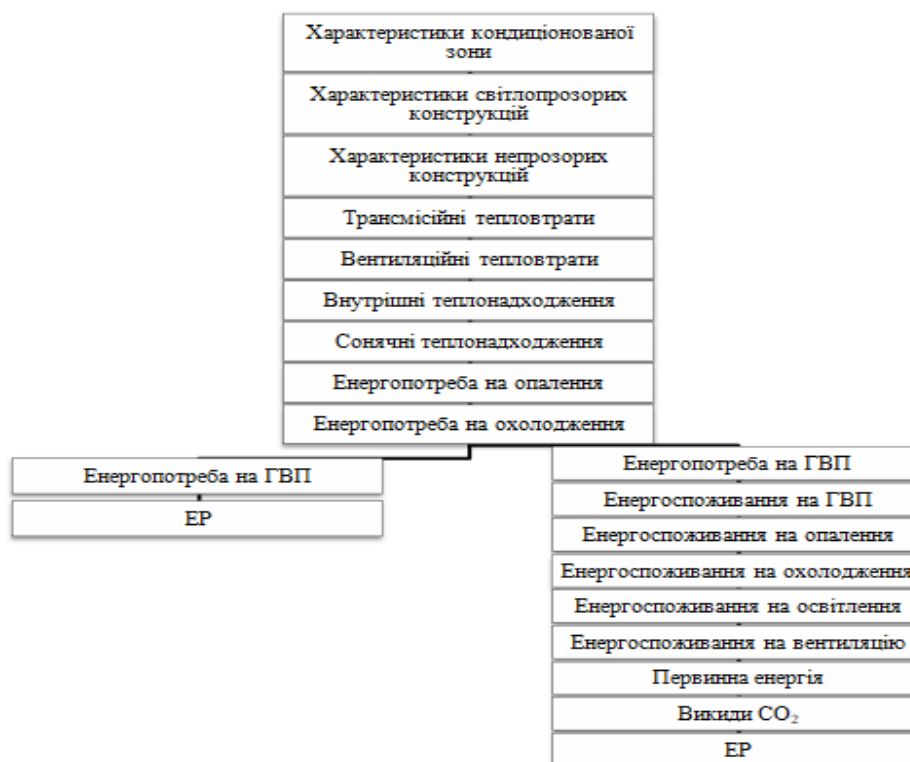


Рисунок 2 – Алгоритм розрахунку

Відповідно до ДБН В.2.6-31:2016 енергопотреба на ГВП, визначається за таблицею узагальнених питомих значень енергопотреб з ДСТУ Б А.2.2-12:2015[6]. За новою методикою значення енергопотреб на ГВП необхідно розраховувати з урахуванням нормативних об’ємних витрат гарячої води, що нормуються в ДБН В.2.5-64:2012 Внутрішній водопровід та каналізація [7].

Визначення класу енергоефективності за ДБН В.2.6-31:2016

Для визначення класу енергоефективності необхідно розрахувати зведений показник питомої енергопотреби EP, що визначається як сума показників енергопотреб для опалення, охолодження та гарячого водопостачання, питомих на опалювальну площу. Розраховані енергетичні показники та значення розрахункової питомої енергопотреби представлено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Енергетичні показники будівлі за ДБН В.2.6-31:2016

| Показники | Позначка і одиниця виміру | Нормативне значення показника | Розрахункове (проектне) значення показника |
|---|---------------------------|-------------------------------|--|
| Енергопотреба для опалення | $Q_{H, nd}$, кВт×год | - | 659675,14 |
| Енергопотреба для охолодження | $Q_{C, nd}$, кВт×год | - | 42830,69 |
| Енергопотреба для гарячого водопостачання | $Q_{DHW, nd}$, кВт×год | - | 303872 |

| | | | |
|--|--|----|-------|
| Розрахункова питома енергопотреба | EP, кВт×год/м ² | - | 66,24 |
| Максимально допустиме значення питокої енергопотреби будинку | EP_{max}, кВт×год/м ² | 70 | - |

Розподіл шкали класів енергетичної ефективності будівель та визначений клас енергоефективності для досліджуваної будівлі представлено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Шкала та клас енергоефективності будинку за ДБН В.2.6-31

| Шкала класів енергетичної ефективності | Різниця в % розрахункового EP від максимально допустимого значення EP _{max} | $[(EP-EP_{max})/EP_{max}] \cdot 100\%$ |
|--|--|--|
| A | Мінус 50 та менше | |
| B | Від мінус 49 до мінус 10 | |
| C | Від мінус 9 до 0 | -5,38 |
| D | Від 1 до 25 | |
| E | Від 26 до 50 | |
| F | Від 51 до 75 | |
| G | 76 та більше | |

Визначення класу енергоефективності за Методикою

Нижче наведені результати розрахунку за Методикою визначення енергетичної ефективності будівель (табл. 3).

Таблиця 3 – Показники енергетичної ефективності будівлі за [2]

| Назва показника | Існуюче значення кВт×год/м ² (кВт×год/м ³) за рік | Мінімальні вимоги кВт×год/м ² (кВт×год/м ³) за рік |
|--|--|---|
| Питома енергопотреба на опалення, охолодження, гаряче водопостачання | 78,11 | 70 |
| Питоме енергоспоживання при опаленні | 60,12 | - |
| Питоме енергоспоживання при охолодженні | 1,26 | - |
| Питоме енергоспоживання при гарячому водопостачанні | 64,92 | - |
| Питоме енергоспоживання системи вентиляції | 0,00 | - |
| Питоме енергоспоживання при освітленні | 6,37 | - |
| Питоме споживання первинної енергії, кВт×год/м ² за рік | 177,22 | - |
| Питомі викиди парникових газів, кг/м ² за рік | 35,19 | - |

Відповідно до Методики[2] для визначення класу енергоефективності використовують показник EP, що відрізняється за змістом від ідентичного умовного позначення в ДБН В.2.6-31:2016, і визначається як сума трьох показників

енергоефективності: питоме енергоспоживання при опаленні, питоме енергоспоживання при охолодженні, питоме енергоспоживання при гарячому водопостачанні.

Визначений клас енергоефективності досліджуваної будівлі представлений на

| Шкала класів енергетичної ефективності | Клас енергетичної ефективності |
|---|--------------------------------|
| Високий рівень енергоефективності | |
| A <math><44 \text{ кВт} \times \text{год}/\text{м}^2</math> | |
| B <math><79 \text{ кВт} \times \text{год}/\text{м}^2</math> | |
| C <math><87 \text{ кВт} \times \text{год}/\text{м}^2</math> | |
| D <math><109 \text{ кВт} \times \text{год}/\text{м}^2</math> | |
| E <math><131 \text{ кВт} \times \text{год}/\text{м}^2</math> | E |
| F <math><153 \text{ кВт} \times \text{год}/\text{м}^2</math> | |
| G $>153 \text{ кВт} \times \text{год}/\text{м}^2$ | |
| Низький рівень енергоефективності | |
| Питоме споживання енергії на опалення, гаряче водопостачання, охолодження будівлі, кВт × год/м ² | 126,31 |

рисунок 3.

Рисунок 3 – Клас енергоефективності досліджуваної будівлі за Методикою [2]

Висновки. За сучасними нормативними вимогами існує неузгодженість у визначенні класу енергоефективності будівель. Для 24-поверхового житлового будинку у м. Києві встановлено, що за ДБН В.2.6-31:2016 клас енергоефективності – С, а за Методикою [2] – клас Е. Є необхідність вдосконалення системи класифікації будівель, затвердження єдиної методології розрахунку показників енергетичної ефективності та єдиної шкали класів для уникнення подальших неузгодженостей.

Перелік використаних джерел

1. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель».
2. Наказ Міністерства регіонального розвитку №169 від 11 липня 2018 р. «Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель».
3. Наказ Міністерства регіонального розвитку №172 від 11 липня 2018 р. «Про затвердження Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності та форми енергетичного сертифіката».
4. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель.
5. ДБН В.2.2-41:2019 Висотні будівлі. Основні положення.
6. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні.
7. ДБН В.2.5-64:2012 Внутрішній водопровід та каналізація.

УДК 697.1:34

Музичук О.Б.

кафедра теплотехніки та енергозбереження

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗАКЛАДІВ ДОШКІЛЬНОЇ ОСВІТИ
НА ПРИКЛАДІ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ «ЯГІДКА» МІСТА БАШТАНКА
МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

**IMPROVEMENT OF ENERGY EFFICIENCY OF PRESCHOOL EDUCATION
INSTITUTIONS ON THE EXAMPLE OF «YAGIDKA» EDUCATIONAL
INSTITUTION OF BASHTANKA CITY, MYKOLAIV REGION**

Анотація. Стаття присвячена вивченню проблем енергозбереження та енергоефективності, неефективного використання енергоресурсів та актуальності вирішення проблем енергозбереження в Україні на прикладі дитячого навчального закладу.

Ключові слова: енергоефективність, паливно-енергетичні ресурси, теплопостачання, тепловтрати, енергозбереження, енергозберігаючі заходи.

Annotation. The article is devoted to the study of problems of energy saving and energy efficiency, inefficient use of energy resources and the relevance of solving energy-saving problems in Ukraine on the example of a children's educational institution.

Key words: energy efficiency, fuel and energy resources, heat supply, heat losses, energy conservation, energy conservation measures.

Вступ. На сьогодні енергетичний фактор є одним з головних чинників, що впливають на стан економічної ситуації в Україні. На даний час енергозберігаючі технології впроваджуються практично у всіх галузях економіки. Але, якщо для промислового виробництва реальним результатом енергозбереження стає зниження енергоємності продукції, то в бюджетній сфері стимулювати економію енергоресурсів значно складніше. В умовах постійного зростання цін на основні види енергоресурсів, особливої актуальності набувають питання енергозбереження та підвищення енергоефективності в закладах та установах, що фінансуються з міського бюджету.

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження є теоретичне узагальнення практичних рекомендацій щодо впроваджених заходів по підвищенню енергоефективності об'єкту бюджетної сфери.

Результати досліджень. В ході роботи виконано енергетичне обстеження будівлі, яке включало уточнення геометричних і теплотехнічних показників, дослідження умов мікроклімату всередині приміщень, обстеження інженерних мереж, виконання необхідних інструментальних вимірювань і розрахунків.

Особливо гострою є проблема енергозбереження для бюджетних організацій. З одного боку, це обумовлено соціальним значенням цих об'єктів, з іншого боку, наявністю морально застарілого, низькоефективного котельного обладнання та відсутності реалізації енергозберігаючих заходів, що в свою чергу є одними з основних причин дефіциту коштів у бюджетах усіх рівнів.

На основі всіх вище названих проблем було проведено енергоаудит ДНЗ «Ягідка» м. Баштанка Миколаївської області (табл.1).

Інформація про об'єкт енергоаудиту

| | |
|--------------------------|---|
| Назва об'єкту | Баштанський заклад дошкільної освіти №6 "Ягідка" |
| Адреса | Миколаївська обл., м. Баштанка, вул. 1 Продольна, 6 |
| Рік здачі в експлуатацію | 1987 |



Рис.1 Фото об'єкту енергетичного аудиту

Графік роботи в будівлі – 7:30 - 18:00.

Серед проведених модернізацій будівлі:

- часткова заміна дерев'яних вікон з однокамерним склопакетом на металопластикові з однокамерним склопакетом;
- часткова заміна входних дверей на більш теплоізолюючі;
- перехід на індивідуальне опалення у 2002 році;
- гідроочистка труб у 2018 році.

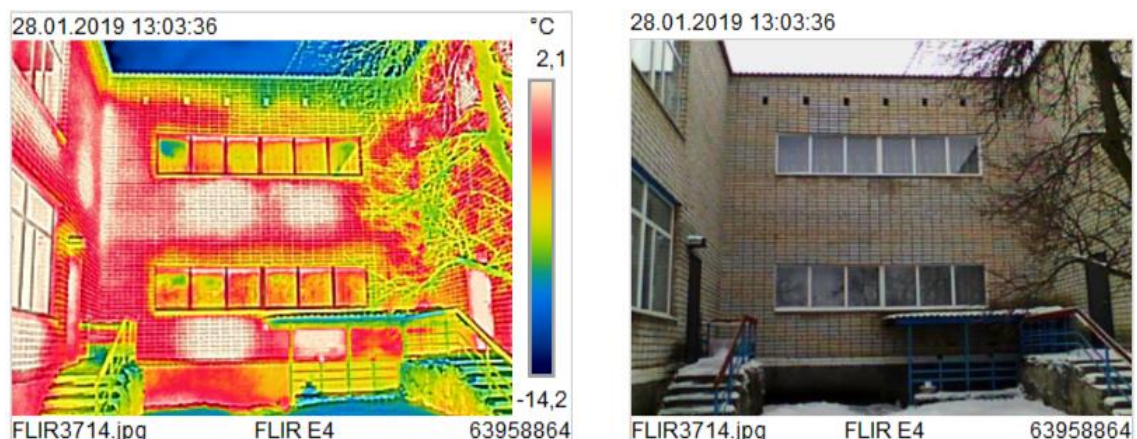


Рис.2 Термограма фрагменту фасаду будівлі ззовні

Підвищені тепловтрати через стіну, особливо в місцях встановлення опалювальних приладів та в місцях міжстикових з'єднань свідчать про необхідність

встановлення додаткового шару ізоляції оболонки будівлі. Інформація щодо розмірних характеристик будівлі наведена в таблиці 2.

Таблиця 2

Розмірні характеристики будівлі

| | | | |
|------------------------------------|--------|---------------------------|-----|
| Площа забудови, м ² | 852,8 | Кількість поверхів | 2 |
| Опалювальна площа, м ² | 1440 | Середня висота поверху, м | 3 |
| Опалювальний об'єм, м ³ | 4534,1 | Висота будівлі, м | 8,2 |

Опис технічного стану огорожувальних конструкцій:

Зовнішні стіни: стіни будівлі виконано із силікатної цегли, товщиною 500 мм. Стіни без утеплення. Приведений опір теплопередачі не відповідає мінімальним вимогам 2,8 (м²·К)/Вт. Під час зовнішнього обстеження видимих пошкоджень фасаду не виявлено.

Віконні блоки: 70% світлопрозорих конструкцій будівлі металопластикові з однокамерним склопакетом, інші – дерев'яні з однокамерним склопакетом. Площа застаклювання складає 264,1 м². Коефіцієнт скління – 0,19. Приведений опір теплопередачі вікон відповідає нормативним значенням.

Зовнішні двері: входні двері будівлі металопластикові та металеві. Приведений опір теплопередачі більшості конструкцій входної групи не відповідає мінімальним вимогам.

Дах: дах будівлі з неопалювальним приміщенням горища, крівля похила, вкрита шифером. Горищне перекриття та дахове покриття не утеплені. Характеристика огорожувальних конструкцій не відповідає мінімальним вимогам.

Підвал: у будівлі присутній неопалювальний підвал, в якому розміщені розподільчі труби системи опалення, водопостачання та каналізації. Опір теплопередачі перекриття над неопалювальним підвалом не відповідає нормативним вимогам.

На рисунках 3,4 та 5 приведене помісячне споживання газу за 2018 рік та електричної енергії за 2016-2018 роки відповідно.

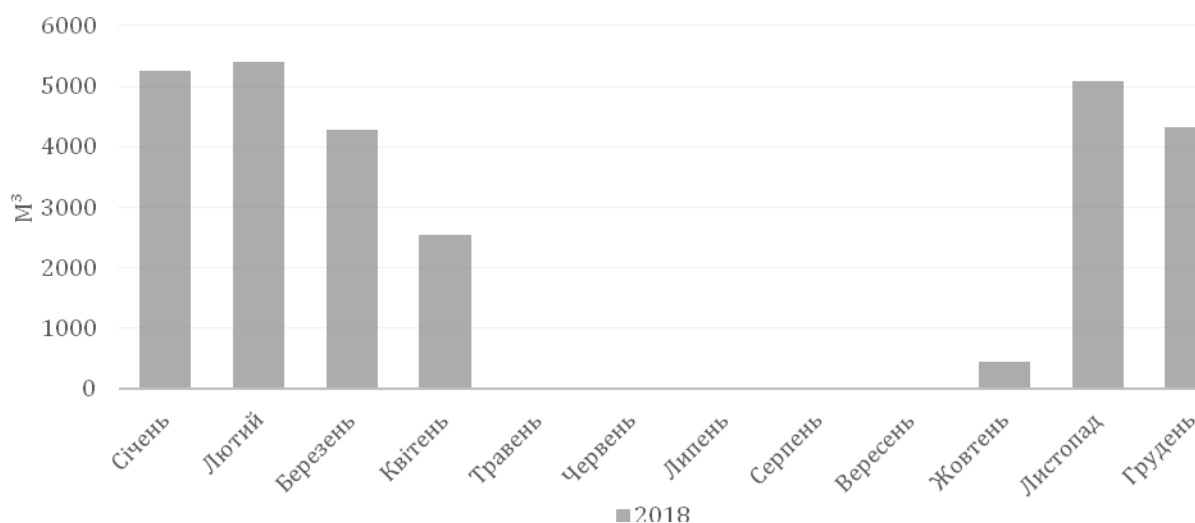


Рис 3. Помісячне споживання природного газу за 2018 рік

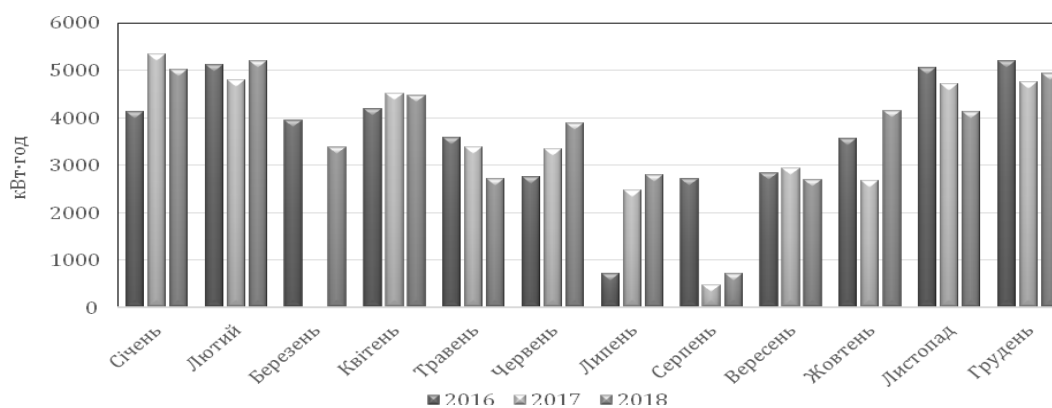


Рис.4 Помісячне споживання електричної енергії за 2016-2018 роки

На рисунку 5 наведена структура розподілу грошових витрат на енергоресурси, спожиті будівлею за 2018 рік.

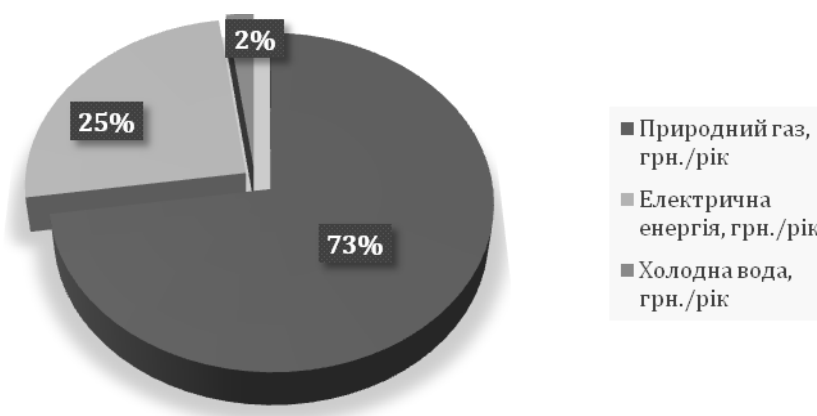


Рис.5 Структура витрат на енергоресурси

Частка грошових витрат на закупівлю природного газу в три рази перевищує кількість коштів, затрачених на електричну енергію. Враховуючи тенденцію до зростання цін на енергоресурси, можна передбачити подальше зростання витрат на їх придбання. Це свідчить про необхідність зменшення теплоспоживання шляхом впровадження заходів з енергозбереження. Опрацювавши зібрані дані з об'єкту були запропоновані наступні заходи з енергозбереження:

- Утеплення фасадів. Для дотримання нормативних значень опору теплопередачі пропонується провести утеплення фасаду мінеральною ватою, товщиною 100 мм.
- Утеплення горищного перекриття. Значна частина тепловтрат припадає на покрівлю будівлі. Пропонується провести реконструкцію даху з заміною шиферного покриття на бітумні листи Ондулін та термомодернізацією, шляхом утеплення

горищного перекриття, застосувавши теплоізоляційний шар з високим термічним опором.

– Заміна вікон з низьким опором теплопередачі. Через невідповідність опору теплопередачі всіх наявних вікон пропонується замінити однокамерні дерев'яні та металопластикові вікна на двокамерні металопластикові енергозберігаючі.

– Заміна вхідних дверей з низьким опором теплопередачі. Пропонується замінити однокамерні металопластикові вхідні двері будівлі на двокамерні, які мають значно вищий опір теплопередачі.

– Встановлення приточно-витяжної системи вентиляції з утилізацією теплоти. Природня вентиляція не забезпечує необхідного рівня повітрообміну в приміщеннях, що позначається на комфортних умовах перебування людей всередині. Після заміни вікон система вентиляції потребує реконструкції з влаштуванням енергоефективної приточно-витяжної установки.

– Заміна наявного газового котла на конденсаційний. Зважаючи на те, що термін ефективної експлуатації наявного котельного обладнання закінчився, пропонуються встановити новий, сучасний конденсаційний котел.

Наведемо дані щодо реалізації енергоефективних заходів та відмітимо два пакети: обов'язкові та додаткові заходи, чорним та сірим кольором відповідно (табл.3).

Таблиця 3

Заходи з енергозбереження

| Найменування заходу з енергозбереження | Капітальні затрати, грн. | Економія теплової енергії, Гкал/рік | Економія коштів на енергоресурси, грн./рік | Простий термін окупності, роки |
|---|--------------------------|-------------------------------------|--|--------------------------------|
| Утеплення фасадів | 1 514 912 | 96,38 | 168 979 | 8,97 |
| Утеплення горищного перекриття | 747 363 | 61,68 | 108 132 | 6,91 |
| Заміна вікон з низьким опором теплопередачі | 743 700 | 36,27 | 63 586 | 11,7 |
| Заміна вхідних дверей з низьким опором теплопередачі | 149 750 | 4,77 | 8 369 | 17,89 |
| Встановлення приточно-витяжної системи вентиляції з утилізацією теплоти | 690 000 | 48,91 | 85 757 | 8,05 |
| Заміна наявного газового котла на конденсаційний | 370 864 | 31,82 | 55 779 | 6,65 |

Висновок: В ході проведення енергетичного аудиту будівлі Баштанського закладу дошкільної освіти №6 "Ягідка", запропоновано перелік заходів для зниження

споживання енергоресурсів. Потенціал економії від впровадження заходів з енергозбереження складає 59,2% від базового теплоспоживання.

Визначені енергоефективні заходи щодо зниження споживання теплової енергії на опалення будівлі передбачають глибоку термомодернізацію будівлі, що дозволить знизити споживання теплової енергії на опалення більш ніж вдвічі від базового рівня споживання та досягнути середньоєвропейських показників енергоефективності будівлі, при дотриманні комфортних умов.

Список використаних джерел

1. Енергозбереження – стратегія розвитку Богородчанського району [Електронний ресурс] // МГЕО "Наш дім - Манява". – 2012. – Режим доступу до ресурсу: http://manyava.org/news/energozberezhennja_strategija_rozvitku_bogorodchanskogo_rajonu/2012-09-19-435
2. Економія паливно-енергетичних ресурсів – важливий крок до зміцнення енергетичної безпеки України [Електронний ресурс] // Матеріали до загальнообласного Дня інформування населення. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.rv.gov.ua/sitenew/goschansk/ua/publication/print/4923.htm>.
3. Волков В. П. Проблеми енергозбереження в житловому фонді / В. П. Волков // Экономический вестник университета. Сборник научных трудов ученых и аспирантов, 2013. – №20-1. – С.83-90. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://cyberleninka.ru/article/n/problemi-energozberezhennya-v-zhitlovomu-fondi>
4. Концеба С. М. Енергозберігаючі технології в Україні: економічний ефект і перспективи впровадження / С. М. Концеба, О. О. Непочатенко // Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. – 2007. - № 63. - С. 1–5.
5. Матвійчук Н. М. Приоритеты реализации политики энергосбережения в Украине / Н. М. Матвійчук // ECONOMICS AND MANAGEMENT. Juvenis scientia. – 2016. - № 1. – С. 97– 100.
6. INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF PRESCHOOL EDUCATION INSTITUTIONS ON THE EXAMPLE OF THE “YAGIDKA” EDUCATION INSTITUTE OF THE TOWN OF MYKOLAIV REGION / О. Б. Музичук, Т. Ю. Оборонов. // Журнал "THE SCIENTIFIC HERITAGE". – 2019. – С. 40–44.
7. Підвищення енергоефективності в будівлях навчальних закладів м.Івано-Франківська [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.mvk.if.ua/kperozv/32062>.

УДК 697.1:332.87

Поліщук А.Р.

Кафедра теплотехніки та енергозбереження

УДОСКОНАЛЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО ПУНКТУ НА ПРИКЛАДІ ЖБК «МЕДИК-2» У МІСТІ КИЄВІ

Анотація. У статті розглянуті можливі удосконалення індивідуального теплового пункту, що являє собою індивідуальний тепловий пункт, які функції виконує ІТП, який ІТП потрібно встановити, а також, від яких факторів залежить вартість встановлюваного ІТП, як максимально знизити споживання тепла і підвищити енергозбереження та енергоефективність.

Ключові слова: тепловий пункт, споживання тепла, енергозбереження, енергоефективність.

Annotation. The article discusses the possible improvement of an individual heat point, which is an individual heat point, which functions the ITP needs, which ITP should be installed, and which factors depend on the cost of the installed ITP, how to minimize heat consumption and improve energy efficiency and energy efficiency.

Key words: thermal point, heat consumption, energy saving, energy efficiency.

Вступ. Одним з основних заходів з термомодернізації будівлі є встановлення індивідуального теплового пункту (ІТП). Більшість людей не знають, що являє собою ІТП, які функції він може виконувати та за якими параметрами його потрібно вибирати.

Індивідуальний тепловий пункт або ІТП – це комплекс автоматичних пристроїв, зазвичай розташований у підвальній частині будівлі та призначений для того, щоб приєднати внутрішньобудинкові системи теплоспоживання – опалення, гарячого водопостачання або вентиляції – до теплової мережі. Теплоносій, тобто підігріта вода, від центральної котельні (ЦК) по магістральним теплотрасам надходить до центральних теплових пунктів (ЦТП), які також називають бойлерними. Далі від ЦТП теплоносій розподіляється по будівлях житлового району по трубопроводах. Центральний тепловий пункт також зазвичай є місцем приготування гарячої води для навколишнього мікрорайону, тому від ЦТП до кожного будинку йде по чотири трубопроводи: два для опалення та два для гарячого водопостачання. Встановлення індивідуального теплового пункту на вході теплоносія в житловий будинок дає можливість регулювати подачу тепла в конкретній будівлі та керувати інтенсивністю подачі тепла залежно від погодних умов.

Одна з основних функцій ІТП – це автоматичне регулювання теплового потоку, тобто коригування кількості гарячого теплоносія, який надходить з тепломережі, для забезпечення певної температури теплоносія на вході в систему опалення будинку залежно від поточної температури зовнішнього повітря. Погодозалежне регулювання дає можливість економити кількість спожитої теплової енергії. Іншими словами, якщо на вулиці тепло, то регулятор теплового потоку в індивідуальному тепловому пункті знижує температуру теплоносія, що циркулює в системі опалення, для забезпечення комфортної температури повітря в опалюваних приміщеннях, а якщо холодно – підвищує її, згідно із заданими налаштуваннями.

Чим більшими є тепловтрати будівлі, тим більше тепла вимагає її обігрів. Щоб зменшити тепловтрати, необхідно виконати комплексну термомодернізацію, яка включає утеплення будинку, заміну вікон та дверей на сучасні енергоефективні, а також

модернізацію системи теплопостачання, в якій одним з кроків є встановлення ІТП. Тільки при впровадженні всіх цих заходів можливо отримати максимальний ефект економії тепла.

Існує помилкова думка, що утеплення стін, даху, підвалу, заміни вікон та дверей вже достатньо для того, щоб знизити витрати тепла на обігрів будинку. Однак для істотної економії потрібна можливість регулювати постачання та розподіл тепла всередині самої будівлі. Таку можливість надає встановлення індивідуального теплового пункту. Адже у більшості будівель встановлена застаріла система теплопостачання, котра не дозволяє регулювати кількість теплової енергії.

Мета та завдання. Метою даної роботи є модернізація наявного індивідуального теплового пункту для зменшення теплових втрат.

Матеріал та і результати досліджень. На даному житловому об'єкті вже наявний тепловий пункт з елеваторним вузлом. Але це не дуже ефективна система, тому що вона не дозволяє регулювати подачу теплоносія в залежності від погодних умов. Тому в даному заході я запропонував модернізувати дану систему теплового пункту на більш сучасну та ефективнішу.



Рисунок 1 – Тепловий пункт

Запропоновано встановити блок автоматизації теплового пункту (БАТП) фірми «OTOS». Він дозволяє якісно регулювати системою опалення в залежності від температури зовнішнього повітря і дозволяє забезпечити програмне зниження температури теплоносія в системі опалення по часовому графіку.

Регулювання теплоспоживання, в залежності від температури зовнішнього повітря, виконано за допомогою електронного регулятора. Датчик температури зовнішнього повітря, повинен розміщуватися на зовнішній стіні будівлі, а датчик температури теплоносія – на подаючому та зворотньому трубопроводі системи опалення. Регулювання здійснюється за рахунок обмеження витрати первинного теплоносія поступаючого від

джерела тепла двуходовим клапаном. Для обмеження розрахункової витрати теплоносія, а також створення оптимального регулювання, на подаючому трубопроводі перед вузлом передбачене встановлення автоматичного регулятора перепаду тиску прямої дії.

Циркуляція теплоносія в системі опалення підтримується двома циркуляційно-системними насосами з мокрим ротором, один із яких резервний.

Послуги проектувальника коштують 10000 грн та 25000 робота. Вартість БАТП з двома насосами ВАТТ 500 [Сх]:3 - [Нс]:П2 - [Рг]:П - [DN]:100/32 та потужністю ОС 500 кВт приблизно становить 850000 грн. Разом із виконанням монтажних робіт, вартістю трубопроводів, послуг на отримання технічних умов і узгодження влаштування ІТП шляхом реконструкції наявного можна виконати за близько 885000 грн.

Під час модернізації теплового пункту ми встановили блок автоматизації за допомогою ми можемо регулювати температуру на об'єкті та знижувати температуру системи до мінімуму під час вихідних та святкових днів.

Отже, річна кількість теплоти при зниженні витрат теплоти у неробочі години, Гкал/год:

$$Q_o^{рік(нероб.)} = Q_o^{max} \left(\frac{(n_o - a) \cdot m_p (t_{вн} - t_{ср.о})}{t_{вн} - t_{р.о}} + \frac{(24n_o - m_p (n_o - a))(t_{нероб.} - t_{ср.о})}{t_{вн} - t_{р.о}} \right),$$

де a – сума недільних і святкових днів за опалювальний період;

m_p - кількість годин роботи закладу на добу, год;

$t_{нероб.}$ - температура повітря і приміщеннях у неробочий час, °С.

Підставивши значення в формулу, отримаємо:

$$Q_o^{рік(нероб.)} = 0,736 \left(\frac{(176 - 30) \cdot 12(18 - (-0,1))}{18 - (-22)} + \frac{(24 \cdot 176 - 12(176 - 30))(14 - (-0,1))}{18 - (-22)} \right) =$$

$$= 1224,8 \text{ Гкал/год.}$$

Тоді економія теплоти при модернізації теплового пункту становитиме:

$$\Delta Q = Q_o^{рік} - Q_o^{рік(нероб.)} = 1406,8 - 1224,8 = 182 \text{ Гкал/год.}$$

Тоді, економія в грошах при тарифі 1355,8 грн/Гкал складатиме:

$$\Delta E = 182 \cdot 1355,8 = 246755,6 \text{ грн.}$$

Термін окупності складатиме:

$$T_{ок.} = \frac{885000}{246755,6} = 3,59 \text{ роки.}$$

Висновок. Даний захід є досить привабливий не тільки з інвестиційної точки зору, а й з енергозбереження, оскільки він не тільки допоможе зекономити кошти, а й дає змогу замінити застаріле обладнання на більш економічне з боку теплової енергії.

Список використаної літератури.

1. Енергетичні системи та комплекси. Системи виробництва та розподілу енергії: Визначення теплового навантаження будівель та вибір системи тепlopостачання: навчальний посібник для студентів напрямів підготовки 6.050701 "Електротехніка та електротехнології", 6.050601 "Теплоенергетика" / В.В.Дубровська, В.І Шкляр. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 112 с.

2. Шовкалюк М. М. Аналіз енергетичних і матеріальних показників і балансів навчального закладу з розробкою енергозберігаючих заходів / М. М. Шовкалюк, І. Ю. Білоус // Науково-практичний журнал «Екологічні науки». – 2014. - № 5. - С. 108-115. - Режим доступу:
<http://ecoj.dea.gov.ua/wp-content/uploads/2014/08/shovkalyk.pdf>
3. ДБН В.2.5-39:2008. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі.
4. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування.
5. Енергозбереження будівель і споруд. Ефективність роботи системи опалення: метод. вказівки до викон. лабор. робіт з дисципліни для студ. спец. “Енергетичний менеджмент” / В. І. Дешко, М. М. Шовкалюк, О. М. Галілейська, К. В. Іщенко – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – 40 с.
6. Тарифи на теплову енергію для юридичних осіб [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://kyivenergo.ua/te-company/teplova_energiya
7. <http://vlasnyk.org.ua/energy-saving/pogodne-regulyuvannya-z-itp/> ПОГОДНЕ РЕГУЛЮВАННЯ З ІТП.
8. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні: ДСТУ-Н Б А.2.2-XXX:201X - [Чинний від 201X-04-01] К Мінрегіон, 201X - (Національний стандарт України).

УДК 620.91

Порядіна Д.С.
кафедра теплотехніки та енергозбереження

**ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ
СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ У ГІМНАЗІЇ НОВІТНІХ БІОТЕХНОЛОГІЙ №177**

**IMPROVEMENT OF BUILDING ENERGY EFFICIENCY LEVEL AT THE
EXPENSE USE OF A SOLAR COLLECTORS IN
IN THE GYMNASIUM OF THE NEWEST BIOTECHNOLOGIES №177**

Анотація. В даній статті розглядається підвищення загального рівня енергоефективності дошкільного навчального закладу. Розглянутий підхід дозволяє досягти комфортних умов мікроклімату відповідно до діючої нормативної бази.

Ключові слова: енергоефективність; енергозбереження; сонячний колектор; гаряче водопостачання; теплопостачання.

Annotation. This article discusses the increase of the general level of energy efficiency of a preschool. The considered approach allows to reach comfortable conditions a microclimate in accordance with the current normative base.

Key words: energy efficiency, energy saving, solar collector, hot water supply; heat supply.

Вступ. У зв'язку з підвищенням тарифів на теплову енергію, електроенергію та гаряче водопостачання, все більш актуальною стає тема енергозбереження. Загальновідомо, що підвищення енергоефективності дозволяє долати тиск, який на них чинить залежність від енергоресурсів, вирішувати питання ненадійності енергопостачання, нерівності, високих цін і рахунків за енергоресурси, а також екологічної шкоди і збитків здоров'ю. Особливо це стосується бюджетних установ, де споживання даних ресурсів є суттєвим. На сьогоднішній день є стрімкий розвиток використання поновлювальних джерел енергії, а саме енергія вітру, води, геотермальна енергія та енергія Сонця. Використовувати сонячну енергію перспективно, бо ця енергія доступна всім і кожному. Її кількість практично необмежена. Вона екологічна, нічого не забруднює, нічого не порушує, ні у що не влямається згубним дисонансом. Також в країні вже існують енергоефективні школи, які є автономними, тобто встановлені геотермальні теплові насоси, які використовують енергію Землі для обігріву закладу.

Мета та завдання. Метою та завданням даної статті – підвищення рівня енергоефективності та поширення частки альтернативної енергетики за рахунок встановлення сонячних колекторів в гімназії новітніх біотехнологій №177.

Матеріал та результати досліджень. Об'єктом дослідження є гімназія новітніх біотехнологій №177, що знаходиться в місті Києві, Україна, за адресою: вулиця Генерала Геннадія Воробйова, 12. Гімназія № 177 була збудована у 1962 році.

Капітальний ремонт огорожуючих конструкцій останнім часом не проводився.

Зовнішні стіни будівлі виконані з силікатної цегли товщиною 350 мм, ззовні вкриті мінватою і шаром штукатурки. Зовнішній фасад не має очевидних пошкоджень.

Вікна з двокамерним склінням заповненим повітрям зі звичаного скла. Загальна площа вікон – 1580 м². Вхідні двері будівлі скляні пластикові, через них спостерігаються значні тепловтрати. Загальна площа дверей рівна 170 м²

Дах плоский, знаходиться безпосередньо над опалювальними приміщеннями. Переkritтя виконано з залізобетонної панелі товщиною 220 мм та ззовні вкрито шаром утеплювача (150 мм) та подвійним шаром гідроізоляції – руберойдом (10 мм). Площа даху – 3650 м².

Розрахункова площа будівлі складає 14200 м², площа опалювальних приміщень – 14200 м², опалювальний об'єм – 46900 м³.

В ході роботи виконано детальне енергетичне обстеження, що включало: вивчення режимів експлуатації, уточнення геометричних і теплотехнічних показників огорожень, дослідження умов мікроклімату всередині приміщень, виконання необхідних інструментальних вимірювань і розрахунків, обстеження інженерних систем, тепловізуальну зйомку.

Аналіз втрат теплоти дошкільним навчальним закладом показав (рис.1), що теплові втрати в основному обумовлені недостатньою ізоляцією огорожувальних конструкцій. Цей показник можна знизити, запропонувавши впровадження енергоефективних заходів, без яких використання енергозберігаючих технологій та встановлення сонячних колекторів не дасть бажаного результату.



Рисунок 1 – Баланс тепловтрат

Після виконання детальних розрахунків було запропоновано утеплення зовнішніх стін, даху та заміна вікон, економія від термосанації складала 454314,625 грн/рік в порівнянні з існуючою ситуацією.

Розглянемо більш детально ефект від виконання термомодернізації огорожень.

Утеплення зовнішніх стін. Середній опір теплопередачі існуючих стін $R=2,9$ (м²·К)/Вт значно нижче розрахункового нормативного коефіцієнта теплопередачі $R=4,07$ (м²·К)/Вт. Додаткова теплова ізоляція дозволить зменшити понаднормові втрати тепла через стіни та покращити зовнішній вигляд будівлі. Площа зовнішніх стін, які необхідно вкрити тепловою ізоляцією, складає 2687,2 м². В якості утеплювача пропонується використовувати жорсткий утеплювач ($\lambda = 0,043 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$) товщиною 50 мм.

Технологія виконання – скріплена ізоляція (рис.2)

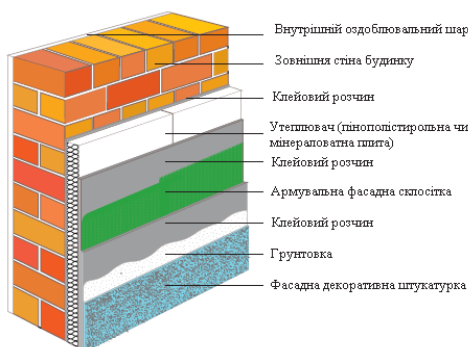


Рисунок 2 – Технологія утеплення стін

Утеплення даху. Середній опір теплопередачі даху $R=1,88$ ($m^2 \cdot K$)/Вт значно нижчий за нормативний коефіцієнт теплопередачі $R=3,88$ ($m^2 \cdot K$)/Вт. Дах плоский, знаходиться безпосередньо над опалювальними приміщеннями. Перекриття виконано з залізобетонної панелі товщиною 220 мм та ззовні вкрито шаром утеплювача (150 мм) та подвійним шаром гідроізоляції – руберойдом (10 мм). Площа даху – 3650 m^2

Заміна вікон та дверей. Середній опір теплопередачі вікон та дверей $R=0,568$ ($m^2 \cdot K$)/Вт значно нижчий за нормативний. Для зменшення тепловтрат пропонується замінити склопакет вікон та вхідних дверей будівлі на металопластикові з подвійним склопакетом наповнювач аргон, та з енергозберігаючим склом з та коефіцієнтом теплопередачі на рівні $k = 1,09$ Вт/($m^2 \cdot K$). Це дасть змогу значно знизити теплові втрати та покращити умови в середині приміщень за рахунок зменшення протягів.

Загальна площа пластикових вікон – 1580 m^2 , дверей – 170 m^2 .

Також виконано необхідні розрахунки та визначено термін окупності інших енергозберігаючих заходів, що призводять до економії теплової (табл.1) та електричної (табл.2) енергії даного закладу.

Таблиця 1 – Енергозберігаючі заходи (теплова енергія)

| Назва заходу | Термін окупності заходу | Капітало-вкладення, грн | Річна економія коштів, грн |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Утеплення зовнішніх стін | 23 роки 9 місяців | 1 501 550 | 62 678,175 |
| Заміна склопакетів в вікнах | 5 років 1 місяць | 1 280 000 | 251 072,8 |
| Утеплення даху | 4 роки 4 місяців | 620 500 | 140 563,65 |
| Встановлення аераторів | 8 місяців | 10759 | 14173,04 |

Таблиця 2 – Енергозберігаючі заходи (електрична енергія)

| Назва заходу | Термін окупності заходу | Капітало-вкладення, грн | Річна економія коштів, грн |
|---|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Заміна ламп на світлодіодні | 1 рік 2 місяця | 103600 | 12257 |
| Заміна електричних плит | 2 роки 9 місяців | 239960 | 80986,2 |
| Встановлення приладів обліку | 1 рік 2 місяці | 30000 | 25630,9 |
| Встановлення лічильника | - | 33000 | - |
| Річна економія після впровадження всіх заходів, грн | | 118874,1 | |

Також одним із запропонованих методів енергозбереження є встановлення геліо-системи. Прямим завданням геліосистем є максимально ефективно перетворення енергії сонячного випромінювання в теплову.

Вибір сонячного колектора.

Добова потреба в тепловій енергії для гарячого водопостачання дитячого садка розраховується за формулою, $\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{доба}}$:

$$Q_{\text{ГВП}}^{\text{д}} = 1,163 \cdot G^{\text{д}} \cdot (t_{\text{ГВ}} - t_{\text{ХВ}}),$$

де $t_{\text{ГВ}}$ - температура гарячої води, приймається 55 °С; $t_{\text{ХВ}} = 15$ °С - температура холодної води в літній період та $t_{\text{Х}} = 5$ °С в зимовий період.

$$Q_{\text{ГВП}}^{\text{д}} = 1,163 \cdot 6000 \cdot (55 - 15) = 279,12 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{доба}}.$$

Таблиця 3 – Розрахунок питомої теплової енергії

| Місяць | Години доби до полудня | | | | | | Сума |
|----------|------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| | 6 – 7 | 7 – 8 | 8 – 9 | 9 – 10 | 10 – 11 | 11 – 12 | |
| Січень | | | 197,47 | 391,70 | 525,03 | 673,30 | 1787,51 |
| Лютий | | 101,66 | 414,37 | 529,71 | 675,54 | 816,54 | 2537,81 |
| Березень | 100,33 | 318,41 | 530,93 | 716,95 | 841,51 | 969,27 | 3477,42 |
| Квітень | 177,37 | 367,28 | 562,38 | 785,92 | 882,05 | 972,16 | 3747,16 |
| Травень | 234,07 | 419,15 | 606,55 | 820,72 | 900,77 | 980,13 | 3961,39 |
| Червень | 248,38 | 428,24 | 607,98 | 803,10 | 890,77 | 967,85 | 3946,33 |
| Липень | 228,96 | 427,16 | 619,78 | 764,67 | 880,39 | 959,81 | 3880,77 |
| Серпень | 175,58 | 367,67 | 565,57 | 737,95 | 831,72 | 918,36 | 3596,86 |
| Вересень | 124,54 | 312,26 | 501,11 | 726,46 | 826,06 | 926,57 | 3417,00 |
| Жовтень | -8,19 | 220,87 | 323,95 | 669,40 | 732,21 | 804,57 | 2742,82 |
| Листопад | | 220,87 | 182,47 | 602,93 | 633,69 | 697,39 | 2337,36 |
| Грудень | | | 72,73 | 418,71 | 495,31 | 598,21 | 1584,95 |
| ω | 82,50 | 67,50 | 52,50 | 37,50 | 22,50 | 7,50 | |

Для встановлення обираємо сонячний колектор марки auroTHERM pro VFK 125/3 з наступними технічними характеристиками (таблиця 4):

Таблиця 4 – Технічні характеристики сонячного колектора

| | |
|--|--------------|
| Розміри, мм | 2033x1233x80 |
| Вага нетто, кг | 38 |
| Площа бруто, м ² | 2,51 |
| Площа нетто, м ² | 2,35 |
| Об'єм теплоносія | 2,1 |
| Нормативний ККД, % | 78 |
| Товщина теплоізоляції, мм | 40 |
| Максимальний робочий тиск, бар | 10 |
| Коефіцієнт прозорості скла, % | 91 |
| Коефіцієнт поглинання абсорбера, % | 90 |
| Коефіцієнт випромінювання абсорбера, % | 20 |
| Температура стагнації, °С | 175 |

Так як площа абсорбера одного сонячного колектора складає 2,35 м², а розрахункова площа сонячного колектора складає 148,59 м², то необхідна кількість сонячних колекторів складає 63 шт.

Загальна економія ГВП складає 2256,54 м³ за рік, що при ціні на гарячу воду рівній 80,62 грн/м³ дорівнює 181922,25 грн/рік.

Таблиця 5 – Розрахунок впровадження геліосистеми

| № | Товар | Кількість | Ціна, € | Вартість, € |
|---|---|-----------|---------|-------------|
| 1 | auro VFK 145/2 V - плоский колектор, 2,51 кв.м, | 63 | 682 | 48625,6 |
| 2 | Система підключення для 10 колекторів | 6 | 657,6 | |
| 3 | Контролер Tech ST 402N | 3 | 127 | |
| 4 | Подвійна насосна станція ENSOL з насосом Grundfos UPM 3 Solar | 2 | 385 | 5179 |
| 5 | Розширювальний Бак ELBI ERCE 35 л | 1 | 65 | |
| 6 | Теплоносій, 30 л | 6 | 83 | |
| 7 | Бак-аккумулятор Drazice стац. ОКС 1000 NTR/1 Mpa, 1000 л | 3 | 1625 | |
| 8 | Розширювальний Бак Aquasystem VRV 200L | 2 | 152 | |

| | | | | |
|----|---|----|-----|--------|
| 9 | Монтажний комплект для плоскої поверхні для 6 колекторів 2,51 м ² | 10 | 415 | 4150 |
| 10 | Термостатичний змішувачий клапан Afriso ATV334 DN25 | 4 | 81 | 324 |
| 11 | Трубопровід з нержавіючої сталі в ізоляції(з ел. кабелем), 10м | 8 | 175 | 1400 |
| 12 | Робота та витратні матеріали | 1 | 10% | 5967,8 |

Термін окупності такої геліосистеми складатиме 11,1 років.

Висновки. Заходи для підвищення енергоефективності є доцільними, незважаючи на значні початкові капіталовкладення. Було проаналізовано можливість зменшення оплати за споживання електроенергії. Розглянуто можливість впровадження відновлювальних джерел енергії. Впровадження комплексу заходів для об'єкту дослідження дозволить покращити умови мікроклімату в приміщеннях та отримати суттєве зниження енергоспоживання.

Список використаних джерел.

1. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016. – Офіц. вид. – К.: Мінрегіонбуд України, 2017. – 11с.
2. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. ДБН В.2.5-23:2010. – Офіц. вид. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 26с.
3. Розрахункові електричні навантаження: ДБН В.2.5-23 2003. – Офіц. вид. – К.: Мінрегіонбуд України, 2003. – 20с.
1. 4.Системи електропостачання [Текст]: Довідкові дані / О.С. Ярмолюк, В.А. Попов, В.В. Ткаченко – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 17 с.
4. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.: ДСН 3.3.6.042-99. – Офіц. вид. – К.: МОЗ України, 1999. – 53 с.

УДК 696.48

Сапунов А.О.

Кафедра теплотехніки та енергозбереження

**ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДОШКІЛЬНОГО
НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГАРЯЧОГО
ВОДОПОСТАЧАННЯ ТЕПЛОВОЮ ЕНЕРГІЄЮ З АЛЬТЕРНАТИВНОГО
ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЄЮ**

Анотація: В роботі розглянуто систему гарячого водопостачання дошкільного навчального закладу №630 в м. Києві, розроблений захід з енергозбереження із забезпечення гарячого водопостачання за рахунок використання енергії сонця. В програмному забезпеченні T*SOL розраховано 3 варіанта вакуумних сонячних колекторів, з різною кількістю колекторів. Порівнявши ці системи за техніко-економічними показниками була вибрана найбільш ефективна система для даного навчального закладу.

Abstract: The paper deals with the system of hot water supply of a preschool educational institution №630 in Kyiv, developed a measure on energy saving to ensure hot water supply through the use of solar energy. There are 3 variants of vacuum solar collectors in the T * SOL software, with different number of collectors. By comparing these systems in terms of technical and economic indicators, the most effective system was selected for this institution.

Ключові слова: енергоефективність, енергозбереження, вакуумний сонячний колектор, коефіцієнт змішення.

Keywords: energy efficiency, energy saving, vacuum solar collector, mixing ratio

Вступ

У зв'язку зі збільшенням тарифів на енергію та у відповідності до енергетичної Стратегії України [1], більш актуально стає впровадження поновлювальних джерел енергії в бюджетних установах, що дозволить значно зменшити використання первинних енергетичних ресурсів.

Гаряче водопостачання є однією з найважливіших частин дошкільного навчального закладу, згідно з [2] підключенням гарячої води забезпечуються приміщення харчоблоку, туалетних для дітей та персоналу, пральної, медичного блоку. Відключення гарячої та холодної води створює неблагополучну санітарно-епідеміологічну ситуацію в дитячому закладі, що може позначитися на стані здоров'я дітей. Так як більшість ДНЗ працюють протягом цілого року, вони потребують безперервне постачання гарячої та холодної води, що призводить до суттєвого споживання енергоресурсів. Постачання гарячої води в більшості закладів здійснюється через централізоване постачання або власну підготовку гарячої води.

Мета та завдання

Метою роботи є розробка заходу із забезпечення гарячого водопостачання з альтернативного джерела енергії, а саме встановлення на даху будівлі вакуумний сонячний колектор. До завдання роботи входило: розглянути системи з різною кількістю

колекторів, за допомогою програмного забезпечення T*SOL та вибрати найбільш ефективну, за техніко-економічних показниками.

Опис об'єкту дослідження

Дошкільних навчальних закладів (ДНЗ) №630 знаходиться у м. Київ, вулиця Газова, 10, побудований у 1951 році має 2 поверхи, та Н-подібну форму. В ДНЗ навчається 84 учнів та працює 25 персонала та директор - Бадовська Ніна Петрівна. Гімназія працює з понеділка по п'ятницю з 7:00 до 19:00.

Зовнішні стіни з 1-го по 2-ий поверх включно виконані із червоної цегли, кладка подвійна, товщина стіни 520 мм. Стіна складається з кількох шарів: цегляна кладка з цементним розчином – 500мм, штукатурка внутрішня 20 мм. Загально площа зовнішніх стін складає 637,24 м².

Вікна передбачені в проекті – дерев'яні з подвійним склінням. Проте, протягом всього часу експлуатації будівлі, вікна поступово змінювали на металопластикові. В результаті чого дерев'яні вікна залишились лише на другому поверсі в кількості 2шт. Вікна мають площу 130 м².

Будівля опалюється від центральної теплової мережі через індивідуальний тепловий пункт, що розташований в підвальному приміщенні ДНЗ. Загальна площа підвального приміщення становить 156,29м².

За проведенням попереднім енергоаудитом було визначено можливі основні теплові втрати будівлі рисунок 1, де майже 37% з них складають втрати саме на інфільтрацію повітря.

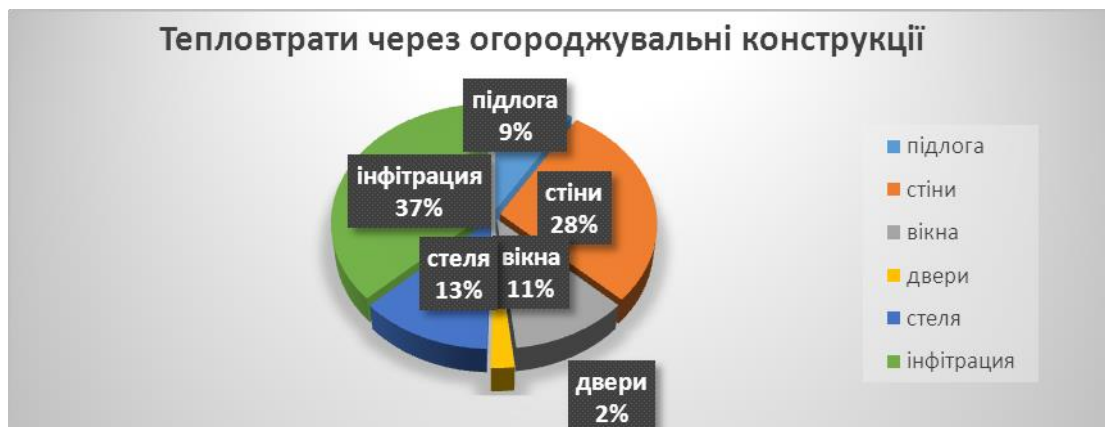


Рисунок 1 – Тепловтрати через огорожувальні конструкції

Розрахункова частина

В даному навчальному закладі гаряча вода подається за рахунок підігріву холодної води у бойлері. Після аналізу діючої системи гарячого водопостачання, було вирішено для більш раціонального і ефективного використання енергії, встановити вакуумний сонячний колектор АУМОСФЕРА СВК-Nano-30HP який зображено на рисунку 2, а загальні параметри приведені в таблиці 1

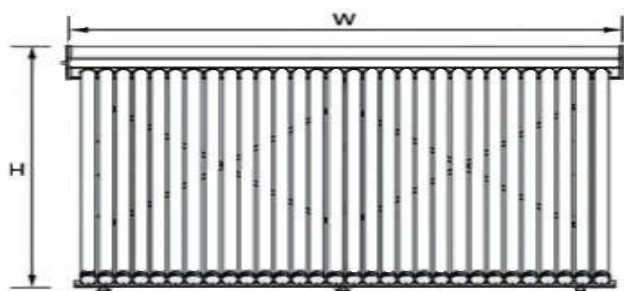


Рисунок 2–Вакуумний сонячний колектор СВК-Nano-30HP

Таблиця 1 – Параметри СВК-Nano-30HP

| модел ь | Кількіст ь труб,(шт) | Пік. енерг. (кВт·год) | S апарат а .(м ²) | S абсор . (м ²) | H, (мм) | W, (мм) | Вага , (кг) |
|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| СВК- Nano- 30HP | 30 | 2,033 | 2,81 | 2,41 | 2020 | 2440 | 96 |

Така геліосистема має високу продуктивність в умовах низької сонячної інсоляції, може забезпечувати від 30% до 90% потреби гарячій воді, також він простий в монтажу та експлуатації. Термін експлуатації даного колектора–25 років.

Для зберігання гарячої води встановлюється буферний бак, який дозволяє зберігати гарячу воду та використовувати коли потрібно. При відсутній достатній кількості сонячної енергії в бак-акумулятор встановлено електронагрів, для підтримки заданої температури в певний період часу.

При розрахунку геліосистеми було використано програмне забезпечення T*SOL. T*SOL – це програма моделювання, яка дозволяє точно розрахувати вихід сонячної теплової енергії протягом річного циклу. За допомогою цієї програми можна вибрати оптимально сонячні теплові системи, розмір колекторів і резервуари для зберігання, і розрахувати економічну ефективність.

Середнє споживання холодної води складає 73,5м³/місяць, тобто 2,45м³/день. З цих 2450 літрів води 1300 літрів використовується у гарячому вигляді, в літній період ДНЗ закривають на санобробку, тому графік споживання гарячої води має наступний вигляд рисунок 3.

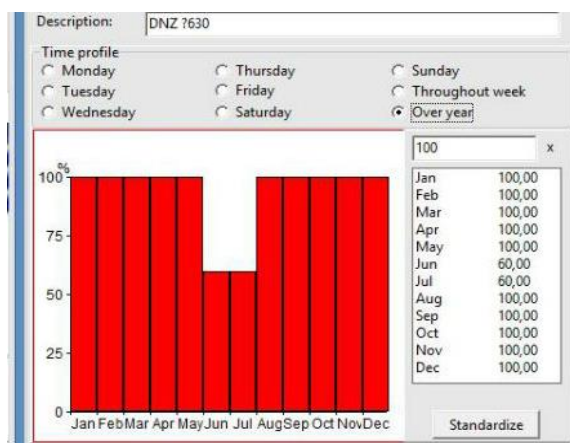
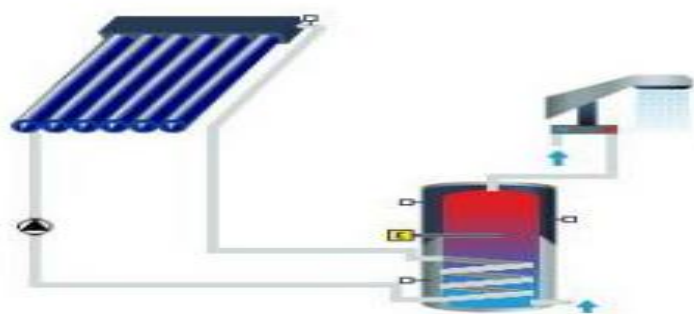


Рисунок 3–Відсоток споживання гарячої води за різний період часу

За цим графіком було змодельовано 3 системи на 1300л/день, рисунок 3, з різною кількістю вакуумних колекторів, для порівняння та вибору найбільш ефективної с точки зору техніко економічних показників. Основні компоненти та вартість таких систем наведені в таблиці 2 [3].



A1.2 - DHW system with electric water heater Variant 1

Рисунок 4–Геліосистема

Таблиця 2–Основні компоненти геліосистеми

| Основне ооборудованіє | Система на 500л/добу | | Система на 1000л/добу | | Система на 2000л/добу | |
|---------------------------|----------------------|---------------|-----------------------|---------------|-----------------------|---------------|
| | Позначенн я | кількіст ь | Позначенн я | кількіст ь | Позначенн я | кількіст ь |
| Сонячний колектор | СВК Nano 30 | 2 | СВК Nano 30 | 5 | СВК Nano 30 | 8 |
| Насосна група | BRV | 1 | BRV | 1 | BRV | 1 |
| Контролер | ST-4 | 1 | ST-4 | 1 | ST-4 | 1 |
| Розширювальн ий бак | CP35 | 1 | CP35 | 1 | CP75 | 1 |
| Бак-акумулятор | 500 л. | 1 | 500 л. | 1 | 1000 л. | 2 |
| Вартість проекту під ключ | 3 845 \$ | | 7 595 \$ | | 12 745 \$ | |

За результатами моделювання було виведено графіки виробництва сонячної енергії, коефіцієнт заміщення та потрібної енергії для задоволення потреб в гарячій воді рисунок 5-6, також було виведено звіт в якому наведені всі технічні показники, в таблиці 3 наведені основні технічні показники зі звіту.

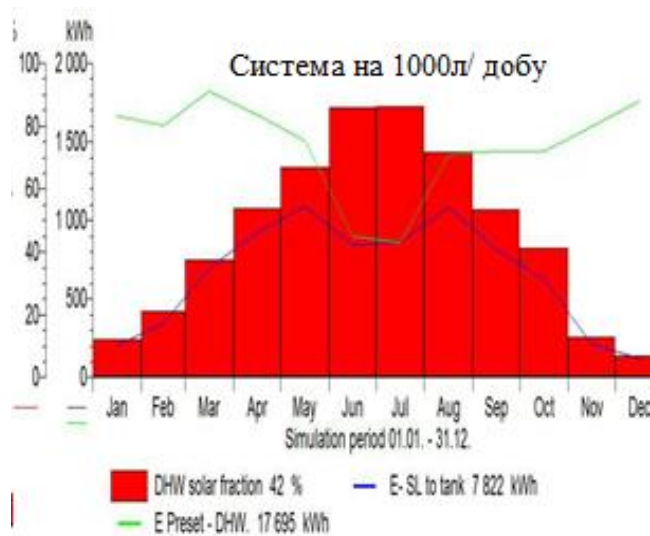
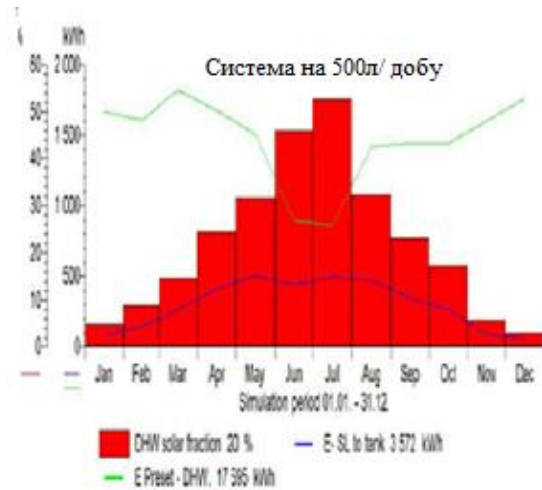


Рисунок 5–Робота геліосистеми

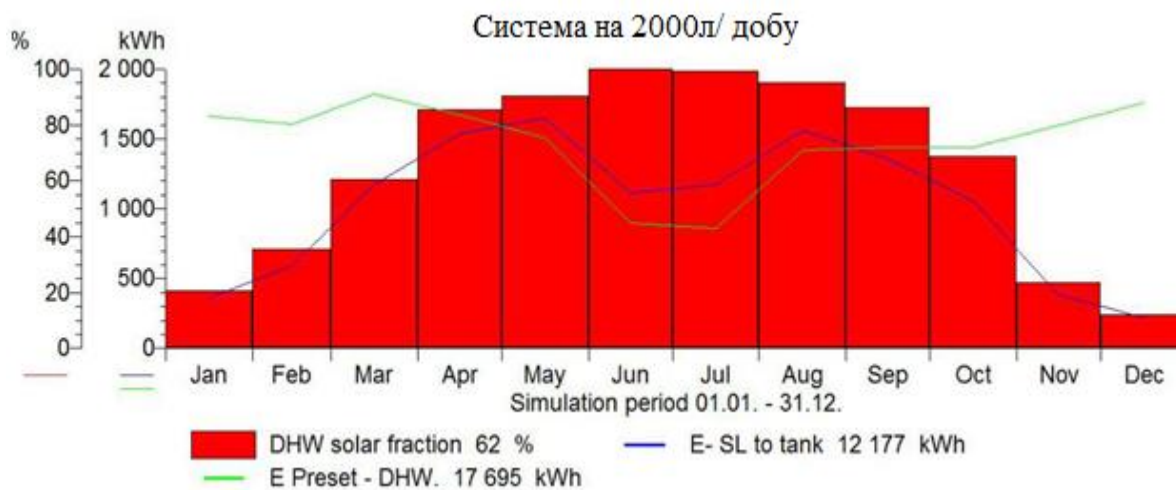


Рисунок 6– Робота геліосистеми

Таблиця 3–Основні технічні показники

| Геліосистема | Встановлена потужність колектора, кВт | Встановлена площа сонячної поверхні, м ² | Вкладення сонячної енергії в ГВП, кВт | Коефіцієнт заміщення, % |
|------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------------|-------------------------|
| Система на 500л/сутки | 3,93 | 5,62 | 3529,38 | 19,6 |
| Система на 1000л/сутки | 9,84 | 14,05 | 7610,70 | 41,9 |
| Система на 2000л/сутки | 15,74 | 22,48 | 11614,34 | 61,6 |

Розрахуймо річну економію грошей, для визначення простого терміну окупності та вибору системи з найбільшими економічними показниками. Розрахунок проводиться для першої системи, за рік, з урахуванням ціни на електричну енергію. Економію грошей визначається за формулою:

$$E_{\text{грн}} = W \cdot b,$$

де W – вклад сонячної енергії в ГВП,

b – тарифна ставка, приймаємо 2,13 грн/місяць.

$$E_{\text{грн}} = 3529,38 \cdot 2,13 = 7517,58 \text{ грн/рік.}$$

Простий термін окупності визначається за формулою:

$$T_{\text{пр}} = \frac{B_{\text{заграт}}}{E},$$

$$T_{\text{пр}} = \frac{94049,16}{7517,58} = 12,51 \text{ роки.}$$

Аналогічно розрахуємо для інших систем та зведемо в таблицю 4.

Таблиця 4– Економічний розрахунок сонячних колекторів

| Геліосистема | Економія грошей, грн/рік | Вартість проекту, грн | Термін окупності, роки |
|-----------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|
| Система на 500л/ добу | 7517,58 | 94049,16 | 12,51 |
| Система на 1000л/добу | 16210,79 | 185774,61 | 11,45 |
| Система на 2000л/добу | 24738,54 | 311744,23 | 12,60 |

Висновки

За допомогою програмного забезпечення T*SOL було розглянуто 3 системи з різною кількістю колекторів. За результатами моделювання було розраховано простий термін окупності. Найбільш ефективна за техніко економічними показниками є система на 1000л/добу, загальною площею колектора 14,04 м², коефіцієнт заміщення даної системи складає 41,9%. Загальна вартість такого проекту складає 185774,61грн, а термін окупності такої системи 11,45 років, така система є досить доцільною, адже термін експлуатації становить 25 років.

Список використаної літератури

1. ЕНЕРГЕТИЧНА СТРАТЕГІЯ УКРАЇНИ НА ПЕРІОД ДО 2035 РОКУ «БЕЗПЕКА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЬ». СХВАЛЕНО розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р.
2. СанПіН 3231-85. Санітарні правила устрою та утримання дитячих дошкільних установ (дитячі ясла, дитячі садочки, дитячі ясла-садочки)
3. Grasicarra.ua [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gravicarra.com.ua/>

УДК 620.91

Федорусь Г.О.
кафедра теплотехніки та енергозбереження

**ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДОШКІЛЬНОГО
НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ №712 З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНИХ
КОЛЕКТОРІВ**

**IMPROVEMENT OF BUILDING ENERGY EFFICIENCY LEVEL IN
PRESCHOOL №712 USING SOLAR COLLECTORS**

Анотація. В даній статті розглядається підвищення загального рівня енергоефективності дошкільного навчального закладу. Розглянутий підхід дозволяє досягти комфортних умов мікроклімату відповідно до діючої нормативної бази.

Ключові слова: енергоефективність; енергозбереження; сонячний колектор; гаряче водопостачання; теплопостачання.

Annotation. This article discusses the increase of the general level of energy efficiency of a preschool. The considered approach allows to reach comfortable conditions a microclimate in accordance with the current normative base.

Key words: energy efficiency, energy saving, solar collector, hot water supply; heat supply.

Вступ. У зв'язку з великими тарифами на теплову енергію, електроенергію та гаряче водопостачання, все більш актуальною стає тема енергозбереження. Особливо це стосується бюджетних установ, де споживання даних ресурсів є суттєвим. На сьогоднішній день є стрімкий розвиток використання поновлювальних джерел енергії, а саме енергія вітру, води, геотермальна енергія та енергія Сонця. Використовувати сонячну енергію перспективно, бо вона доступна в кожній точці нашої планети і процес отримання енергії є екологічно чистим. В країні вже існують енергоефективні школи, які є автономними, тобто незалежними від центральних систем опалення. В таких школах встановлені геотермальні теплові насоси, які використовують енергію Землі для обігріву закладу.

Мета та завдання. Метою та завдання даної статті – підвищення рівня енергоефективності та поширення частки альтернативної енергетики за рахунок встановлення сонячних колекторів в дошкільному навчальному закладі №712.

Матеріал та результати досліджень. Об'єктом дослідження є дошкільний навчальний заклад №712, що знаходиться в місті Києві, Україна, за адресою: вул. Стадіонна 4-а. Дитячий садочок № 712 був збудований у 1979 році.

Капітальний ремонт огорожуючих конструкцій останнім часом не проводився.

Двоповерховий дошкільний навчальний заклад №712 конструктивно виконаний окремою будівлею.

Зовнішні стіни будівлі виконані із цегли товщиною 380 мм, всередині вкриті шаром штукатурки. Зовнішній фасад не має очевидних пошкоджень.

Вікна – нещодавно встановлені двокамерні склопакети. Загальна площа вікон – 315 м². Вхідні двері будівлі дерев'яні не утеплені. Загальна площа дверей рівна 58,94 м².

Дах плоский, знаходиться безпосередньо над опалювальними приміщеннями. Перекриття виконано із залізобетонної панелі товщиною 220 мм та ззовні вкрито шаром

утеплювача (150 мм) та подвійним шаром гідроізоляції – руберойдом (10 мм). Площа даху – 774 м².

Підвал неопалювальний під всією площею будівлі. Перекриття підлоги складається з залізобетонної плити товщиною 200 мм, шару цементно-піщаної стяжки – 60 мм, верхній шар – лінолеум, який має товщину 1,5 мм. Підлога знаходиться над неопалювальним підвалом.

Розрахункова площа будівлі складає 2310 м², площа опалювальних приміщень – 1506 м².

В ході роботи виконано детальне енергетичне обстеження, що включало: вивчення режимів експлуатації, уточнення геометричних і теплотехнічних показників огорожень, дослідження умов мікроклімату всередині приміщень, виконання необхідних інструментальних вимірювань і розрахунків, обстеження інженерних систем, тепловізію зйомку.

Аналіз втрат теплоти дошкільним навчальним закладом показав (рис.1), що теплові втрати в основному обумовлені недостатньою ізоляцією огорожувальних конструкцій. Цей показник можна знизити, запропонувавши впровадження енергоефективних заходів, без яких використання енергозберігаючих технологій та встановлення сонячних колекторів не дасть бажаного результату.

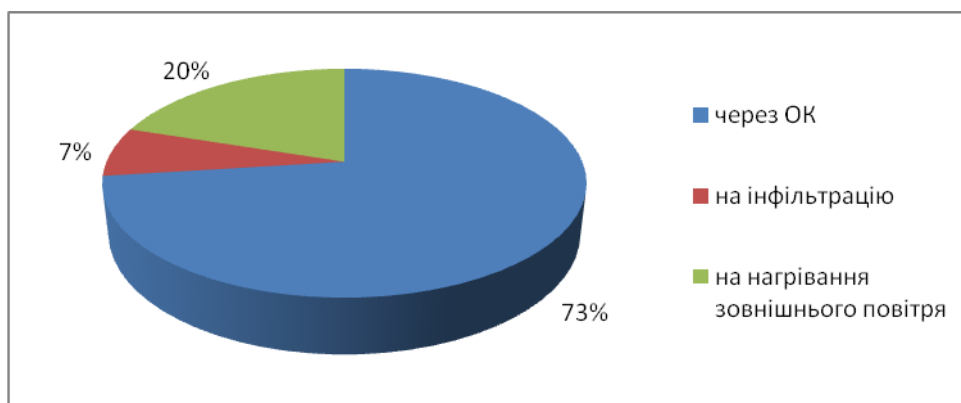


Рисунок 1 – Баланс тепловтрат

Після виконання детальних розрахунків було запропоновано утеплення зовнішніх стін, підлоги та даху, економія від термосанації склала 489227,6 грн/рік в порівнянні з існуючою ситуацією.

Розглянемо більш детально ефект від виконання термомодернізації огорожень.

Утеплення зовнішніх стін. Середній опір теплопередачі існуючих стін $R=1,109$ (м²·К)/Вт значно нижче розрахункового нормативного коефіцієнта теплопередачі $R=3,3$ (м²·К)/Вт. Додаткова теплова ізоляція дозволить зменшити понаднормові втрати тепла через стіни та покращити зовнішній вигляд будівлі. Площа зовнішніх стін, які необхідно вкрити тепловою ізоляцією, складає 1724,5 м². В якості утеплювача пропонується використовувати жорсткий утеплювач ($\lambda = 0,045 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$) товщиною 100 мм.

Технологія виконання – скріплена ізоляція (рис.2)

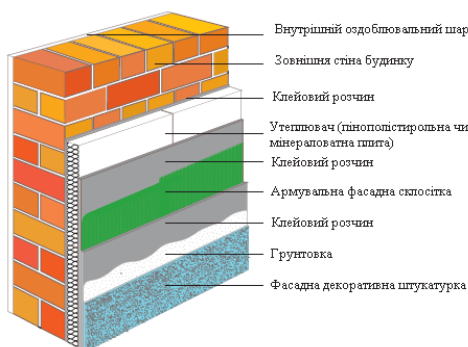


Рисунок 2 – Технологія утеплення стін

Утеплення даху. Середній опір теплопередачі даху $R=1,73$ ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)/Вт значно нижчий за нормативний коефіцієнт теплопередачі $R=4,95$ ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)/Вт. Теплова ізоляція дозволить зменшити наднормові втрати тепла через перекриття останнього поверху (суміщений дах). Пропонуємо використовувати в якості утеплювача мінераловатні плити товщиною 100мм. Площа даху, яку необхідно вкрити тепловою ізоляцією складає 774 м^2 .

Утеплення підлоги. Середній опір теплопередачі підлоги $R=0,58$ ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)/Вт значно нижчий за нормативний коефіцієнт теплопередачі $R=3,75$ ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)/Вт. Теплова ізоляція дозволить зменшити наднормові втрати тепла через перекриття першого поверху над неопалювальним підвалом. Пропонуємо використовувати жорсткий утеплювач товщиною 150 мм. Площа підлоги, яку необхідно вкрити тепловою ізоляцією складає 774 м^2 .

Також виконано необхідні розрахунки та визначено термін окупності інших енергозберігаючих заходів, що призводять до економії теплової (табл.1) та електричної (табл.2) енергії даного закладу.

Таблиця 1 – Енергозберігаючі заходи (теплова енергія)

| Назва заходу | Термін окупності заходу | Економія теплової енергії, Гкал/рік | Річна економія коштів, грн |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Утеплення зовнішніх стін | 4 роки 9 місяців | 169,54 | 240236,07 |
| Встановлення аераторів на крани | 3 місяці | - | 12327,2 |
| Утеплення даху | 5 років 3 місяці | 53,1 | 72240,5 |
| Утеплення підлоги | 4 роки | 48 | 68014 |

Таблиця 2 – Енергозберігаючі заходи (електрична енергія)

| Назва заходу | Термін окупності заходу | Капітало-вкладення, грн | Річна економія коштів, грн |
|---|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Заміна зовнішнього освітлення | 2 роки 4 місяці | 24000 | 10141,5 |
| Заміна електричних плит | 12 років 2 місяці | 62580 | 5160 |
| Заміна внутрішнього освітлення | 6 місяців | 1500 | 2902,05 |
| Річна економія після впровадження всіх заходів, грн | | 18204 | |

Також одним із запропонованих методів енергозбереження є встановлення геліо-системи. Прямим завданням геліосистем є максимально ефективно перетворення енергії сонячного випромінювання в теплову.

Вибір сонячного колектора.

Добова потреба в тепловій енергії для гарячого водопостачання дитячого садка розраховується за формулою, $\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{доба}}$:

$$Q_{\text{ГВП}}^{\text{д}} = 1,163 \cdot G^{\text{д}} \cdot (t_{\text{ГВ}} - t_{\text{ХВ}}),$$

де $t_{\text{ГВ}}$ - температура гарячої води, приймається 55 °С; $t_{\text{ХВ}} = 15$ °С - температура холодної води в літній період та $t_{\text{Х}} = 5$ °С в зимовий період.

$$Q_{\text{ГВП}}^{\text{д}} = 1,163 \cdot 3444 \cdot (55 - 15) = 160,2 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{доба}}.$$

Таблиця 3 – Розрахунок питомої теплової енергії

| Місяць | Години доби до полудня | | | | | | Сума |
|----------|------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| | 6 – 7 | 7 – 8 | 8 – 9 | 9 – 10 | 10 – 11 | 11 – 12 | |
| Січень | | | 197,47 | 391,70 | 525,03 | 673,30 | 1787,51 |
| Лютий | | 101,66 | 414,37 | 529,71 | 675,54 | 816,54 | 2537,81 |
| Березень | 100,33 | 318,41 | 530,93 | 716,95 | 841,51 | 969,27 | 3477,42 |
| Квітень | 177,37 | 367,28 | 562,38 | 785,92 | 882,05 | 972,16 | 3747,16 |
| Травень | 234,07 | 419,15 | 606,55 | 820,72 | 900,77 | 980,13 | 3961,39 |
| Червень | 248,38 | 428,24 | 607,98 | 803,10 | 890,77 | 967,85 | 3946,33 |
| Липень | 228,96 | 427,16 | 619,78 | 764,67 | 880,39 | 959,81 | 3880,77 |
| Серпень | 175,58 | 367,67 | 565,57 | 737,95 | 831,72 | 918,36 | 3596,86 |
| Вересень | 124,54 | 312,26 | 501,11 | 726,46 | 826,06 | 926,57 | 3417,00 |
| Жовтень | -8,19 | 220,87 | 323,95 | 669,40 | 732,21 | 804,57 | 2742,82 |
| Листопад | | 220,87 | 182,47 | 602,93 | 633,69 | 697,39 | 2337,36 |
| Грудень | | | 72,73 | 418,71 | 495,31 | 598,21 | 1584,95 |
| ω | 82,50 | 67,50 | 52,50 | 37,50 | 22,50 | 7,50 | |

Для встановлення обираємо сонячний колектор марки Vaillant auro VFK 135/2 D з наступними технічними характеристиками (таблиця 4):

Таблиця 4 – Технічні характеристики сонячного колектора

| | |
|--|--------------|
| Розміри, мм | 1233x2033x80 |
| Вага нетто, кг | 37 |
| Площа брутто, м ² | 2,51 |
| Площа нетто, м ² | 2,35 |
| Об'єм теплоносія | 1,35 |
| Нормативний ККД, % | 80,1 |
| Товщина теплоізоляції, мм | 40 |
| Максимальний робочий тиск, бар | 10 |
| Коефіцієнт прозорості скла, % | 91 |
| Коефіцієнт поглинання абсорбера, % | 95 |
| Коефіцієнт випромінювання абсорбера, % | 5 |
| Температура стагнації, °С | 195 |

Так як площа абсорбера одного сонячного колектора складає 2,35 м², а розрахункова площа сонячного колектора складає 85,2 м², то необхідна кількість сонячних колекторів складає 36 шт.

Загальна економія ГВП складає 1256,81 м³ за рік, що при ціні на гарячу воду рівній 76,71 грн/м³ дорівнює 96409,9 грн/рік.

Таблиця 5 – Розрахунок впровадження геліосистеми

| № | Товар | Кількість | Ціна, € | Вартість, € |
|---|---|-----------|---------|-------------|
| 1 | auro VFK 135/2 D - плоский колектор, 2,51 кв.м, | 36 | 510 | 21628 |
| 2 | Система підключення для 10 колекторів | 4 | 548 | |
| 3 | Регулятор auroMATIC 620/3 | 2 | 250 | |
| 4 | Насосна станція Vaillant auroFlow plus VPM 15 D | 1 | 500 | 6296 |
| 5 | Розширювальний Бак Up 80 л | 1 | 150 | |
| 6 | Теплоносій, 20 л | 6 | 71 | |
| 7 | Бак-аккумулятор ElbiSAC, 1000л | 2 | 2948 | 6296 |
| 8 | Розширювальний Бак Zilmet CAL-PRO 200 | 2 | 200 | |
| 9 | Монтажний комплект для плоскої поверхні з ibathe для 5 колекторів 2,51 м ² | 8 | 465 | 4910 |

| | | | | |
|----|--|---|-----|------|
| 10 | Термостатичний змішуючий клапан ESBE VTC512 | 4 | 85 | 340 |
| 11 | Трубопровід з нержавіючої сталі в ізоляції(з ел. кабелем), 10м | 7 | 180 | 1260 |
| 12 | Робота та витратні матеріали | 1 | 10% | 3443 |

Термін окупності такої геліосистеми складатиме 13 років.

Висновки. Заходи для підвищення енергоефективності є доцільними, незважаючи на значні початкові капіталовкладення. Було проаналізовано можливість зменшення оплати за споживання електроенергії. Розглянуто можливість впровадження відновлювальних джерел енергії. Впровадження комплексу заходів для об'єкту дослідження дозволить покращити умови мікроклімату в приміщеннях та отримати суттєве зниження енергоспоживання.

Список використаних джерел.

1. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016. – Офіц. вид. – К.: Мінрегіонбуд України, 2017. – 11с.
2. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. ДБН В.2.5-23:2010. – Офіц. вид. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 26с.
3. Розрахункові електричні навантаження: ДБН В.2.5-23 2003. – Офіц. вид. – К.: Мінрегіонбуд України, 2003. – 20с.
5. 4.Системи електропостачання [Текст]: Довідкові дані / О.С. Ярмолюк, В.А. Попов, В.В. Ткаченко – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 17 с.
6. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.: ДСН 3.3.6.042-99. – Офіц. вид. – К.: МОЗ України, 1999. – 53 с.

УДК 621.22

Фіцай М. М.

кафедра теплотехніки та енергозбереження

**АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ДЕРИВАЦІЙНИХ МІНІ - ГЕС ДЛЯ
ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕКРЕАЦІЙНОЇ ЗОНИ**

Анотація. В статті розглядається процес виробітку електричної енергії на каскадній системі дериваційних міні-ГЕС.

Ключові слова: деривація, каскад, гідротурбіна, напір, генератор, АСКОЕ, водозбір, відстійник.

**ANALYSIS OF USE SMALL HYDRO POWER PLANTS FOR ENERGY
PROVIDING THE RECREATION AREA**

Abstract. The article deals with the process of generating electricity on a cascade system of derivative mini-hydropower plants.

Key words: derivation, cascade, hydro turbine, pressure head, generator, ASKOE, catchment, sump.

Вступ. Виробництво електричної енергії в Україні базується на трьох різних системах: теплових, атомних і гідравлічних електростанціях. Спроби замінити вказані джерела отримання електроенергії так званими нетрадиційними варіантами енергії – сонячної, вітрової і геотермальної – знаходяться в початковій стадії.

В гідроенергетиці існує три основні схеми гідроустановок:

- греблева схема, при якій весь напір на гідроагрегатах створюється греблею;
- дериваційна схема, яка утворює напір за допомогою дериваційного каналу;
- змішана греблево-дериваційна схема, при якій вода з підпертого греблею б'єфу відводиться в дериваційний канал гідроелектростанції.

Дериваційна схема створення напору реалізується в основному на річках з великими ухилами в гірських і передгірських районах. Напір дериваційної ГЕС створюється за рахунок використання природного перепаду рівнів води в місці відбору її в деривацію і в кінці деривації. Деривація може бути безнапірною, напірною або комбінованою. Після відбору води в деривацію в річці нижче водозабору повинна бути збережена санітарна витрата води.

Компоновка споруд дериваційної ГЕС залежить від багатьох факторів. Особливо від топографічних і геологічних умов, від характеристики річки.

Прийнята напірна деривація. Це зумовлено характером рельєфу, перемінними рівнями води у річці протягом року, а також дає можливість підвести воду до станції найкоротшим шляхом. Напірна деривація в поздовжньому профілі може бути прокладена без певного ухилу, у вигляді ломаної лінії.

Мета та завдання досліджень. Метою є визначення доцільності встановлення третьої дериваційної міні-ГЕС у каскадній системі ГЕС для енергозабезпечення місцевості

До каскадної системи входять дві існуючі міні-ГЕС БР1 та БР2 на річці Брустурянка (рис.1) потужністю по 1 МВт, що з'єднані між собою дериваційною системою, яку по розташуванню і призначенню поділяють на головний (водозабірний) вузол - ВВ, деривацію – напірний трубопровід (трубопроводи) із спорудами на його трасі і станційний вузол (будівля ГЕС).

Вузол водозабірної споруди, який утворює каскад розміщений в районі існуючої міні ГЕС БР1 на р.Брустурянка, біля с.Лопухів, Тячівського району, Закарпатської області.

Водозбір водотоку витягнутий із північного сходу на південний захід, листкоподібної форми. Рельєф високо та середньо гірський, окремі вершини досягають 1661,1 м (гора Берт), 1559,8 м (гора Мала Кепута), 1316,0 (гора Грибак), 1234,4 м (гора Явір) [1].

Водозабірну споруду передбачається розмістити на виході водовідвідного каналу існуючої будівлі міні-ГЕС у вигляді донного типу, схема каскадної системи дериваційних міні-ГЕС показана на рисунку 1.

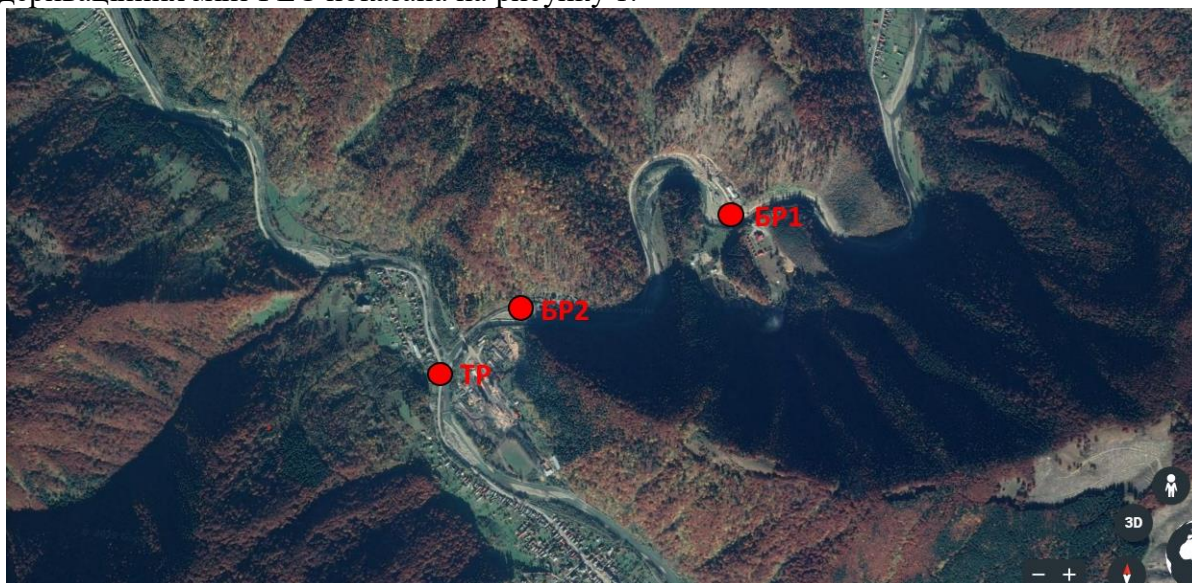


Рисунок 1 Схема розміщення каскадної системи міні-ГЕС (Google Планета Земля [2].)

В роботі представлені гідрологічні характеристики р.Брустурянки, яка при злитті разом із рікою Мокрянка дає початок річці Тересві (р.Брустурянка + р.Мокрянка – р.Тересва – р.Тиса – р.Дунай – Чорне море).

Річка Брустурянка починається на західних схилах гір Братківськ та Чорна Клева і утворюється двома витокami Турбат і Турбацил. Витік річки Брустурянки прийнято струмок Турбатський. Довжина водотоку по струмку Турбатський - р. Турбат – р.Брустурянки – р. Тересва – 90,8 км. Висота витoku 1742 м і гирла 226м над рівнем моря [3].

Характеристика річки показана в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1 Характеристика басейну р. Брустурянки

| Назва річки | Куди впадає | Загальна протяжність,км. | Швидкість течії км/год |
|-------------|-------------|--------------------------|------------------------|
| Брустурянки | Тересва | 15 | 18 |
| Бертянка | Брустурянки | 15 | 18 |
| Плайська | Бертянка | 14 | 14 |
| Турбат | Брустурянки | 19 | 18 |
| Яблониця | Брустурянки | 13 | 14 |

Таблиця 2 – Розрахункова витрата води та залишок води у річці [5]

| Водозабірна площа | | Розрахунки: витрата вода в турбіні та залишок води | | | | | |
|--------------------|-----------------|--|--|--|-------------------------------|----------------------|------|
| [км ²] | 335 | Природна витрата води у річці | Фіксований залишок води [л/(с·км ²)] | Розрахункова кількість води до турбіни | Витрата води подана в турбіну | Залишок води у річці | |
| | | [л/с] | [л/с] | [л/с] | [л/с] | [л/с] | % |
| | Січень | 4980 | 640 | 4980 | 4980 | 640 | 12,9 |
| | Лютий | 4950 | 640 | 4950 | 4950 | 640 | 12,9 |
| | Березень | 5045 | 640 | 5045 | 5045 | 640 | 12,7 |
| | Квітень | 5030 | 640 | 5030 | 5030 | 640 | 12,7 |
| | Травень | 5230 | 640 | 5230 | 5230 | 640 | 12,2 |
| | Серпень | 5120 | 640 | 5120 | 5120 | 640 | 12,5 |
| | Липень | 5290 | 640 | 5290 | 5290 | 640 | 12,1 |
| | Серпень | 4960 | 640 | 4960 | 4960 | 640 | 12,9 |
| | Вересень | 4950 | 640 | 4950 | 4950 | 640 | 12,9 |
| | Жовтень | 5250 | 640 | 5250 | 5250 | 640 | 12,2 |
| | Листопад | 12750 | 640 | 12110 | 7650 | 5100 | 40,0 |
| | Грудень | 5000 | 640 | 5000 | 5000 | 640 | 12,8 |
| | | 5712 | | | 5288 | 1012 | 14,9 |

У рік така каскадна система з двох міні-ГЕС здатна виробляти близько 10,4 млн. кВт*год. (таблиця 3), подає її в загальну мережу, що покриває річну потребу майже 4000 домогосподарств.

Таблиця 3 – Сумарний виробіток електричної енергії БР1 та БР2

| | | |
|--------------------------|---------|-----------------|
| Мінімальна витрата води | л/с | 7310 |
| Середня витрата води | л/с | 9288 |
| Максимальна витрата води | л/с | 10650 |
| Напір брутто | м | 15,05 |
| Середня потужність | кВт | 1247 |
| Максимальна потужність | кВт | 1920 |
| Річний виробіток | кВт·год | 10401878 |

В роботі пропонується встановити третю міні-ГЕС на річці Тересва, проектною потужністю 1 МВт, яка за рахунок зручного місця знаходження, перепаду висот, витрати води, рельєфу місцевості, близькості до споживачів дозволить задовольнити додатково 2000 домогосподарств. Характеристика басейну р. Тересва наведена в таблиці 4 [4].

Таблиця 4 – Характеристика басейну р. Тересва для проектної міні-ГЕС “Тересва”

| Назва річки | Куди впадає | Загальна протяжність, км. | Швидкість течії км/год |
|--------------------|--------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Брустуриянка | Тересва | 15 | 18 |
| Мокрянка | Тересва | 22 | 18 |
| Красний | Тересва | 13 | 15 |

Передбачається встановлення турбіни Каплана з регульованими лопатями, як і для інших міні-ГЕС оскільки для даних висот падіння та витрат води, специфіки місцевості тут підходить саме такий тип гідротурбін.

Технічні характеристики турбіни Каплан показані в таблиці 5.

Таблиця 5 – Технічні характеристики турбіни Каплан

| Характеристика | Одиниця виміру | Величина |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------|
| Механічна потужність | кВт | 960,0 |
| Номінальна швидкість обертання | об/хв | 500 |
| Максимальна витрата води | м ³ /с | 7,65 |

Для виробництва електроенергії передбачається встановлення безщіткового синхронного явнопольного генератора EN-CO (Італія) номінальною потужністю 1200 кВА, дані генератора наведені в таблиці 6.

Таблиця 6 – Технічні дані генератора

| Встановлення: | горизонтальне |
|---|----------------------|
| Номінальна потужність, кВА: | 1200 |
| Номінальна частота, Гц: | 50 |
| Номінальний коефіцієнт потужності: | 0.85 |
| Номінальна частота обертання, об./хв.: | 500 |
| Температура навколишнього середовища, °С: | 40 |

Облік електроенергії на електростанціях організовується для визначення виробітку, власного споживання електростанції та відпуску електроенергії в Енергоринок відповідно до вимог Інструкції та нормативних документів.

Для обліку спожитої електроенергії використовуємо автоматизовану систему комерційного обліку електроенергії АСКОЕ, яка являє собою комплекс технічних і програмних засобів.

Розрахований прогнозний сумарний виробіток електричної енергії, який показаний в таблиці 7.

Таблиця 7 – Прогнозний сумарний виробіток електричної енергії на міні-ГЕС Тересва

| | | |
|--------------------------|-------|------------------|
| Річний виробіток | | 5 855 954 |
| РЕЗУЛЬТАТИ | | |
| Мінімальна витрата води | л/с | 4521 |
| Середня витрата води | л/с | 5166 |
| Максимальна витрата води | л/с | 7651 |
| Максимальна потужність | кВт | 960 |
| Річний виробіток | кВт×г | 5855954 |

Розрахунок потужності та економічної частини міні-ГЕС за допомогою програмного забезпечення RETScreen 4 наведені на рисунках 2 та 3 [7.8]

| | | |
|--|------------|----------|
| Максимальні гідравлічні втрати | % | 14,9% |
| Інші втрати | % | 1,0% |
| ККД генератора | % | 96,0% |
| Можливість використання | % | 93,0% |
| Резюме | | |
| Електрична потужність | кВт | 999 |
| Поправочний коефіцієнт доступного потоку | | 1,00 |
| Коефіцієнт потужності | % | 90,1% |
| Електроенергія, що передається в мережу | МВт·год | 5 805 |
| Ціна на експортовану електроенергію | \$/МВт·год | 4 228,96 |

Рисунок 2 – Потужність та вироблення електричної енергії

| Фінансовий аналіз | | | |
|---|-----|------------|--------|
| Фінансові показники | | | |
| Темп інфляції | % | 12,0% | |
| Строк реалізації проекту | рік | 5 | |
| Коефіцієнт заборгованості | % | | |
| Початкові затрати | | | |
| Енергосистема | UAH | 20 000 000 | 100,0% |
| Інше | UAH | | 0,0% |
| Загальні початкові затрати | UAH | 20 000 000 | 100,0% |
| Стимулювання і гранти | UAH | | 0,0% |
| Щорічні затрати і виплата займового капіталу | | | |
| Затрати на експлуатацію і обслуговування (економія) | UAH | 1 000 000 | |
| Вартість палива - Запропонований випадок | UAH | 0 | |
| Сумарні щорічні затрати | UAH | 1 000 000 | |
| Щорічна економія і дохід | | | |
| Вартість палива - Базовий випадок | UAH | 0 | |
| Прибуток від експорту електроенергії | UAH | 26 283 243 | |
| Сумарна щорічна економія і дохід | UAH | 26 283 243 | |
| Економічна доцільність | | | |
| ВНР до виплати податків - активи | % | 61,8% | |
| Простий строк окупності | рік | 1,9 | |
| Повернення капіталу | рік | 1,6 | |

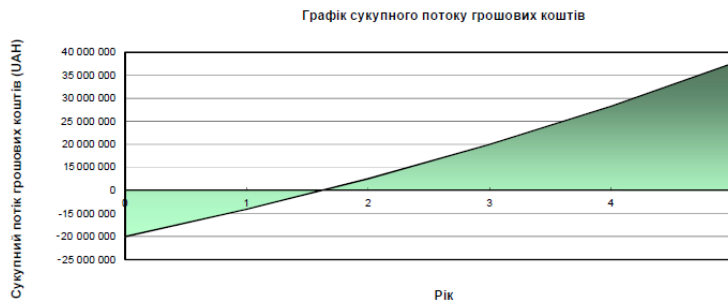


Рисунок 3 Термін окупності міні-ГЕС

Розрахункове електричне навантаження на власні потреби електростанції наведено в табл. 8.

Таблиця 6 Електричне навантаження на власні потреби електростанції

| № п/п | Струмоприймачі | Номинальна напруга, В | Одинична потужність, кВт | К-кість | Загальна потужність, кВт | Коефіцієнт потужності |
|--------------|---|-----------------------|--------------------------|---------|--------------------------|-----------------------|
| Міні ГЕС | | | | | | |
| 1 | Електрокнвектор Термія ЕВНА 2/230 СН | 220 | 2,00 | 8 | 16,0 | 1 |
| 2 | Електроводонагрівач | 220 | 1,50 | 1 | 1,50 | 1 |
| 3 | Світильник ЛПП-07В-2х36 | 220 | 0,072 | 8 | 0,58 | 0,92 |
| 4 | Світильник ЛПП-07В-2х18 | 220 | 0,036 | 5 | 0,18 | 0,92 |
| 5 | Однофазні та трифазні переносні електроприймачі | 220/380 | --- | --- | 5,00 | 0,92 |
| 6 | Прожектор ГО03В | 220 | 0,100 | 8 | 0,80 | 0,85 |
| Разом | | | | | 24,06 | 0,97 |

Вплив каскадної системи міні-ГЕС на навколишнє середовище. Технологічний процес виробітку гідроенергії екологічно чистий. При нормальному стані обладнання дериваційної ГЕС відсутні будь-які шкідливі викиди в навколишнє середовище.

Вплив дериваційної ГЕС на навколишнє середовище полягає:

- в зміні об'єму стоку річки на ділянці від водозабору до станції, але він ніколи не має бути меншим за стік 95%-ної забезпеченості; відчуватиметься це менше в посушливі роки і в значній мірі компенсується завдяки боковій приточності на цій ділянці; тому зменшення здатності річки до самоочищення не слід очікувати;
- у відсутності затоплення земель або регулювання стоку - не відбувається;
- при малому розмірі споруд зберігається ландшафт, виключається вплив на рослинний і тваринний світ, на залишкову спроможність природного захисту навколишнього середовища;
- у відчуженні у орендне користування земельних ділянок лише для будівництва водозабору і самої станції.

До факторів, що дещо ускладнюють умови експлуатації станції відносять режим твердого стоку і льодові перешкоди.

Висновки.

1. Встановлення третьої міні-ГЕС дозволить збільшити виробництво електричної енергії з 10 млн кВт·год до 16 млн кВт·год в рік.
2. Строк окупності проекту складе біля 2 років.
3. Додатково забезпечити електричною енергією біля 2000 домогосподарств та підвищити надійність енергозабезпечення.
4. Встановлення ГЕС сприятиме розвитку туризму та розвитку рекреаційної зони без суттєвого впливу на оточуюче середовище.

Список літератури

1. Географічна енциклопедія України : у 3 т. / редкол.: О. М. Маринич (відповід. ред.) та ін. — К. : «Українська Радянська Енциклопедія» ім. М. П. Бажана, 1989—1993. — 33 000 екз. — ISBN 5-88500-015-8.
2. Google Earth Google [Електронний ресурс]: Планета земля. — Режим доступу:
3. <https://www.google.com/intl/ru/earth/>
4. Каталог річок України. / Швець Г. І. — К.: Видавництво Академії наук Української РСР, 1957. — 192 с.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Том 6. Украина и Молдавия. Выпуск 1. Западная Украина и Молдавия / Под ред.
6. Кілінська К. Й. Фізична географія Карпато-Подільського регіону навчально-методичний посібник 2012 рік.
7. Б. М. Штейнгольца. — Л.: Гидрометеиздат, 1964. — 245 с.
8. ДБН В.2.4-3:2010 Гідротехнічні споруди. Основні положення.
9. Retscreen Engineering & Cases Textbook. Small hydro project analysis chapter
10. /Minister of Natural - Resources Canada 2001 – 2004, – 50 art.
11. RETScreen Software Online User Manual. Small Hydro Project Model /Resources Canada 2001 - 2004, – 109 art.

УДК 697.9(075.8)

Хрептун Д.Е.

Кафедра теплотехніки та енергозбереження

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО КОМФОРТУ В УЧБОВИХ КЛАСАХ
СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ШКОЛИ «ГРААЛЬ»**

**INVESTIGATION OF THE STATE OF COMFORT IN THE PREMISES OF THE
SPECIALIZED SCHOOL "GRAAL"**

Анотація: В роботі розглянуто стан повітряного комфорту в приміщеннях учбових класів Спеціалізованої школи №43 «Грааль» в м. Києві, проведені дослідження з визначенням температурних параметрів, відносної вологості повітря та вмісту CO₂, на початку та в кінці занять. Розглянуто проблему забезпечення умов комфортного повітря, розглянута нормативна база стандартів України. Визначені реальні потреби в вентиляції на сучасному рівні – з автономною вентиляцією і очищенням повітря, яка за рахунок рекуперації зменшить тепловтрати.

Ключові слова: комфортні умови, повітрообмін, концентрація CO₂, вентиляція, кратність повітрообміну, енергозбереження, умови мікроклімату, рекуператор.

Abstract: The paper considers the state of air comfort in the premises of the training classes of the Specialized school №43 "Grail" in Kyiv, the researches with determination of temperature parameters, relative humidity and CO₂ content, at the beginning and at the end of classes. The problem of providing comfortable air conditions is considered, the normative base of standards of Ukraine is considered. Real needs for modern ventilation □ with autonomous ventilation and air purification have been identified, which will reduce heat losses due to recovery.

Keywords: comfortable conditions, air exchange, CO₂ concentration, ventilation, air exchange rate, energy saving, microclimate conditions, recuperator.

Вступ

Якість повітря в приміщенні залежить від багатьох чинників: чистоти зовнішнього повітря – природного фону; наявності в приміщенні джерел забруднень; кількості людей, які одночасно знаходяться в приміщенні; подачі повітря в приміщення системи вентиляції і кондиціонування повітря; впровадженням сучасної системи управління і кліматконтролю; надійності в експлуатації цих систем тощо. За природний фон вважають оточуюче повітря на вулиці, як еталон морське повітря, або повітря у сільській місцевості. Нажаль, для крупних міст таких як Київ це значення може зрости вдвічі, бо сучасна забудова міста Києва сприяє зменшенню паркових та лісових зон, забудова старих районів додатковими багатоповерхівками та зростанням населення, відповідно збільшенням автомобілів з паркуванням у вільному міжбудинковому просторі. Збільшення викидів CO₂ в поєднанні з іншими забруднюючими факторами – окислами азоту, пилом та ін. значно погіршує міське повітряне середовище та його вплив на здоров'я людей, особливо дітей. Ще одна із сторін цієї урбанізації – збільшення кількості учнів в класах, наприклад для Солом'янського району м. Києва є нормою класи 35 чоловік і більше.

В більшості учбових закладах району вентиляція знаходиться в непрацюючому занедбаному стані, в деяких школах ще працює витяжна вентиляція, але її давно чистили і це пов'язано з відсутністю обслуговуючого персоналу вентиляційних систем. Повітрообмін в школах здійснюється інфільтрацією і ексфільтрацією та звичайним провітрюванням, що можливо зв'язати з перевитратами на опалення в межах 20...40%. Як виняток деякі приміщення та класи мають систему кондиціонування, але ця система не призначена для провітрювання, скоріше для охолодження чи нагріву та осушування повітря.

До речовин які шкідливі та не бажані в повітрі і підлягають видаленню системами вентиляції, відносяться газоподібні забруднювачі, що виділяються в процесі дихання та через поверхню шкіри людини, такі як аміак, сірководень, ацетон та ін., а також хімічні леткі сполуки, що виділяються меблями та з пластику оздоблювальних матеріалів в приміщенні, в основному це формальдегіди та аніліни. Вуглекислий газ (CO₂) являється добрим індикатором емісії людських біологічних виділень. Є класифікація, яка загальноприйнята та використовується в стандартах для зайнятих людьми приміщень в яких основні забруднення викликані людським метаболізмом [1, 2, 3, 4]. При цьому вуглекислий газ є простим індикатором для визначення задухи та здійснення провітрювання в приміщеннях зі значною зайнятістю, наприклад, як шкільні класи та аудиторії, але може бути неефективним при наявності засобів побутової та промислової хімії, диму та ін. Тому все ж таки рішення про якість повітря періодично повинна вирішувати людина.

Необхідність в поновленні роботи вентиляційних систем з наданням свіжого очищеного повітря з комфортною температурою та відносною вологістю в учбові класи є вкрай актуальною.

Мета та завдання

Метою роботи є експериментальне визначення показників комфорту в приміщеннях учбових класів та коридорах школи побудованої у 60-ті та добудованої у 90 роки у м. Києві, та на скільки це відповідає допустимим нормам комфорту та вмісту CO₂ в приміщеннях навчальних закладах в Україні. За даними вимірювань розрахувати кратність повітрообміну та порівняти його з пропонованими значеннями в нормативах. Визначити на скільки вимірювання CO₂ можливо розглядати як індикатор стану повітря та кількості повітрообміну. До завдання роботи входило розгляд рішення даної проблеми с точки зору енергозбереження та вибору повітряного рекуператора.

Опис об'єкту дослідження

Спеціалізована школа №43 з поглибленим вивченням предметів суспільно-гуманітарного напрямку "Грааль" Солом'янського району м. Києва Школу було побудовано у 1952 році, а в 1986 році був добудований другий корпус школи.



Рисунок 1 – Спеціалізована школа №43 «Грааль» та один з учбових класів.

З 2001 року перший корпус перебував на реконструкції, яка завершилась у 2003 році. Після реконструкції школа має 44 навчальних кабінети, два спортивних зали, актову залу, велика їдальня, три сучасних комп'ютерних класи.

На час проведення аудиту кількість учнів складала 1366 осіб. Кількість учителів та технічного персоналу 100 осіб.

Тепловтрати в будівлі складаються з тепловтрат через зовнішні огородження (стіни, вікна, підлоги, перекриття) і витрат теплоти на нагрівання повітря, що інфільтрується – виходить з приміщення через нещільність в конструкціях.

За проведеним попереднім енергоаудитом було визначено можливі основні теплові втрати будівлею школи у відсотках (рис. 2), де 15% з них складають втрати саме на інфільтрацію

(підсмоктування холодного повітря крізь щілини вікон, дверей тощо) та одночасної ексфільтрації (виходу теплого повітря крізь ці ж щілини та отвори) та нагрів вентиляційного повітря. Ці дві складові є сумарними втратами теплого повітря підчас провітрювань та виходу його крізь щілини та двері.

В добудованому корпусі були замінені дерев'яні вікна на металопластикові, які покращили тепловий стан в учбових класах, але виникла необхідність у додатковому провітрюванні приміщень.

Експериментальна частина.



Спрощує методики розрахунку припливно-витяжної вентиляції визначення вимірювання дійсних показників складу повітря, а саме вмісту CO₂, температури та відносної вологості. Маючи можливість вимірювати вміст CO₂, температуру та відносну



Рисунок 3 – Прилади: 1 – TR-75Ui,
2 –LM–8000, 3 –Eco Dist Plys,
4 – пірометр

вологість комплексним приладом нам потрібно було визначити наступні дані:

- концентрація CO₂ на вулиці – фонові;
- розклад перебування людей та їх кількість в класах;
- тип фізичної активності людей;
- необхідний оптимальний рівень CO₂.

Для вимірювань було використано: комплексний прилад Регістратор CO₂ TR-75Ui (див. рис. 3) з діапазоном вимірювань CO₂: 0...9999 ppm, температури: 0...55°C, відносної вологості: 10...95% RH. Для дублювання температур повітря та відносної вологості було використано термісторний електронний комплексний прилад LM-8000 з діапазоном вимірювань температур –20°C ... +65°C і відносної вологості - 10...95% RH, а також пірометр GM320 з діапазоном вимірювань –50°C ... +380°C для вимірювань поверхонь стін, підлоги, стелі, вікон та

радіаторів опалення. Для вимірювання площі та об'єму класів було використано лазерний дальномір Eco Dist Plys з можливістю вимірювати до 30 м і точністю ±1мм, та вбудованою функцією розрахунку площі та об'єму.

Дослідження проводились в класах без учнів – під час весняних канікул і лише в деяких працювали гуртки. Дані умови стану повітря в класах в подальшому будемо розглядати як близькі до мінімальних за вмістом CO₂. Інші вимірювання проводились через тиждень після весняних канікул [5]. Було вибрано ранковий час на початок занять та денний час відразу після закінчення занять в школі (рис.4). На перервах занять були здійснені провітрювання в дослідних класах, відкриванням вікна або наскрізне провітрювання кожні 2 уроки з тривалістю не менше 10 хвилин. Провітрювання

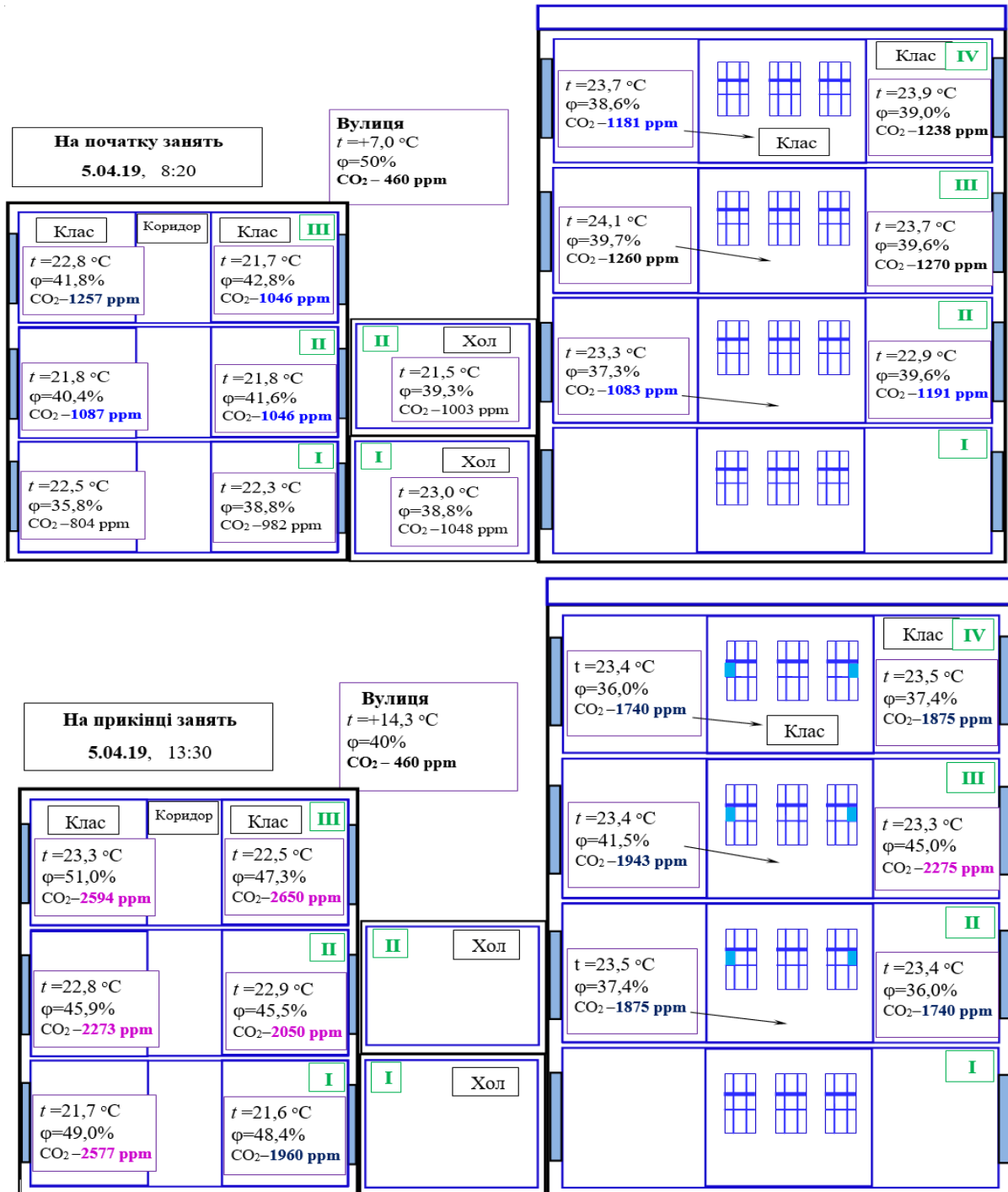


Рисунок 4 – Данні по вимірюванню параметрів повітря в учбових класах.

знижувало температура повітря в класі на 2,0...3,0 К, але яка не падала нижче 21,0 °С. Режими провітрювань згідно [6] наведені в табл.1.

Таблиця 1. Регламент провітрювання приміщень учбових класів [6].

| Температура повітря вулиці в градусах Цельсія | Тривалість провітрювання приміщень (хв) | |
|---|---|------------------------------------|
| | На малих перервах | на великих перервах та між змінами |
| від +10 до +6 | 4-10 | 25-35 |
| від +5 до 0 | 3-7 | 20-30 |
| від 0 до -5 | 2-5 | 15-25 |
| від -5 до -10 | 1-3 | 10-15 |
| нижче -10 | 1-1,5 | 5-10 |

В ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [2] на який посилається ДБН Будинки і споруди «Заклади освіти» [1], наведені умови мікроклімату в учбових класах (табл.2), відповідно приймемо оптимальні умови та значення CO₂ 400...600 ppm + CO₂фону, з урахуванням комфортної температури 22±2,0 °С, відносної вологості φ=25...60% та вмісту CO₂=460 ppm в зовнішньому природному фоні з рис.4.

Таблиця 2. Умови мікроклімату за ДБН [2].

| Умови мікроклімату | Діапазон температури приміщення для опалення та охолодження: | Відносна вологість повітря,% | Рівень концентрації CO ₂ у приміщенні понад рівень у зовнішньому повітрі, ppm | |
|----------------------|--|------------------------------|--|-----------------|
| | | | Типовий діапазон | Типове значення |
| Підвищені оптимальні | 22±1,0 | 30-50 | <400 | 350 |
| Оптимальні | 22±2,0 | 25-60 | 400-600 | 500 |
| Допустимі | 22±3,0 | 25-70 | 600-1000 | 800 |
| Обмежено допустимі | | Менше 20 та більше 70 | >1000 | 1200 |

В класних кімнатах нормативним вважається 16 м³/год на одного учня [1]. Для лабораторних кабінетів та класів з комп'ютерною технікою необхідно 20 м³ припливу свіжого повітря на одну годину для однієї особи. В спортзалах та їдальні не менше 50 м³/год. Оптимальні мікрокліматичні параметри: температура повітря 16...22°С, відносна вологість повітря 30-60%, допустимий вміст CO₂ до 1л/м³=1000 ppm.

За даними вимірювань було проведено розрахунок кратності повітрообміну для двох основних об'ємів класних кімнат 179 м³ для будівлі 60 років та 167 м³ для будівлі 90 років. В класах були присутні 30...35 учнів та учитель. Відповідно нормативне мінімальне значення потреб свіжого повітря для однієї людини на рівні 16 м³/год – для класу із 35 чоловік складе 560 м³/год та необхідністю у 3,1 кратному повітрообміні для класу об'ємом 179 м³, та для класу об'єму 167 м³ у 3,4 кратному повітрообміні.

Для класних приміщень, навчальних кабінетів формула розрахунку повітрообміну для компенсації виділення CO₂ класом з 35 чоловік та відповідності допустимих умов:

$$L=(G\cdot 550)/(X_2 - X_1) \quad 23\cdot 35\cdot 550/(1000-460)=820 \text{ м}^3/\text{годину},$$

та для 1 учня 23,4 м³/годину,

де L – повітрообмін, м³/год; G – кількість CO₂, що виділяється однією людиною, л/год, за середньою фізичною активністю кількість CO₂, що виділяється за годину дорівнює –

23 л; 550 – перетворення значень X_1 і X_2 з ppm в $г/м^3$; X_1 – концентрація CO_2 в зовнішньому (припливному) повітрі, ppm; X_2 – допустима концентрація CO_2 в повітрі приміщення, ppm.

Кратність повітрообміну для класів старої школи дорівнює $L/V=820/179=4,6$.

Для виконання більш вимогливих – оптимальних умов мікроклімату до вмісту CO_2 – на рівні 800 ppm, що спостерігалось в деяких класах на початку занять (рис.4), значення повітрообміну складатиме $L=1302$ $м^3/годину$ та для 1 учня 37,2 $м^3/годину$, та кратність провітрювань 7,3. Рекомендована нормативом [1] кратність повітрообміну для шкільних класів – 3...8. Цей результат є основним для вибору типу та продуктивності рекуператора.

Данні вимірювань до початку занять свідчать про значні показники вмісту CO_2 , які мають крайнє допустиме значення за умов мікроклімату. А вимірюваннями в кінці занять констатують перевищення рекомендованої концентрації CO_2 для класних кімнат в 1,74...2,65 рази (рис.4). Умови повітрообміну не виконуються та приміщення потребують активної вентиляції.

Зниження температури на 2,0 К під час провітрювань є значною часткою можливих енергозаощаджень, якщо їх прибрати. А це 3 провітрювання по 10 хв. приміщення об'ємом 179 та 167 $м^3$. Втрати будуть складати

$$Q=3 \cdot 179 \cdot 1,2 \cdot 2 / (10 \cdot 60) = 3,938 \text{ кВт},$$

$$Q=3 \cdot 167 \cdot 1,2 \cdot 2 / (10 \cdot 60) = 3,674 \text{ кВт},$$

За умов встановлення рекуператорів в 44 класах економія за день 167,5 кВт або 0,144 Гкал за добу. Не слід забувати про зимовий період, коли ці втрати значно зростуть.

Одним з можливих рішень зменшення частки CO_2 в приміщеннях та підтримання оптимальних теплових та вологісних умов в класах запропоновано використовувати рекуператори в системі вентиляції. Даний захід дозволить не тільки оновлювати повітря, а і забезпечити підігрів повітря з вулиці за рахунок рекуперації викидного повітря з класу, здійснювати фільтрування від забруднюючих речовин вулиці пилку, пилу, комах та бактерій.

Для даної школи пріоритетним є встановлення децентралізованої вентиляції для якої [7]:

– Продуктивність та тип установки підбирається відповідно до індивідуальних вимог кожного окремого приміщення.

– Кожне приміщення вентиляється у міру потреби. Швидкість установок регулюється автоматично для підтримання необхідної якості повітря.

– Конструкція систем децентралізованої вентиляції набагато простіша через відсутність повітропроводів.

– Свіже повітря надходить крізь короткий канал у стіні. Установка не витрачає енергію на подолання опору довгих повітропроводів.

– Децентралізована вентиляція підвищує пожежну безпеку приміщень, оскільки кімнати не з'єднані повітропроводами.

За запропонованими програмами розрахунку рекуператорів для приточно-втяжних повітряних систем для шкіл, адміністративних будівель та котеджів фірмами Прана, Reventa та інш. було зроблено вибір рекуператорів (Рис. 5) та їх термін окупності відповідно до заходів з енергозбереження.

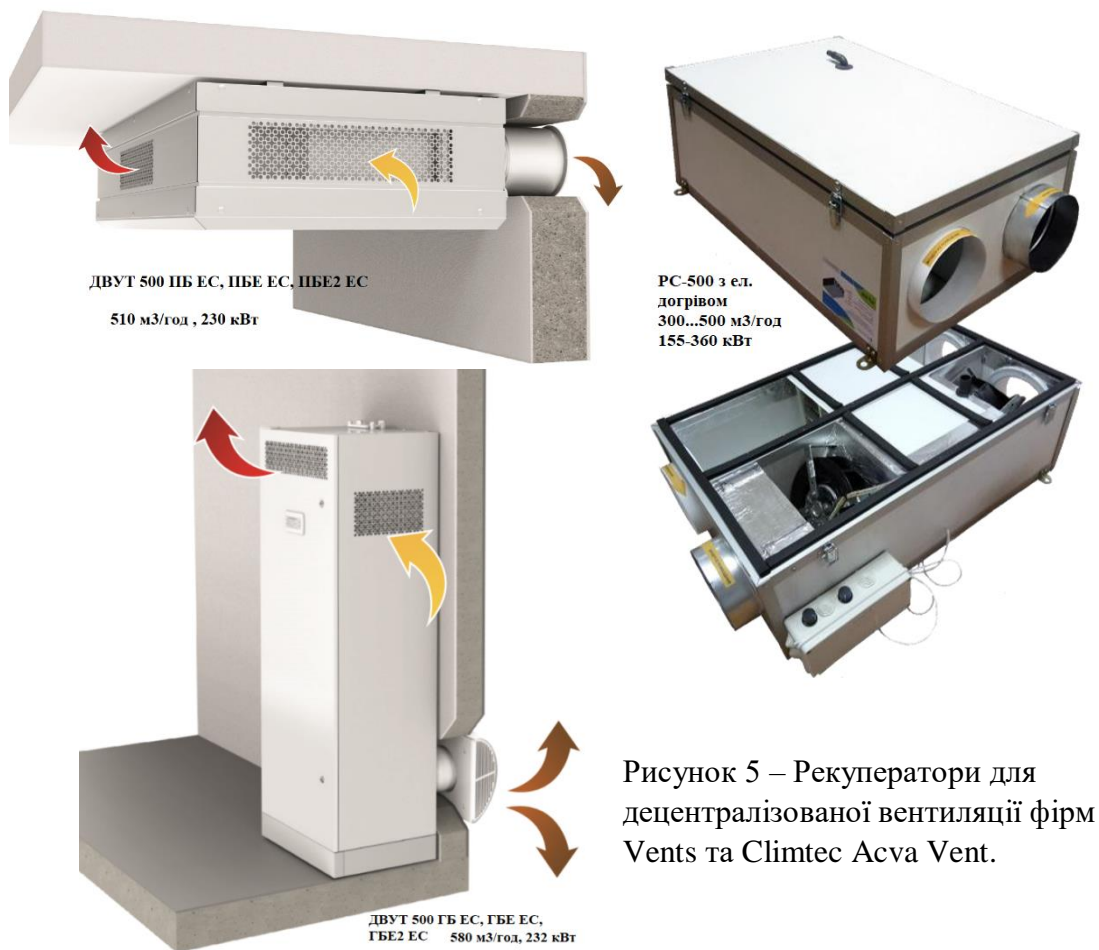


Рисунок 5 – Рекуператори для децентралізованої вентиляції фірм Vents та Climtec Acva Vent.

Висновки

1. Класи школи мають перевантаження по кількості учнів, замість 2...2,4 м² на учня приходить 1,48...1,7 м², відповідно кількість повітрообміну на одного учня зростає з 16 м³/год за нормативом, до 23,4...37,2 м³/годину під час учбового процесу.
2. Правильна запроектована та виконана система рекуперації гарантує:
 - Постійно свіже та чисте повітря в приміщеннях.
 - Можливість мікробіологічного очищення повітря (віруси, бактерії).
 - Зникає необхідність відкривати вікна в будь-яку пору року.
 - За розрахунками зменшити втрати з провітрюванням та інфільтрацією повітря на 5...13%.
 - Можливість додаткового охолодження влітку.
3. Впровадження рекуперації дозволить заощаджувати на втратах з провітрюванням від 3 до 4 кВт з класу в день.
4. Впровадження рекуперації повітря покращить продуктивність навчання учнів зменшить їх втомлюваність, і додати наснаги та енергії в творчості, та роботі.

Список використаної літератури

1. ДБН В.2.2-3:2018. Будинки і споруди. Заклади освіти. 61 с.

2. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. –[Чинний від 2014-01-01]– К.: Мінрегіон, 2013. – 141 с. – (Національний стандарт України)
 3. ДСТУ Б EN 15603:2013 Енергетична ефективність будівель. Загальне енергоспоживання та проведення енергетичної оцінки (EN 15603:2008, IDT)
 4. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. 145 с.
 5. Дослідження стану комфортності в приміщеннях спеціалізованої школи «Грааль»; Автори - Чубенко Д.Е., Виноградов-Салтиков В.О; Матеріали XI Міжнар. наук.-техн. Конф. «Енергетика. Екологія. Людина.- м.Київ, 24-25 квіт. 2019 р. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського ІЕЕ, 2019.; Url - <http://en.iee.kpi.ua/files/2019/dopovid2019.pdf>;
 6. ДСанПіН 5,5,2,008-01 Влаштування, утримання загальноосвітніх навчальних закладів та організація навчального-виховного процесу.14.08.2001 №63. 49 с.
 7. <https://vents.ua/equipment-selection> □ підбір обладнання для повітрообміну в школах та громадських приміщеннях.
-