



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
УКРАЇНИ
“КІЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ
ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”



**Навчально-науковий
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту**

**МАТЕРІАЛИ
XIV НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
НАВЧАЛЬНО НАУКОВОГО
ІНСТИТУТУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА
ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ**

ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА

(ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ)

2 – 3 червня 2022 р.

Київ 2022

Енергетика. Екологія. Людина. Зб. наукових праць НН ІЕЕ, КПІ імені Ігоря Сікорського – Київ: ІЕЕ, 2022. – 209 с.

У збірнику представлено статті молодих фахівців з питань перспективних розробок та нових рішень в енергетиці сталого розвитку на XIV науково-технічній конференції «Енергетика. Екологія. Людина».

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 організаційного комітету науково-технічної конференції «Енергетика. Екологія. Людина»

Організаційний комітет:

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

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

Члени оргкомітету:

Білоус І.Ю. – к.т.н., доц., завідувач кафедри теплотехніки та енергозбереження;

Бойченко С.В. - д.т.н., проф., завідувач кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів;

Буяк Н.А. – к.т.н., доц., доц. кафедри теплотехніки та енергозбереження;

Вапнічна В.В. – Голова профбюро НН ІЕЕ, к.т.н., доц., доц. кафедри геоінженерії;

Вовк О.О. – д.т.н., проф., завідувач кафедри геоінженерії;

Дерев'яно Д.Г. – к.т.н., доц., завідувач кафедри електропостачання;

Закладний О.О. – к.т.н., доц. каф. електропостачання;

Кулаковський Л.Я. – к.т.н., доц., доц. каф. автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів.

Адреса організаційного комітету:

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

Навчально науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Сайт конференції: 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.

ISSN 2307-7239

© Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2022

ЗМІСТ

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

Особливості врахування ризиків при інтеграції відновлюваних джерел енергії до системи електропостачання. <i>Степаненко В.А.</i>	8
Зниження впливу нелінійних навантажень на показники якості електричної енергії: основні способи управління параметрами енергетичних систем. <i>Шевчук В.В., Джеря Т.Е.</i>	11
Вплив агрегаторів на ринок електричної енергії. <i>Лисий В.В.</i>	18
Аналіз методів прогнозування електроспоживання. <i>Поплигіна В.С.</i>	26
Оцінювання інтегральної ефективності функціонування тец в умовах запровадження в енергетичній галузі ринкових відносин. <i>Довгаль М.О.</i>	30
Гармоніки. Їх вплив на споживачів електричної енергії та способи визначення. <i>Пригоцький В.В.</i>	34
Проблеми розвитку газотранспортної системи України в сучасних політичних умовах. <i>Владиченко В.В.</i>	37
Програмне забезпечення діяльності енергоменеджера виробничої компанії. <i>Госенко А.О.</i>	43
Особливості впровадження системи енергетичного менеджменту на об'єктах водопровідно-каналізаційного господарства. <i>Прищепя Я.О.</i>	48
Інноваційні розробки підвищення енергоефективності світлопрозорих конструкцій. <i>Криворучко С.В.</i>	52
Дослідження активного гібридного фільтру як компенсатора впливу реактивної потужності у розподільній мережі. <i>Галаган І.В.</i>	55
Особливості побудови локальних електроенергетичних систем на основі дизель-генераторів. <i>Перфілов Б.М.</i>	59

Розробка методу класифікації кількісних характеристик режиму електроспоживання.
Беспалько А.О.63

СЕКЦІЯ 2. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА ІНЖИНІРИНГ

ЕСКО як інжиніринговий інструмент реалізації функцій і завдань енергетичного менеджменту.
Євтухова М.Ю......68

Будівлі, споживання енергії яких близьке до нуля, як метод усунення залежності від імпортованого викопного палива.
Наумчук О.С.75

Застосування CFD-моделювання для аналізу показників ефективності роботи системи опалення.
Яценко О. І.81

Енергетичне моделювання громадської будівлі з близьким до нуля енергоспоживанням NZEB.
Смалюга Д. О.86

СЕКЦІЯ 3. ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ, МЕХАТРОНІКА ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ

Нелінійне керування насосною станцією у режимі стабілізації тиску.
Боднарук О.Ю.94

Особливості системи діагностування стану обладнання сонячної електростанції,
Барсукова К.І.99

Явище кавітації у роботі віброкавітаційного бура.
Івчук В.А.103

Модернізація електроприводу дискового гальма тельфера.
Кизима С.М.106

Кластеризація регіонів України за характером опалення домогосподарств.
Докишина С.Ю.109

The value of the energy of the pneumatic accumulator for different polytropic processes.
Liubov Marchuk.121

Розробка наногенератора у депресійному генератору імпульсів.
Корнух В.О.127

Використання елементів сонячної електроенергетики для сталого будівництва.
Коровушкін В.О.130

Протидія парафіновим відкладенням в нкт за допомогою мотор-насоса нагрівача. Максименко Б.В.	136
Управління процесами водневої енергетики з використанням метану. Маламан Д.О.	139
Частотне регулювання приводу системи зворотньоосмотичного опріснення води. Горобець А.М.	144
Рекуперативний амортизатор вібраційних навантажень ходової частини транспортного засобу. Новиков А.О.	150
Електромеханічне обладнання для захисту електроприводу від аварійних режимів. Спичак Д.В.	155
Інтелектуальна мультисенсорна система для ідентифікації та оцінки технічного стану електротехнічного обладнання. Яковлєв Д.А.	160
Управління процесами водневої енергетики для технології з використанням води. Яцишина С.О.	164
Визначення енергетичної ефективності автономного генератора за діагностичними показниками. Стратіла Б.В.	170
Автоматизація теплового пункту житлової будівлі. Літвінов В.Р.	174
Огляд методів прогнозування припливу води у водосховищі при плануванні режимів роботи гідроелектростанцій. Марченко К.О.	180
Покращення енергоефективності автономного джерела електроенергії за рахунок контролю розподілу газів двигуна внутрішнього згоряння. Сорочинський Я.З.	185
Модернізація скребка для АСПВ. Ковальчук В.В.	191
Модернізація привідної станції стрічкового конвеєра. Березніцький Н.В.	195

СЕКЦІЯ 4. ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ, ГЕОІНЖЕНЕРІЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

Багатопараметровий інформативний метод сумісних вимірювань фізико-хімічних параметрів зразків стічних вод.

Пироженко Є.В., Себко В.В.200

Оцінка стану міського звалища твердих побутових відходів на прикладі міста Вараш.

Єзгор А.В.204

Мінімізація забруднення атмосферного повітря населених пунктів впровадженням систем Smart Traffic Control для управління транспортними потоками.

Хомяк І.В.207

СЕКЦІЯ 1.

**СТАЛІЙ РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ.
СУЧАСНІ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ЕЛЕКТРИЧНОЮ ЕНЕРГІЄЮ**

УДК 621

Степаненко В.А., аспірант
Науковий керівник: к.т.н., доцент Замулко А. І.
к.т.н., доцент Веремійчук Ю.А.
Кафедра електропостачання

ОСОБЛИВОСТІ ВРАХУВАННЯ РИЗИКІВ ПРИ ІНТЕГРАЦІЇ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДО СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Анотація: Робота присвячена розвитку методології, що дозволяє поєднувати якісні та кількісні оцінки різних факторів ризику для прийняття інтегрального рішення при приєднанні відновлюваних джерел енергії до системи електропостачання. Інтеграція кількісної інформації та якісно представлених знань шляхом створення відповідних алгоритмів дозволяє суттєво розширити можливості проведення ризик-аналізу об'єктів відновлюваних джерел енергії та утворених енергетичних систем і обґрунтування заходів щодо управління ними.

Ключові слова: оцінка ризикових подій, відновлювані джерела енергії, система електропостачання, сонячна електростанція.

Abstract: The work is devoted to the development of a methodology that allows combining qualitative and quantitative assessments of different risk factors to make an integrated decision when connecting renewable energy sources to the electricity supply system. The integration of quantitative information and qualitatively presented knowledge through the creation of appropriate algorithms allows to significantly expand the possibilities of risk analysis of renewable energy facilities and established energy systems and justification of measures to manage them.

Keywords: risk assessment, renewable energy sources, electric power supply system, solar power plant.

Вступ. Згідно з Енергетичною стратегією України на період до 2035 р. розвиток енергетики на основі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) є важливим напрямком, який підвищує рівень енергетичної безпеки і знижує антропогенний вплив на навколишнє середовище. Передбачається збільшення частки ВДЕ у загальному балансі встановлених потужностей до рівня 25% до 2035 р., що за базовим сценарієм становить близько 24 млн т н.е. [1].

Однак електромережі повинні підтримувати свій баланс за допомогою управління ресурсами та прогнозування попиту на певний часовий горизонт. Сонячні електричні станції (СЕС) належать до тієї категорії, що забезпечують нерегулярне живлення через метеорологічні та атмосферні умови. Тому питання коливань виробленої потужності стає більш вираженим у міру збільшення проникнення цих відновлюваних джерел в електричну мережу. Таким чином, їх стохастичний характер стане помітним на якості електроенергії в мережі. Тому підтримка надійності, стабільності та ефективності електричної системи стає складним питанням для розподільчих мереж із змінними енергетичними ресурсами. Незважаючи на вищезазначені побоювання, значна присутність встановленої потужності на основі СЕС вже має місце в електричних мережах. Проте подальший рух у напрямку збільшення частки СЕС у генерації енергосистеми становить великий виклик для ефективного управління розподільчою мережею та серйозну загрозу її нормальному функціонуванню.

Мета та завдання. Метою статті є розвиток методології, що дозволяє поєднувати якісні та кількісні оцінки різних факторів ризику для прийняття інтегрального рішення при приєднанні ВДЕ до системи електропостачання. Завданнями статті є ідентифікація та оцінка основних факторів та подій, що призводять до проблем інтеграції СЕС в енергосистему країни.

Матеріал і результати досліджень. Відомо, що ключовими особливостями великомасштабних і складних систем є різноманітність та взаємозалежність елементів, що входять до них, велика кількість осіб, що приймають рішення в умовах високої невизначеності та ризиків, а також унікальність цих об'єктів [2]. Однією з ключових проблем ефективного управління такими системами є оцінка та аналіз ризикових подій, що впливають на їх успішне функціонування.

Для аналізу ризиків складних систем можуть використовуватися різноманітні підходи та методи, у т. ч. аналітичні моделі, імітаційне моделювання, методи аналізу. Проте використання цих інструментів наштовхується на ряд проблем, пов'язаних з відсутністю необхідної кількісної інформації, складністю обґрунтування коректності результатів розрахунків, високою трудомісткістю оцінок, відсутністю необхідних програмних засобів та ін.

Варто зазначити, що у багатьох випадках найпростішим підходом є комбіноване використання різних моделей та методів, коли кожен із них більшою мірою відображає особливості роботи відповідних підсистем. Такі комплексні моделі називають "гібридними".

У зв'язку з перерахованими вище проблемами високої невизначеності та складності великомасштабних систем багато рішень можуть бути отримані шляхом використання якісних оцінок, що базуються на знаннях та досвіді експертів. Для цього широко застосовуються методи SWOT-аналізу, Дельфі, а також найбільш популярний і широко використовується в даний час метод аналізу ієрархій (МАІ), запропонований Т. Сааті [3].

Подальший рух у напрямку збільшення частки СЕС у генерації енергосистеми становить великий виклик для ефективного управління розподільчою мережею та створює проблеми її нормальному функціонуванню. Тому було здійснено ідентифікацію основних факторів, що призводять до проблем інтеграції СЕС, результати якої представлені у табл. 1.

На другому етапі здійснено оцінку ймовірності виникнення та рівня можливих наслідків від реалізації кожного з ідентифікованих факторів ризику за допомогою метода експертних оцінок. При застосуванні даного методу проводилося опитування спеціальної групи спеціалістів різних організацій, які на пряму або опосередковано дотичні до питань використання СЕС.

Статистичну обробку даних було почато з визначення узгодженості думок експертів, числовим вираженням якої є коефіцієнт конкордації. Необхідність у проведенні такої процедури обумовлюється тим, що фактори можуть бути витлумачені неоднозначно в силу індивідуальних особливостей кожного експерта, рівня його знань та уявлень про об'єкт. Оскільки думки експертів були узгоджені, то далі проведено розрахунок вагомості кожного з факторів.

Згідно отриманих результатів найбільший вплив мають такі фактори, як виникнення необхідності модернізації ліній та погіршення якості електричної енергії, а збільшення маневрової потужності здійснює найменший вплив.

Таблиця 1 – Основні факторів, що призводять до проблем інтеграції СЕС

Назва фактору	Короткий опис
Збільшення маневрової потужності	Теплова та гідрогенерація є ключовими інструментами регулювання, які сьогодні забезпечують можливість інтеграції ВДЕ в енергосистему та дозволяють компенсувати різкозмінний режим її роботи, надаючи енергосистемі маневрові потужності.
Погіршення якості е.е.	В процесі експлуатації СЕС в лініях електропередач можливе понаднормове зростання напруги під час максимальної генерації СЕС та мінімуму добового графіка навантаження.
Необхідність модернізації ліній	У зв'язку з великими темпами розвитку ВДЕ виникає необхідність відповідного розвитку та реконструкції існуючих мереж.
Перетікання реактивної потужності	Внаслідок зміни кута запалювання тиристорів в інверторі можна досягати різних кутів між струмом і напругою, що в електричній мережі буде причиною зміни перетоків реактивної потужності.
Зростання заборгованості за "зеленим" тарифом	Збільшення встановленої потужності ВДЕ в рамках моделі підтримки за «зеленим» тарифом створило ряд економічних і технічних викликів, в тому числі, пов'язаних із недостатністю коштів для розрахунку з виробниками електроенергії.
Виникнення вищих гармонік	Проблема з гармоніками виникає в основному від інверторів, які використовуються для перетворення постійної напруги. Ці нелінійні навантаження вводять гармоніки в мережу живлення, викликаючи повне гармонійне спотворення.

Висновки. Розвиток "зеленої" енергетики відбувається без урахування реальних потреб енергосистеми у додаткових генеруючих потужностях, що призводить до таких проблем, як необхідність збільшення маневрової потужності, погіршення якості електричної енергії, виникнення необхідності модернізації ліній, зростання заборгованості за "зеленим" тарифом, виникнення вищих гармонік та перетікання реактивної потужності.

Використання сонячних генеруючих потужностей слід розглядати перед інтеграцією в електромережу, оскільки це допоможе передавальній та розподільчій компаніям передбачити можливий вплив інтеграції та генерації фотоелектричної енергії на стабільність системи.

Відсутність формальної методики, що дозволяє поєднувати якісні та кількісні оцінки різних факторів ризику для прийняття інтегрального рішення при приєднанні об'єктів ВДЕ до мережі, виявляється ключовою проблемою, вирішенню якої і буде присвячено подальшу роботу.

Список використаних джерел

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245239564&cat_id=245239555.
2. Haines Y. Y. Risk modeling, assessment, and management. 3rd ed. Hoboken, NJ : J. Wiley & Sons, 2008.
3. Saaty T. L. Principia mathematica discernendi: Mathematical principles of decision making: generalization of the analytic network process to neural firing and synthesis. Pittsburgh, Pa: RWS Publications, 2010. 531 p.

УДК 621.311

В.В. Шевчук, аспірант, ORCID 0000-0003-0535-2630
Т.Е. Джеря, аспірантка, ORCID 0000-0002-9519-2951
Науковий керівник: д-р техн. наук, проф Волошко А.В.
Кафедра електропостачання

ЗНИЖЕННЯ ВПЛИВУ НЕЛІНІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ: ОСНОВНІ СПОСОБИ УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

У статті висвітлено питання впливу електроприймачів із нелінійною вольт-амперною характеристикою на показники якості електроенергії. Проведено аналіз сучасних способів управління параметрами енергетичних систем для зменшення впливу нелінійних навантажень на якість електричної енергії, зокрема на спотворення форми напруги та струму. Зазначається закордонний досвід проведення заходів для зниження впливу нелінійних навантажень, визначено найперспективніші напрями підвищення якості електроенергії.

Крім проведеного аналізу, авторами запропоновано оригінальний пристрій на основі використання автоматичної стабілізації форми напруги та струму. Наводяться спектральні характеристики струму однієї фази без використання пристрою стабілізації струму і з використанням пристрою, порівняння яких дозволяє зробити висновок про високу ефективність застосування розробленого пристрою зниження впливу тягових підстанцій змінного струму на якість електричної енергії розподільних мереж.

Ключові слова: електрична мережа, електромашинна установка, фільтр, споживач, спотворення форми, якість електричної енергії, нелінійне навантаження.

Вступ. Найбільш важливим показником якості електричної енергії є ступінь спотворення синусоїди напруги та струму. Основною причиною спотворення форми напруги та струму є наявність нелінійного навантаження чи нелінійних елементів у мережі електропостачання. В даний час широкого поширення набули напівпровідникові перетворювачі змінного струму в постійний та постійного струму в змінний. Напівпровідникові елементи перетворювачів працюють у ключовому режимі, що призводить до різкої зміни струмів та напруг на елементах та викликає спотворення форми напруги та струму в системах електропостачання.

Спотворення синусоїдальної форми струмів і напруг призводить до значного зниження ефективності використання електричної енергії. Поява високочастотних складових напруги викликає зростання втрат у магнітопроводах та провідниках елементів систем електропостачання та споживачів. Наявність складових високої частоти за певних умов призводить до виникнення хвильових ефектів у лініях електропередач щодо малої довжини.

Мета та задачі. Аналіз сучасних способів управління параметрами енергетичних систем для зменшення впливу нелінійних навантажень на якість електричної енергії, зокрема на спотворення форми напруги та струму.

Матеріал і результати досліджень. В даний час розроблені заходи щодо придушення 3, 5 та 7-ї гармонійних складових, оскільки присутність гармонічних складових низьких частот може викликати перенапруги (за наявності сприятливих умов)

у магістральних лініях. Не слід забувати про те, що, крім гармонічних складових низької частоти (3, 5, 7-й гармонік), нелінійні навантаження забезпечують присутність гармонічних складових більш високих частот. Довжина ліній електропередачі (ЛЕП) розподільних мереж змінюється не більше від 10-15 до 100-200 км, навантаження розподільних ліній навіть упродовж доби змінюється від номінальної величини до режиму, близького до режиму холостого ходу. Імовірність появи хвильового ефекту в таких лініях на частотах, більших за частоту 5-ї гармоніки, досить висока [3]. Все це вказує на те, що розробка заходів, що зменшують вплив нелінійного навантаження та інших факторів на форму напруги та струмів, є в даний час однією з найактуальніших проблем систем електропостачання.

Аналіз гармонійного складу струмів електричних мереж проводиться регіональними електроенергетичними компаніями Швейцарії з 1995 року. Дослідження показали, що перебіг відносно невеликого струму 7-ї гармоніки з ЛЕП-380 кВ може призвести до перевищення допустимого значення гармонік у низьковольтних мережах, підключених до цих підстанцій (рівень гармонік в одній із мереж 0,4 кВ становив 14%).

Таким чином, гармонічний склад напруги (струму) магістральних або розподільних ЛЕП може перебувати в межах допустимих значень, зміст гармонік може виходити за допустимі межі. Тому аналіз гармонійного складу напруг і струмів та розробка заходів щодо придушення гармонік розподільних мереж та мереж низької напруги є дуже актуальною проблемою [1; 2].

Для покращення форми напруги та струму вітчизняні та зарубіжні фахівці використовують різноманітні способи. За принципом дії існуючі способи придушення вищих гармонійних складових напруг і струмів можна поділити на такі підгрупи:

- зміна топології мережі електропостачання регіону;
- використання пасивних фільтрів у мережах;
- використання активних фільтрів для захисту мереж електропостачання;
- використання пристроїв з автоматичною стабілізацією форми напруги;
- використання вольтододаткових пристроїв;
- використання електромашинних установок.

Зміна топології мережі електропостачання регіону.

Вплив топології системи електропостачання на гармонійний склад напруги споживачів досить детально проаналізовано у Швейцарії. При певних конфігураціях мережі електропостачання амплітуда 5-ї та 7-ї гармоніки різко зростали і перевищували допустимі значення. Моделювання мережі електропостачання показало, що частотна характеристика системи електропостачання має резонансну частоту, близьку до 5 або 7 гармонікам і становить приблизно 350 Гц. У цьому вона залежить від параметрів елементів, а й від режиму роботи цієї системи, тобто від параметрів навантаження.

Енергетичні компанії розглянули можливість зміни топології мережі шляхом підключення мережі, що використовується лише в аварійних ситуаціях. Результатом таких змін стало зменшення рівня гармонійних спотворень вузла до допустимих значень. Крім того, запровадження нової міжсистемної ЛЕП між Швейцарією та Італією призвело до додаткового зниження гармонійних складових.

Зміна конфігурації мережі електропостачання не є універсальним способом зменшення спотворення форми напруги, так як частотна характеристика системи залежить не тільки від її конфігурації, але і від зміни характеру та величини навантаження.

Використання пасивних фільтрів у мережах.

Фільтруючі пристрої, розроблені на основі пасивних реактивних елементів, досить

різноманітні. Для придушення гармонійних складових використовуються наступні пасивні пристрої, що фільтрують:

- поперечні компенсатори;
- поздовжні загороджувальні контури;
- поперечні резонансні ланцюги;
- п-подібні фільтруючі ланки.

Звичайні компенсатори, крім своєї основної функції, що полягає в компенсації реактивної потужності, зменшують процентний склад гармонік, так як конденсатори компенсаторів разом з реактивними опорами мережі та навантаження утворюють коливальний контур, який може бути налаштований на одну з складових гармонійних.

Розрізняють регульовані та нерегульовані компенсатори. Регульований компенсатор дозволяє змінювати характер реактивної потужності, що забезпечує можливість підтримки заданого режиму роботи мережі при зміні факторів, що впливають на нього. Такого типу компенсатори встановлюють на електровозах, які є нелінійними споживачами, що призводять до викривлення форми напруги [1].

Послідовний фільтр, що загороджує, являє собою невеликий реактор з повітряним сердечником, включений паралельно з конденсатором. Цей комбінований послідовно-паралельний ланцюг налаштований на резонансну частоту 350 Гц.

Ефективність роботи фільтра, що загороджує, істотно залежить від конфігурації мережі. Найбільш доцільним є його розміщення на висновках трансформатора. Це є економічно ефективним, т.к. використовується менша кількість конденсаторних установок, не потрібне застосування автоматичних вимикачів, проте необхідні відносно складні схеми захисту.

Одним із способів придушення вищих гармонік є встановлення пасивних паралельно з'єднаних послідовних контурів. Подібні фільтруючі пристрої використовуються на тягових підстанціях постійного струму [3], де встановлюють фільтри, що згладжують, для придушення пульсацій випрямленої напруги. На рис. 1 представлено схему такого фільтра. Послідовні контури L_1C_1 , L_2C_2 , L_3C_3 налаштовані на частоти 100, 200 та 300 Гц відповідно. Ці фільтри згладжують гармоніки шестифазної схеми випрямлення, а також гармоніки, викликані асиметрією напруги живлення. Згідно з технічними умовами пульсація напруги тягової мережі не повинна перевищувати 2,8 при номінальній нарузі 3000 В. Для обмеження змінної складової випрямленого струму у фільтр включають баластні елементи L_4C_4 , L_5C_5 . Але основним завданням такого фільтра є згладжування пульсацій випрямленої напруги.

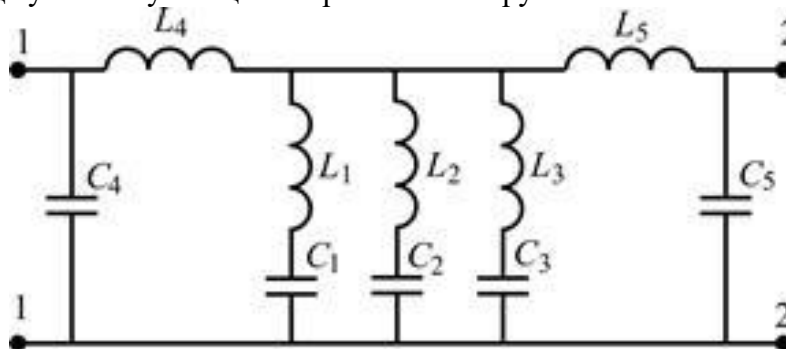


Рис. 1. Схема фільтра підстанції постійного струму

Подібними за фільтруючими властивостями є П-подібні пасивні фільтри низьких частот. Частота зрізу таких ланок, що фільтрують, становить 50 Гц. Зі збільшенням частоти власне згасання такої ланки зростає.

Активні фільтри.

Одним із способів боротьби з гармонійними спотвореннями є застосування активних фільтрів, побудованих на базі потужних силових напівпровідникових перетворювачів. Принцип роботи активного фільтра заснований на введенні у високовольтний ланцюг через підвищуючий трансформатор сигналу гармонічного струму або напруги таким чином, щоб зменшити вміст гармонік цього ланцюга. Активні фільтри є найбільш доцільним рішенням з погляду їх експлуатаційних характеристик та вартості.

Використання пристроїв з автоматичною стабілізацією форми напруги.

Одним із способів боротьби з гармоніками є розробка пристроїв стабілізації миттєвих значень струмів та напруг. До розряду таких пристроїв відноситься магнітний синтезатор [5], який забезпечує захист навантаження від різних спотворень синусоїдальної форми вхідної напруги, зокрема від провалів та викидів напруги, імпульсних та високочастотних перешкод та вищих гармонік.

Вихідна напруга магнітного синтезатора на кожному напівперіоді основної частоти генерується шляхом поєднання шести прямокутних імпульсів від зв'язаних між собою трансформаторів з насиченням. Магнітний синтезатор не містить будь-яких силових напівпровідникових елементів, виконуючи функцію стабілізатора напруги. Він формує ступінчасту, близьку за формою до синусоїди, напругу, яка подається на навантаження. Таким чином, йдеться про своєрідний фільтр вхідної напруги, принцип дії якого заснований на формуванні вихідної напруги заданої форми.

Авторами розроблено пристрій стабілізації форми струму мережі електропостачання нелінійних споживачів, блок-схема якого представлена рис. 2.



Рис. 2. Блок-схема пристрою стабілізації струму

Стабілізатор струму складається з датчика струму, високооборотного фільтра, фазообертача, схеми порівняння, підсилювача потужності та баластного споживача.

Датчик струму забезпечує на своєму виході напругу, пропорційну його миттєвому значенню струму. Ця напруга подана на вхід високооборотного фільтра, частота зрізу якого дорівнює 50 Гц. Схема активного високооборотного фільтра представлена рис. 3.

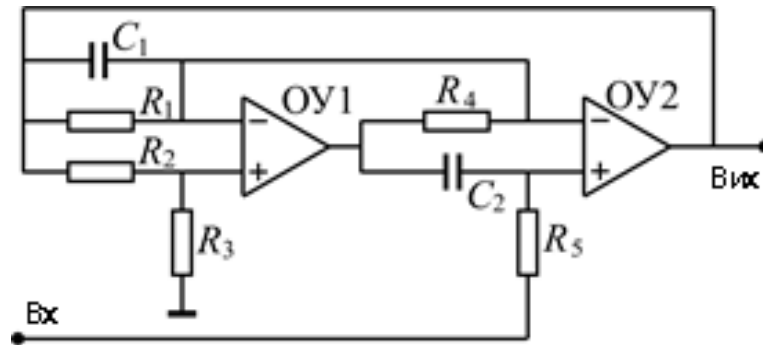


Рис. 3. Схема активного фільтра

Напруга на виході фільтра має практично ідеальну синусоїдальну форму. Ця напруга через фазообертальний ланцюг подається на схему порівняння. Фазообертальний ланцюг забезпечує компенсацію повороту фази фільтром основної гармоніки вхідної напруги. Схема порівняння визначає різницю миттєвих значень реального струму та ідеального струму. Різні напруги подаються на вхід підсилювача для забезпечення потужності, достатньої для керування баластним споживачем.

Спектральна характеристика струму однієї фази без використання пристрою стабілізації струму та з використанням пристрою представлена на рис. 4.

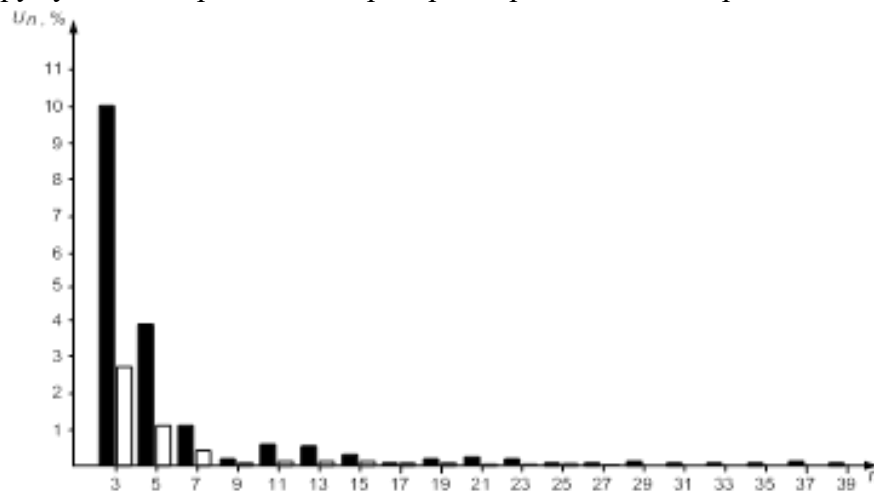


Рис. 4. Спектральна характеристика струму
(■) – без влаштування стабілізації, (□) – з пристроєм стабілізації.

Завдяки використанню запропонованого пристрою вдалося досягти зниження коефіцієнта гармонічних спотворень напруги з 9,82 до 2,69%, тобто майже вчетверо. Тому пристрій придушення гармонік, запропонований у цій роботі, може бути високоефективним пристроєм усунення гармонічних спотворень у мережі з нелінійним навантаженням.

Вольтододаткові пристрої.

Вольтододатковий перетворювач використовується для стабілізації та регулювання вихідної напруги тягової підстанції постійного струму. Однак проведені дослідження показали, що його можна використовувати як активний фільтр для зменшення амплітуд гармонік вхідних струмів випрямляючої установки. Силевий трансформатор підстанції перетворює і розподіляє напруги на основний випрямляч і випрямляч, що виконує роль перетворювача вольтодобавки. У первинному ланцюзі

силового трансформатора встановлені датчики струму. Оптимізатор за результатами гармонійного аналізу виділяє задані гармоніки вхідних струмів і виробляє керуючі на джерело компенсуючого сигналу [5].

Використання електромашинних перетворювачів.

Одним з найкращих варіантів виключення впливу нелінійних навантажень на основну мережу електропостачання є використання машинного перетворювача змінної напруги одного рівня змінну напругу іншого або того ж рівня. Перетворення характеризується повною електромагнітною ізоляцією розподільних мереж від мереж, які забезпечують харчування споживачів із нелінійною характеристикою.

Пристрій є установкою, що складається з потужного синхронного двигуна і синхронного генератора, що знаходиться на одному валу з двигуном. І тут забезпечується повна гальванічна розв'язка між ланцюгами, оскільки передача енергії виробляється через вал системи «генератор – двигун». Недолік такого варіанту полягає в тому, що для споживачів малої потужності подібна установка матиме дуже малий коефіцієнт корисної дії. Для споживачів великої потужності подібна установка за розрахунковими даними матиме ККД, близький до 90%. Необхідність розробки та використання такої установки має бути обґрунтовано економічно.

Висновки

Отже, проведено аналіз сучасних способів управління параметрами енергетичних систем для зменшення впливу нелінійних навантажень на якість електричної енергії, зокрема на спотворення форми напруги та струму. Крім проведеного аналізу, авторами запропоновано оригінальний пристрій на основі використання автоматичної стабілізації форми напруги та струму.

Слід відзначити актуальність розробки пристроїв, що виключають вплив нелінійних навантажень на розподільні мережі. В умовах дедалі більших вимог до якості електричної енергії, зумовлених глобалізацією розвитку систем електропостачання, використання локальних пристроїв покращення якості електричної енергії стає недостатнім. Перспективним шляхом розвитку елементів, що виключають погіршення показників якості, можна вважати розробку ефективних електромашинних установок, а також систем стабілізації миттєвих значень напруг та струмів великої потужності.

Список літератури

1. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий. – 5-е изд., перераб. и доп. / И.В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 2004.
2. Жежеленко И.В. Электрические потери от высших гармоник в системах электроснабжения / И.В. Жежеленко // Электрика. – 2010. - №4.
3. Жежеленко И.В. Комплексный подход к проблеме повышения энергетической эффективности электрических сетей / И.В. Жежеленко, Г.Г. Трофимов, В.Э. Воротницкий, В.А. Исаев // Энергетика, 2017. - №2 (610). – с.14-16
4. Особливі режими електричних мереж: Навчальний посібник / Г.Г. Півняк, А.К. Шидловський, Г.А. Кігель, А.Я. Рибалко, О.І. Хованська. – Д.: Національний гірничий університет, 2009. – 376 с.
5. Hagan R.C., McGranaghan M.F., Beaty H.W. Electrical Power Systems Quality. McGraw-Hill, 1996. – 265 p.
6. The Datawave Magnetic Synthesizer As a Solution to Harmonics // Liebert Corporation, 1997. – 6 p.
7. Волошко, А. В. Устранение влияния нестабильности частоты сети на точность определения качества электрической энергии [Текст] / А. В. Волошко, О. В. Коцарь // Техническая электродинамика. –1994. – № 4. – С. 73–77.

V.V. Shevchuk, graduate student, ORCID 0000-0003-0535-2630
T.E. Dzheria, graduate student, ORCID 0000-0002-9519-2951
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

**REDUCTION OF THE INFLUENCE OF NONLINEAR LOADS ON
ELECTRICITY QUALITY INDICATORS: MAIN WAYS OF MANAGING
PARAMETERS OF ENERGY SYSTEMS**

The article highlights the impact of power consumers of the nonlinear current-voltage characteristics on quality of electricity. The analysis of modern methods of controlling the parameters of energy systems to reduce the impact of non-linear loads on the quality of electric power, and in particular, on the distortion of the voltage and current. Celebrated international experience for activities to reduce the impact of non-linear loads, identify the most promising areas to improve the quality of electricity. In addition to the analysis by the authors proposed an original device based on the use of automatic stabilization of the form of voltage and current. Given the spectral characteristics of a current of one phase without using the constant current, and using the device and compares them to draw a conclusion about the effectiveness of high developed device to reduce the impact of traction substations AC electrical energy quality of distribution networks.

Key words: *nonlinear load, the quality of electric power, distortion, the consumer, filters, electrical installation, electrical network.*

References

1. I.V. Zhezhelenko. Higher harmonics in power supply systems of industrial enterprises. - 5th ed., Reworked. and ext. / I.V. Zhezhelenko. - M.: Energoatomizdat, 2004.
2. I.V. Zhezhelenko. Electrical losses from higher harmonics in power supply systems / I.V. Zhezhelenko // Electricity. - 2010. - №4.
3. I.V. Zhezhelenko. A comprehensive approach to the problem of increasing the energy efficiency of electrical networks / I.V. Zhezhelenko, G.G. Trofimov, V.E. Vorotnitsky, V.A. Isaev // Energetika, 2017. - №2 (610). - p.14-16
4. Special modes of electrical networks: Textbook / G.G. Pivnyak, A.K. Shidlovsky, G.A. Kigel, A.Y. Rybalko, O.I. Khovanska. - D.: National Mining University, 2009. - 376 p.
5. Hagan R.C., McGranaghan M.F., Beaty H.W. Electrical Power Systems Quality. McGraw-Hill, 1996. - 265 p.
6. The Datawave Magnetic Synthesizer As a Solution to Harmonics // Liebert Corporation, 1997. - 6 p.
7. A.V. Voloshko. Elimination of the influence of network frequency instability on the accuracy of determining the quality of electric energy [Text] / A.V. Voloshko, O.V. Kotsar // Technical electrodynamics. - 1994 - № 4. - P. 73–77.

УДК 620.9

Лисий В.В., аспірант кафедри електропостачання
Науковий керівник дтн. проф. Денисюк С.П.

ВПЛИВ АГРЕГАТОРІВ НА РИНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Анотація: Основною темою статті є дослідження впливу агрегаторів на ринок електричної енергії. Для цього було проаналізовано низку наукових праць, нормативних документів та світовий досвід на тему керування попитом споживачів електроенергії різного обсягу, концепції енергоефективності та енергоефективних заходів. Досліджено вплив розподілених енергетичних ресурсів на енергосистему, нюанси роботи агрегаторів навантаження. Для визначення перешкод для повноцінного впровадження агрегаторів на ринок електроенергії України проаналізовано відповідні нормативно-правові матеріали, світовий досвід з роботи агрегаторів на ринках різних країн та визначено вимоги. Проведене дослідження дозволяє розглянути участь агрегаторів на ринку електроенергії з різних сторін та можливі заходи щодо оптимізації інвестицій в електроенергетичний сектор, оцінити соціально-економічні наслідки впровадження агрегаторів та їх внесок в розвиток гнучкості електроенергетичної системи.

Abstract: The main topic of the article is the research of the impact of aggregators on the electricity market. To implement of this task, a number of scientific papers, normative documents and world experience on the topic of demand control of electricity consumers of various volumes, the concept of energy efficiency and energy efficiency measures were analyzed. The influence of distributed energy resources on the power system, nuances of work of load aggregators are investigated. To determine the barriers to the full introduction of aggregators to the electricity market of Ukraine, the relevant regulatory materials, world experience in the operation of aggregators in the markets of different countries and requirements are identified. The conducted research allows to consider the participation of aggregators in the electricity market from different angles and possible measures to optimize investment in the electricity sector, assess the socio-economic consequences of aggregators and their contribution to the flexibility of the electricity system.

Ключові слова: агрегатор навантаження, керування попитом, гнучкість, енергоефективність, розподілені енергетичні ресурси.

Вступ: Керування попитом та енергоефективність є повноцінними інструментами забезпечення збалансованості енергетичної системи. При цьому, ресурс керування попитом обмежений за рахунок невеликої кількості оптових споживачів, просьюмерів, що використовують доступні інструменти оптимізації витрат на споживання. Споживання окремого роздрібного малого чи побутового споживача недостатньо для задоволення потреб оптових ринків, витрати на торгівлю та взаємодію з операторами ринку надто високі, а достатнього економічного ефекту від прибутку немає. Агрегатори навантаження є механізмом, що може забезпечити участь в керуванні попитом роздрібних споживачів шляхом керування навантаженням кластерів споживачів та торгівлею їх сукупною гнучкістю на ринку.

Впровадження агрегаторів потребує подолання певних бар'єрів та невизначеностей, що пов'язані з недостатньою деталізацією ринку, неринковим формуванням тарифів на електроенергію для побутових споживачів та питанням комерційного обліку, а також виконання відповідних технічних та нормативних вимог, внесення змін до законодавства.

Світовий досвід з реалізації проєктів агрегації показує, що агрегатори здатні зробити значний внесок в оптимізацію інвестицій в електроенергетичну сферу, гнучкість енергосистеми на балансуєчому ринку та забезпечити виконання допоміжних послуг.

Мета та завдання: Дослідження видів розподілених енергетичних ресурсів та моделей здійснення агрегації для оцінки важливості впровадження агрегаторів навантаження та факторів, що перешкоджають процесу.

Матеріал і результати досліджень: Європейські законодавці наполягають на тому, що усі групи споживачів, промислові та комерційні та домогосподарства повинні мати можливість продавати на сегментах ринку електроенергії свої балансуєчі навантаження та згенеровану електроенергію. Важливість ролі агрегаторів зумовлена тим, що вони є сполученням між ринком та малими гравцями ринку, в тому числі споживачами, що не мають ресурсів, часу або кваліфікації для повноцінної роботи на ринку на добу наперед (РДН), внутрішньо-добовому ринку (ВДР), або балансуєчому ринку та ринку допоміжних послуг, так як робота на різних сегментах вимагає значного рівня технічної та адміністративної компетенції.

Агрегатори можуть працювати з великою кількістю розподілених енергетичних ресурсів, утворюючи загалом значну потужність, подібну до потужності об'єкта генерації. Таку агрегацію також можна назвати «віртуальною електростанцією». Наступним етапом, агрегатори можуть продавати електроенергію або допоміжні послуги через аукціони електроенергії, на оптовому ринку або через закупівлі системним оператором. В такому контексті, агрегатор – це компанія, що керує віртуальною електростанцією (ВЕС), яка являє собою сукупність розподілених енергетичних ресурсів, створена з метою надання можливості малим джерелам енергії надавати послуги в мережу та отримувати за це плату.

Фундаментальна цінність агрегації виводиться з факторів, властивих самому поняттю агрегації. Хоча регулювання та політика можуть впливати на те, чим вона обумовлена, сама цінність не залежить від регулювання, політики та є незалежною. Конкуренція може стимулювати агрегаторів надавати гнучкі та інноваційні рішення для споживачів, залучати нових, забезпечити оптимальне впровадження розподільних енергетичних ресурсів та забезпечити їх активну участь у ринках електроенергії.

Розподілені енергетичні ресурси та агрегатори

РЕР можуть бути визначені за принципом їх роботи, тобто можливістю генерації, акумулювання або контролю споживання електричної енергії. [12] Загалом, визначають наступні різні типи РЕР:

Односпрямовані РЕР – споживання: Енергоефективність; Явна та неявна Demand Response.

Односпрямовані РЕР – генерація: Контрольована розподілена генерація (РЕР, що працюють на вичопному паливі або РЕР, що працюють на гідро, гео, біомасі чи біогазі); Розподілене комбіноване тепло та електроенергія; Розподілена генерація – ВДЕ.

Двонаправлені РЕР: Розподілене акумулювання електроенергії; Електромобілі; Активні споживачі (споживачі, що поєднують споживання та генерацію, комерційні та державні споживачі).

Агрегатори, що призначені для роботи з конкретними розподільними енергетичними технологіями, зазвичай не приймають участі в тих же ринках. Агрегатори, що працюють та визначені в контексті ВДЕ, таких як власники вітряних турбін чи невеликих сонячних електростанцій, продають електроенергію на довгострокових ринках двосторонніх договорів або короткострокових РДН чи ВДР. ВДЕ за своєю природою є негнучкими джерелами електроенергії, так як залежать від стохастичності вітру та сонця, тож не можуть використовуватись в якості постачальників

гнучкості на балансуєчих ринках. Діяльність з розподіленого акумулювання електроенергії чи електромобілів вимагають роботи агрегатора, що здійснює діяльність на короткострокових ринках чи пропонує свою гнучкість на балансуєчих ринках.

Постачальники електроенергії купують електроенергію для своїх споживачів на РДД чи РДН. Для активних споживачів, просьюмерів, що можуть віддавати електроенергію в мережу та реагувати на цінові сигнали, потрібна організація, що може запропонувати гнучкість для збалансування відповідальних сторін.

Моделі здійснення агрегації

Можна виділити наступні загальні моделі здійснення агрегації:

1. Постачальник/агрегатор:

Один суб'єкт господарювання забезпечує роботу на різних ринках, постачальники одночасно надають послуги електропостачання та агрегації для забезпечення додаткової гнучкості.

2. Незалежний агрегатор:

Споживач користується послугами двох суб'єктів ринку, де постачальник забезпечує електропостачання, агрегатор окремо забезпечує гнучкість системи. Можна також виділити дві групи таких моделей. Без балансової відповідальності: агрегатор не є відповідальною за баланс і не зобов'язаний надсилати плани на добу наперед оператору системи. З балансовою відповідальністю: агрегатор повинен бути відповідальною стороною, і він зобов'язаний надсилати плани на добу наперед оператору системи. В такому випадку, послуги можуть здійснюватися без корекції небалансу, у випадку коли немає агрегатор не здійснює компенсацію за викликаний небаланс у постачальника. Таким чином, він звільняється від платежів за небаланс. Також, можна виділити модель агрегування з корекцією небалансу. В такому випадку агрегатор несе відповідальність за викликаний небаланс у постачальника та здійснює компенсацію за нього.

Перевагами моделі постачальника/агрегатора є легке інтегрування в поточну модель ринку та схему балансування з мінімальними регуляторними змінами. З іншого боку, ринки з невеликою кількістю роздрібних компаній не відчують істотних змін, коли йдеться про підвищення ліквідності та конкурентоспроможності. Основна частина доходів для таких компаній все одно буде надходити від енергопостачання.

Перевагами незалежної моделі агрегатора для малих ринків з недостатньою кількістю ритейлерів може стати збільшення ринкової конкуренції та розробка нових бізнес-моделей з точки зору технологій і послуг. Також з'являться спеціалізовані компанії для агрегації та гнучкості розподілених енергетичних ресурсів, що може призвести до більш ефективної роботи системи та ринку. Основним недоліком є необхідність комплексної зміни законодавства та ринкової моделі.

Схематичний розподіл агрегаційних моделей зображений на рисунку 1.

Говорячи про питання керування попитом на електроенергію, зазвичай мають на увазі зміщення споживання з пікових годин на позапікові, в свою чергу енергоефективність, що має на увазі поступове зменшення споживання електроенергії, досягається за рахунок впровадження більш ефективного та економічного обладнання та поступову відмову від менш ефективного обладнання, без зниження функціональності. Міри з енергоефективності в залежності від годин використання енергоефективного обладнання можуть знижувати пікове споживання. В свою чергу, керування попитом може вплинути на сукупне споживання електроенергії. Хоча в цілому керування попитом не має значного впливу на сумарне споживання в розрізі доби, деякі програми керування попитом можуть навіть збільшити споживання в позапікові години та в окремих випадках збільшити сумарне споживання електроенергії. В такому випадку, ріст споживання має бути виправданий з точки зору економіки за рахунок зниження вартості

позапікової електроенергії або зниження витрат палива. На європейських ринках розповсюджена сумісна оптимізація програм керування попитом та енергоефективності для максимального сукупного ефекту.



Рисунок 1. Можливі моделі здійснення агрегації

Бар'єри

1. Деталізація ринку

Регулювання, розроблене під таких великих учасників ринку, які раніше були єдиною категорією його учасників, створює обмеження для нових учасників ринку, які відрізняються як технологіями так і масштабом своєї діяльності. Хорошими прикладами цих історично існуючих обмежень є такі: бар'єри входу на ринок допоміжних послуг у вигляді мінімального розміру загальної встановленої потужності для одиниць генерації, так і для учасників ринку, що виконують функцію агрегатора об'єктів розподіленої генерації (20 МВт) та одиниць споживання електричної енергії (1 МВт), що перебувають у їх володінні або та управлінні гравців ринку; єдині вимоги до всіх ліцензіатів, що здійснюють виробництво електричної енергії, незалежно від встановленої потужності об'єктів електроенергетики та технології виробництва; єдиний розмір штрафних санкцій за порушення ліцензійних умов провадження господарської діяльності з виробництва електричної енергії, незалежно від встановленої потужності об'єктів електроенергетики, технології виробництва та доходів ліцензіата. Оператори системи розподілу повинні мати можливість для придбання допоміжних послуг та послуг балансування всередині власних мереж.

2. Формування ціни на електроенергію для населення

В Україні ціна на електроенергію для населення встановлюється за позаринкових умов та обґрунтовується політичними рішеннями з огляду на соціальну прийнятність цін для населення. Ціна формується шляхом крос-субсидіювання з боку бізнесу, що, в свою чергу, не дає можливості отримувати цінові ринкові сигнали і не створює мотивації для побутових споживачів до впровадження енергоефективних

технологій. В країнах з розвинутим рівнем ринків розподіленої генерації споживачі активно використовують розподілені енергетичні технології саме через те, що побутовий споживач не є ізольованим від енергетичних ринків та реальних цін на електроенергію, що формується в тому числі з точки зору собівартості її виробництва. Захист уразливих споживачів має бути адресним, спрямованим на певні визначені категорії, а не на усіх непобутових споживачів, також має бути монетизованим, спрямованим на відшкодування витрат на електроенергію, а не за рахунок зменшення вартості.

3. Цінові сигнали для споживачів

Цінові сигнали за часом є критично важливими для споживачів, особливо для залучення їх до переходу на розподілені енергетичні технології. Споживачі, що мають різну ціну за електроенергію в залежності від години споживання, матиме економічну мотивацію щонайменше до зміщення свого споживання на ті періоди, коли електроенергія буде більш вигідною. Одночасно з цим, споживач так само буде зацікавлений у встановленні власної розподіленої генерації та систем накопичення. Споживачі, що матимуть такі розподілені енергетичні ресурси, будуть цікавими для агрегаторів на ринку електроенергії, оскільки агрегатори зможуть продавати ресурси, що є у таких споживачів, на організованих ринках.

В Україні цінові сигнали за часом для споживачів обмежені однією категорією споживачів. Так, прямі цінові сигнали мають виключно непобутові споживачі групи «А». При цьому такому споживачеві оператор АСКОЕ або постачальник послуг комерційного обліку повинен забезпечити щодобове зчитування, формування та передачу сформованих погодинних даних комерційного обліку.

4. Забезпечення виконання технічних, нормативних вимог, а також вимог до залучених сторін (агрегатори, ОСР)

Внесок агрегаторів в розвиток гнучкості енергетичної системи

У рамках діючої моделі ринку, споживачі не пов'язані напряму з енергетичним ринком, оскільки їх контрагентом є роздрібний продавець, з яким вони працюють через контракт. Однак, енергоспоживання побутових і дрібних комерційних споживачів характеризується певною мірою гнучкості, в основному за рахунок: «змінних навантажень», час початку яких вільно встановлюється на певному інтервалі до певних значень; "регульованих навантажень", профіль потужності яких може бути змінений в межах відповідних обмежень; небов'язкових витрат, як правило, пов'язаних з втратами або надлишковим комфортом.

Завдання агрегатора подвійне: З боку споживача: він збирає гнучкість, пропонуючи мотивацію для споживачів, щоб сформувати їх профіль навантаження; З боку енергетичного ринку: він продає гнучкість на енергетичному ринку і може надати послугу балансування ОСР.

Гнучкість на стороні попиту забезпечується шляхом агрегування ресурсів реагування на попит або одиниць зберігання енергії, щоб діяти відповідно до вимог мережі. Гнучкість на стороні постачання забезпечується оптимізацією виробництва електроенергії з гнучких ресурсів, таких як комбіновані теплові та енергетичні (ТЕЦ), біогазові установки тощо, а також використання енергоблоків. Оптимізація операцій здійснюється на основі статистичних історичних та прогнозованих даних про попит, генерацію та ціни.

Робота агрегатора полягає в оптимізації доступної гнучкості, яку можна зібрати за рахунок споживчого портфеля, і представити ставки на ринку, коли ціна на енергію є найбільш вигідною. Крім того, він повинен враховувати можливість згорання

тендерних пропозицій від ОСР, у разі, якщо його відповідні ринкові ставки будуть вважатися нездійсненними в процесі валідації електронної послуги.

Соціально-економічні наслідки впровадження агрегаторів

Впровадження програм керування попитом дозволить усім споживачам на ринку електроенергії отримати значне зниження ціни на електроенергії в періоди розвантаження. Також, в більш довготривалій перспективі зниження цін може бути досягнуто в тому числі за рахунок зменшення інвестицій в генеруючі об'єкти та мережеву інфраструктуру.

Споживачі, що беруть участь в програмах керування попитом, отримують прибуток від оптимізації власного споживання. Ті споживачі, що оптимізували платежі шляхом зміщення споживання в непікові години, отримують відповідний економічний ефект шляхом меншої кількості розвантажень. З'явиться альтернатива для таких споживачів, що планували будівництво власної генерації для відмови від централізованого енергоспоживання, у вигляді програм керування попитом та послуг агрегаторів, що збереже переваги централізованого енергоспоживання та отримати відповідну економічну вигоду.

Для деяких гнучких виробників електроенергії економічний ефект буде досягнуто за рахунок зменшення кількості маневрових операцій та перерозподілу генерації в сторону більш ефективних потужностей за рахунок зниження пікового споживання та збільшення споживання в ті години, коли генерацію розвантажували. При цьому, сукупне споживання за добу залишиться без змін. Як сумарний незначний ефект в цілому, можна розглядати зниження загальної вартості потужності для генерації та скорочення необхідності будівництва нових генеруючих потужностей.

Забезпечення додаткової гнучкості шляхом введення в ринок раніше пасивних учасників системи створює можливості для більш ефективної торгівлі електроенергією, що може призвести до зниження цін і більш високої якості послуг. Нові компанії, призначені для конкретних нових послуг, таких як відповідь на попит, можуть зменшити рахунки за електроенергію для своїх клієнтів. Враховуючи це, також, деякі з домінуючих традиційних енергетичних компаній можуть зазнати економічних втрат, якщо агрегатори повноцінно вийдуть на ринок.

Генерація у вигляді теплових та гідроелектростанцій, що є важливими учасниками енергосистеми та ринку, не будуть мати позитивний економічний вплив ні через зниження цін на електроенергію, ні через більш високу конкуренцію на ринку допоміжних послуг та балансуєчому ринку, що буде наслідком появи агрегаторів. Так як наразі генеруючі компанії забезпечують усю частку ринку гнучкості, вони можуть втратити свою долю через появу нових джерел гнучкості. З іншого боку, в незалежній моделі ринку вони також зможуть надавати послуги агрегації, що допоможе створити нові можливості для бізнесу. Виробники електроенергії зможуть отримати певну вигоду у випадку зняття з них деяких зобов'язань, як, наприклад, зобов'язання про надання первинного резерву та зможуть продавати свою потужність на більш прибуткових ринках.

Якщо говорити про економічний вплив на енергосистему в цілому, за рахунок зниження виробітку електроенергії станціями з найбільш високою собівартістю, підвищується ефективність та гнучкість роботи енергетичної системи в цілому як технологічного об'єкту. Так як сумарне споживання за добу не зміниться, електроенергія, що не була згенерована та спожита в пікові години, буде використана в години зниженого споживання, що дозволить задіювати більш економічні об'єкти генерації, ніж такі, що було б необхідно завантажувати в години пікового споживання.

Зниження перевантажень в мережах та відмова від будівництва нових мережевих потужностей може принести економічну вигоду для мережевих компаній. Як оператор системи передачі, так і оператори систем розподілу можуть скористатися інтеграцією агрегаційних послуг аби зменшити свої інвестиційні витрати.

Програми керування попитом є важливим інструментом для збільшення частки ВДЕ в добовому графіку навантаження, так як можуть бути використані для зміщення споживання в ті періоди доби, коли виробіток об'єктів ВДЕ максимальний, без необхідності значного розвантаження генерації ТЕС та ТЕЦ.

Агрегатори навантаження у світі – це високотехнологічний бізнес, що динамічно розвивається, до якого залучені фахівці в галузях енерготрейдингу, інформаційних технологій, енергоаудиту, енергоефективності та інтелектуального обліку. Створення агрегаторів навантаження сформує нові робочі місця для кваліфікованих спеціалістів.

Повномасштабне впровадження технологій керування попитом підвищує конкуренцію на ринках електроенергії, потужності та системних послуг.

Висновок: Агрегація розподілених енергетичних ресурсів є необхідністю для енергоефективної та екологічної енергетичної системи. Завдяки гнучкості поняття агрегатора та можливості здійснення різних видів підходу до їх діяльності, під характеристики різних енергосистем може бути підібрана відповідна модель агрегації.

Максимальна цінність за рахунок розподільних енергетичних технологій буде забезпечена за наявності відповідних технічних можливостей. В розвинених країнах сучасний ринок таких проєктів задіює всю еко-систему цифрових та інформаційних технологій, від лічильників, що під'єднані до мережі інтернету, до віддалено керованих пристроїв та енергетичного обладнання.

Якщо цінність агрегації забезпечується фундаментально для всього ринку, регулятор ринку може вживати заходів для усунення бар'єрів реалізації або заохочення напряму. Проте, якщо її цінність буде забезпечуватися лише для приватних підприємств, повинні бути внесені відповідні корективи до правил. Капіталізація агрегації може призвести до монополізації та утворення єдиного централізованого агрегатора, що створить перешкоди для інших цілей розвитку енергетичної системи, зокрема конкуренції. Таким чином, компроміси повинні чітко визначатись в тому які саме агрегатори можуть мати важливі наслідки для структури енергетичної системи.

Список використаних джерел:

1. IEA (International Energy Agency), «Re-Powering Markets. Market design and regulation during the transition to low-carbon power systems», Second Edition, (March 2016)
2. NordREG, “Discussion of different arrangements for aggregation of demand response in the Nordic market –2016.”
3. IEA (International Energy Agency), «Digitalization & Energy», 2017
4. PA Consulting Group, «Aggregators - Barriers and External Impacts», prepared for Ofgem (Office of Gas and Electricity Markets), May 2016
5. Scott Burger, Jose Pablo Chaves-Ávila, Carlos Batlle, and Ignacio J. Pérez-Arriag, «The Value of Aggregators in Electricity Systems»
6. IRENA (2019), Innovation landscape brief: Aggregators, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi
7. IRENA (2019), Innovation landscape for a renewable-powered future: Solutions to integrate variable renewables. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi
8. Ma, Z., J. D. Billanes and B. N. Jørgensen (2017), Aggregation Potentials for Buildings – Business Models of Demand Response and Virtual Power Plants, MDPI

9. Постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 307 «Про затвердження Правил ринку» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0307874-18>
10. ЗАКОН УКРАЇНИ «Про ринок електричної енергії» (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 27-28, ст.312) <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>
11. ПОСТАНОВА НКРЕКП від 14.03.2018 № 312 «Про затвердження Правил роздрібного ринку електричної енергії» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0312874-18>

УДК 621.311

Поплигіна В.С.
Науковий керівник к.т.н., доц Бориченко О.В.
кафедра електропостачання

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

Анотація. У статті описані методи, за допомогою яких можливе прогнозування енергоспоживання будь-якого об'єкта. Дано поняття та уявлення про методи їх розрахунку.

Ключові слова: Електроенергія; прогнозування електроспоживання; метод; експертні оцінки.

ANALYSIS OF METHODS OF POWER CONSUMPTION FORECASTING

Abstract. Methods by means of which power consumption forecasting of any object is possible are described in the article. The concept and idea of methods of their calculation are given.

Keywords: Electricity; forecasting of a power consumption; methods; expert assessments.

Вступ. Прогнозування споживання електроенергії є дуже важливим аспектом у роботі промислових підприємств. Кожне з них має визначити для себе споживчу потужність, якої воно має досить суворо дотримуватись, так, як відхилення загрожують штрафами.

Тому однією з актуальних тем на ринку електроенергії сьогодні є прогнозування споживання енергії на певний термін. В даний час існує приблизно 150 методів прогнозування, але на практиці використовуються близько 20-30 основних методів.

Мета та завдання. Завданням та метою дослідження є розгляд деяких методів для прогнозування енергоспоживання, а також надання поняття та уявлення про методи їх розрахунку.

Матеріал і результати досліджень. Класифікація методів прогнозування здійснюється за трьома основними ознаками: за ступенем формалізації методів; за загальним принципом дії; за способом отримання прогнозованої інформації [1].

За ступенем формалізації методи прогнозування поділяються на формалізовані та інтуїтивні. Формалізовані методи використовуються у тому випадку, коли інформація про об'єкт прогнозування носить в основному кількісний характер, а вплив різних факторів можна описати за допомогою математичних формул. Інтуїтивні – застосовуються для тих процесів, які неможливо описати математичними формулами [1].

Інтуїтивні методи поділяються на індивідуальні та колективні експертні оцінки. Індивідуальні ґрунтуються на узагальненні думок окремих експертів. До них належать: метод інтерв'ю, метод анкетного опитування, аналітичний метод, метод написання сценарію. Колективні експертні оцінки базуються на отриманні об'єднаної оцінки від усієї групи фахівців-експертів, виробленої за безпосереднього контакту [1]. До таких методів належать метод Делфі, метод «мозкового штурму», метод експертних комісій.

Організація процедури експертної оцінки включає кілька етапів: формування репрезентативної експертної групи; підготовку та проведення експертизи; статистичну обробку отриманих результатів опитування. На здатність експерта будувати прогноз впливають внутрішні та зовнішні фактори. Внутрішні чинники залежать від індивідуальних якостей експерта, тобто. від його досвіду, знань, інтелекту.

Високий рівень залежності якості прогнозу від кваліфікації експертів дозволяє

стверджувати, що інтуїтивні методи в цілому не підходять для створення на їх основі прогнозних моделей електроспоживання підприємств, оскільки вони не забезпечують стабільну точність. Тому краще використовувати формалізовані методи [2].

Формалізовані методи поділяються на методи екстраполяції та методи моделювання. До найбільш поширених формалізованих методів прогнозування відносяться [3]:

- 1) Прогнозна екстраполяція.
 - 2) Кореляційний та регресійний аналізи.
 - 3) Прогнозування з урахуванням ARIMA моделей.
 - 4) Адаптивні методи прогнозування.
 - 5) Генетичні алгоритми.
 - 6) Прогнозування з використанням штучних нейронних мереж.
 - 7) Прогнозування за допомогою гібридних систем.
1. Прогнозна екстраполяція.

Екстраполяція - це метод наукового дослідження, який заснований на поширенні минулих тенденцій та тенденцій сьогодення, закономірностей, зв'язків на майбутній розвиток об'єкта прогнозування. У вузькому значенні слова, екстраполяція - це знаходження по ряду даних функції інших її значень, що знаходяться поза цим рядом. Під час оцінки параметрів залежностей найбільш поширеними є метод найменших квадратів, метод експоненційного згладжування часових рядів, метод ковзної середньої та інші. Тренд (еволюаторна складова, вікова тенденція) - середня лінія руху прогнозованої характеристики, випадкова компонента характеризує випадкові відхилення фактичних показників динаміки об'єкта від середньої лінії. Застосовуючи цей метод, слід уникати формальної екстраполяції. Формальна екстраполяція, ґрунтуючись виключно на виявлених кількісних залежностях, передбачає збереження у майбутньому тенденції розвитку об'єкта, виявленого у минулому. Метод формальної екстраполяції не дає точних результатів, а при довгостроковому та далекостроговому прогнозуванні може призвести до помилкових та абсурдних результатів. Прогнозна екстраполяція пов'язує дані про динаміку об'єкта прогнозування з аналізом логіки його розвитку.

Для оцінки коефіцієнтів найчастіше використовується метод найменших квадратів (МНК). Сутність МНК полягає у пошуку коефіцієнтів моделі тренда, що мінімізують її відхилення від вихідного тимчасового ряду. Недолік даного методу полягає в тому, що модель тренда жорстко фіксується, а це робить можливим його застосування лише за невеликих періодів попередження, тобто при короткостроковому прогнозуванні.

Метод експоненційного згладжування тимчасових рядів є модифікацією методу найменших квадратів для аналізу часових рядів, що є усередненням значень часового ряду. Воно може бути виконано за різними методиками: як середні арифметичні або середні геометричні, за парною чи непарною кількістю точок. Процедура згладжування спрямована на мінімізацію випадкових відхилень точок ряду від деякої гладкої кривої передбачуваного тренду процесу. Цей метод дозволяє оцінити параметри моделі, що описує тенденцію, яка сформувалася наприкінці базисного періоду і не просто екстраполює діючі залежності у майбутнє, а й пристосовує і адаптує до умов, що змінюються в часі. Метод експоненційного згладжування застосовується при коротко- та середньостроковому прогнозуванні [4].

Використання методу прогнозної екстраполяції для короткострокового прогнозування електроспоживання обмежено суттєвими недоліками:

— Неможливість врахування безлічі параметрів, що впливають на електроспоживання промислового підприємства.

— Жорстка фіксація моделі тренду, яка не дозволяє врахувати короткострокові тенденції електроспоживання, пов'язані зі зміною попиту, а, отже і обсягів випуску продукції підприємства.

2. Кореляційний та регресійний аналізи.

Одним з найбільш поширених методів отримання прогнозів електроспоживання є побудова моделі множинної регресії на основі методу найменших квадратів. За допомогою кореляційного аналізу виявляється наявність статистично значущих зв'язків між змінними та оцінюється міра їх щільності. Парні коефіцієнти кореляції характеризують взаємозв'язок між двома вибраними змінними на фоні взаємодії з іншими показниками і є найпоширенішими показниками щільності зв'язку під час статистичного аналізу даних.

Потім переходять до математичного опису конкретного виду залежностей із використанням регресійного аналізу. Для цього підбирають клас функцій, що зв'язує результативний показник Y та аргументи $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$, відбирають найбільш інформативні аргументи, обчислюють оцінки невідомих значень параметрів рівняння зв'язку та аналізують точність отриманого рівняння [5].

Кореляційні та регресійні методи враховують вплив широкого набору вхідних параметрів (метеорологічні фактори, формування ранкового та вечірнього максимумів тощо) на вихідні прогнозні дані електроспоживання. Побудова та оцінка регресійної моделі здійснюється в Excel за допомогою модуля регресії пакета аналізу даних.

Найпростішим варіантом регресійної моделі є лінійна регресія. В основу покладено припущення, що існує дискретний зовнішній фактор $X(t)$, що впливає на досліджуваний процес $Z(t)$, при цьому зв'язок між процесом та зовнішнім фактором лінійна, але на практиці на процес $Z(t)$ впливає цілий ряд дискретних зовнішніх факторів $X_1(t), \dots, X_S(t)$, така модель називається множинною [5]. Недоліком даної моделі є те, що для обчислення прогнозу процесу $Z(t)$ необхідно знати майбутні значення всіх факторів $X_1(t), \dots, X_S(t)$, що майже нездійсненно.

Кореляційні та регресійні методи прогнозують поведінку змінної величини виходячи з тимчасового взаємозв'язку між нею та іншою змінною, яка може бути виражена у вигляді статистичної залежності, яка називається регресією або кореляцією.

Інакше кажучи, ці методи дозволяють встановити залежність зміни однієї змінної у разі зміни іншої на певну величину.

Регресійний аналіз досліджує взаємозв'язок залежної змінної від інших незалежних, застосовується за наявності зв'язку між прогнозованим процесом та будь-якими факторами, що впливають на нього.

Лінійна регресія зазвичай використовується для довгострокових прогнозів, але може також застосовуватися для менш тривалих прогнозів. В процесі роботи промислового підприємства природною є поява нової інформації, що потребує коригування даних прогнозної моделі. Таке коригування є дуже складною і трудомісткою процедурою, що вимагає великої кількості обсягів обчислень. Це призводить до того, що динамічна зміна характеристик прогнозної моделі найчастіше неможлива. Іноді вимоги прогнозної моделі до вихідної інформації для реальних спостережень нездійсненні, у зв'язку з чим прогноз виявляється неточним і неефективним.

3. Адаптивні методи прогнозування.

До адаптивних методів належать методи Брауна, Хольта та Хольта-Уінтерса. В основі лежить модель рекурсивного гармонійного процесу, запропонована Дж.Юлом [6].

При обробці часових рядів, як правило, найціннішою є інформація останнього періоду, оскільки необхідно знати, як розвиватиметься тенденція, що існує в даний

момент, а не тенденція, що склалася в середньому. Адаптивні методи дозволяють врахувати різну інформаційну цінність рівнів тимчасового ряду, ступінь "старіння" даних. Ця властивість адаптивних методів є суттєвою їх перевагою для прогнозування електроспоживання підприємства.

Початкова побудова прогнозу моделі проводиться за декількома першими спостереженнями об'єкта, складається прогноз, який порівнюється з фактичними даними. За результатами прогнозу відбувається коригування моделі, потім складається прогноз по наступним спостереженням і так до вичерпання всіх спостережень.

Таким чином, адаптація здійснюється ітеративно, з отриманням кожної нової фактичної точки ряду. Модель постійно "вбирає" нову інформацію, пристосовується до неї і тому відображає тенденцію розвитку, що існує в даний момент.

Оцінювання коефіцієнтів адаптивної моделі зазвичай здійснюється на основі рекурентного методу, який формально відрізняється від методу найменших квадратів, методу максимальної правдоподібності та інших методів тим, що не потребує повторення всього обсягу обчислень з появою нових даних [6].

Таким чином можна отримати точний прогноз на інтервал, більший, ніж, наприклад, під час використання методу експоненційного згладжування [4]. Однак це справедливо лише за дуже довгих часових рядів. В даний час не існує методики, яка обчислює достатній обсяг вихідної інформації таких моделей, що значно ускладнює процес їх реалізації.

Висновки.

Отже, розглянувши детально деякі методи прогнозування електроспоживання можна зробити висновок, що серед розглянутих, найбільш поширеним на практиці є саме регресійний та кореляційний аналізи, оскільки є доступним та достатньо простим, але все ж таки має свої недоліки.

Список використаних джерел.

1. Кравченко, Т. В. Методи прогнозування регіонального економічного розвитку [Текст] / Тетяна Володимирівна Кравченко// Економічний аналіз : зб. наук. праць / Тернопільський національний економічний університет; редкол.: С. І. Шкарабан (голов. ред.) та ін. – Тернопіль: Видавничополіграфічний центр Тернопільського національного економічного університету "Економічна думка", 2013. – Том 13. – С. 88-94. – ISSN 1993-0259.
2. Євланов, Л. Г. Експертні оцінки в управлінні / Л. Г. Євланов, Ст. А. Кутузов. - М: Економіка, 1978. - 134 с.
3. Формалізовані методи фінансового стану [Електронний ресурс] : [Веб-сайт] – Режим доступу: https://pidru4niki.com/87213/finansi/formalizovani_metodi_prognozuvannya_finansovogo_stanu (дата звернення 01.06.2022) – Назва з екрана.
4. Андерсон, Т. Статистичний аналіз часових рядів / Т. Андерсон; Перекл. з англ. - М.: Мир, 1976. - 760 с.
5. Льюїс, К. Д. Методи прогнозування економічних показників / К. Д. Льюїс; перекл. з англ.: Е. З. Демиденко. - М.: Фінанси и статистика, 1986. - 132 с.
6. Кобець С.П., А.О. Лузіна Застосування адаптивних моделей для прогнозування чистого доходу від реалізації продукції – Електронне фахове видання «Ефективна економіка», 2019. – с. 3-4.

УДК 620.9

Довгаль М.О., аспірант кафедри електропостачання
Науковий керівник ктн, доц. Замулко А.І.

ОЦІНЮВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕЦ В УМОВАХ ЗАПРОВАДЖЕННЯ В ЕНЕРГЕТИЧНІЙ ГАЛУЗІ РИНКОВИХ ВІДНОСИН

Анотація: В темі проаналізовано метод оцінки ефективності функціонування теплоелектроцентралі який застосовується для аналізу оцінювання інтегральної ефективності. Запропонована система показників досить чітка та обґрунтована, оскільки вона відображає ефективність інтегральної ефективності функціонування ТЕЦ в умовах запровадження в енергетичній галузі ринкових відносин.

Abstract: The topic analyzes the method of assessing the efficiency of the thermal power plant, which is used to analyze the assessment of integrated efficiency. The proposed system of indicators is quite clear and justified, as it reflects the effectiveness of the integrated efficiency of CHP in the introduction of market relations in the energy sector.

Ключові слова: інтегральна оцінка, таксономічний показник, ефективність теплоелектроцентралі.

Вступ: Сьогодні в Україні впроваджена лібералізована модель ринку електричної енергії, що заснована на функціонуванні організованих сегментів, зокрема ринку «на добу наперед», внутрішньодобового ринку, ринку допоміжних послуг та балансуєчого ринку робота яких забезпечується злагоджену роботу загальної системами. Постійні процеси реформування ринкових відносин, змінення правил ринків, що стосується генерації, здебільшого націлено на маневрених гравців ринків. Найбільш важчий перехід в новий ринок електроенергії припав на теплоелектроцентралі (ТЕЦ). Для найбільш кращого вибору ринку для роботи ТЕЦ потрібно провести оцінювання інтегральної ефективності функціонування.

Мета та завдання: Розроблення методики інтегральної оцінки ефективності функціонування ТЕЦ для чіткого уявлення про його стан та визначення його основних критичних зон та оптимальної участі в енергетичній галузі ринкових відносин.

Матеріал і результати досліджень: Основною особливістю ТЕЦ є робота в процесі високоефективної когенерації, що означає, що під час одного технологічного процесу одночасно виробляються тепло та електроенергія.

Когенерація включає в себе багато технологічних рішень – завдяки їх використанню обсяг виробництва електроенергії та теплової енергії можна регулювати відповідно до величини попиту. Найбільш тяжкий період роботи припадає на опалювальний сезон.

ТЕЦ є об'єктом критичної інфраструктури так як забезпечує безперебійним постачанням гарячої води та виробництвом електроенергії. Також ТЕЦ являються стратегічним об'єктом бо вони джерелом електроенергії в середині міст, тим самим забезпечують надійність енерговузла в яку знаходяться.

Оцінка ефективності функціонування (ОЕФ) централі являє собою визначення та розрахунок комплексу показників, які відображають різні сторони діяльності та впливають на ефективне прийняття управлінських рішень для більш ефективної роботи. За результатами ОЕФ підприємства можливо побачити проблемні зони його діяльності та запропонувати заходи щодо підвищення ефективності використання основних

засобів, матеріалів, фінансових ресурсів та ефективності фінансової діяльності підприємства. Групування зазначених показників дасть змогу отримати інтегральну оцінку ефективності функціонування підприємства у ринковому середовищі [1].

Таким чином, актуалізується цього питання в майбутньому допоможе реалізувати методики інтегральної оцінки ефективності функціонування ТЕЦ для чіткого уявлення про його стан та визначення його основних критичних зон, на які варто звернути увагу для їх покращення.

Інтегральна оцінка ефективності буде визначатись за допомогою таксономічного показника на основі таксономічного аналізу.

Методика оцінки ефективності функціонування підприємства та розрахунок інтегральної оцінки передбачають реалізацію декількох етапів [2].

1. Формування системи інформаційного простору оцінки ефективності діяльності підприємства.

Головним етапом під час визначення інтегральної оцінки для прийняття управлінських рішень є формування системи інформаційного простору, яка повинна забезпечувати об'єктивність, змістовність, глибину й адекватність інформації, що характеризує досліджувані соціально-економічні явища та процеси.

Від правильного аналітичного вибору, вірогідності і побудови системи показників залежить об'єктивність інтегральної оцінки ефективності функціонування підприємства. Якщо відбір множини показників для діагностики стану об'єктів управління буде проведено неправильно, то як би добре не була опрацьована ця інформація, дані будуть низької якості. Формування системи інформаційного простору розуміє під собою формування матриці вихідних даних за формулою (1).

$$X=(x_{ij}), \quad (1)$$

де:

x_{ij} – значення j -го показника для i -го об'єкту.

2. Матриця стандартизованих значень ознак.

Оскільки показники можуть мати різну природу і незрівнянні один з одним значення, проводиться стандартизація даних. Для цього необхідно змінити матрицю X на матрицю Z . Елементи матриці Z розраховуються за формулою (2) [3].

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j}, \quad (2)$$

де:

\bar{x}_j - середнє значення j -го показника;

σ_j - середньоквадратичне відхилення j -го показника.

Своєю чергою, ці параметри розраховуються за формулами (3) та (4).

$$\bar{x}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ij}, \quad (3)$$

де:

m – кількість вихідних показників, що використовуються для отримання комплексних показників;

n – кількість років, за якими проводяться розрахунки.

$$\sigma_j = \left[\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

3. Формування «точки-еталону».

Наступний крок у даному алгоритмі полягає у диференціації ознак матриці спостережень. Усі змінні поділяються на стимулятори та дестимулятори. Підставою розподілу ознак на дві групи служить характер впливу кожного з них на рівень ефективності функціонування ТЕЦ. Ознаки, які позитивно впливають на показник, називаються стимуляторами на відміну від ознак, які негативно впливають на показник і тому називаються дестимуляторами.

Розподіл ознак на стимулятори та дестимулятори служить основою для формування точки еталону, яка представляє собою точку P_0 з координатами $Z_{01}, \dots, Z_{02}, \dots, Z_{0n}$, отриманим за формулами (5) та (6).

$$Z_{0j} = \max Z_{ij}, \quad \text{якщо } j \in J, \quad (5)$$

$$Z_{0j} = \min Z_{ij}, \quad \text{якщо } j \notin J \quad (j = J, \dots, n), \quad (6)$$

де J – безліч показників стимуляторів;

Z_{ij} – стандартизоване значення j -го показника для i -го року.

4. Розрахунок евклідової відстані.

Відстань між окремими точками-одинацями та точкою P_0 , що представляє точку-еталон, позначається C_{i0} та розраховується за формулою (7).

$$C_{i0} = \left[\sum_{j=1}^n (Z_{ij} - Z_{0j})^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

Отримані відстані є вихідними величинами, які використовуються під час розрахунку інтегрального показника [4].

5. Розрахунок значень інтегрального показника. Представлено у формулі (8) [3].

$$d_i = 1 - \frac{C_{i0}}{C_0}, \quad (8)$$

$$C_0 = \overline{C_0} + 2 \cdot S_0, \quad (9)$$

$$\overline{C_0} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m C_{i0}, \quad (10)$$

$$S_0 = \left[\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (C_{i0} - \overline{C_0})^2 \right]^{1/2}. \quad (11)$$

Чим ближче значення показника d_i до одиниці, тим більш високий рівень показника, що оцінюється.

6. Формування висновків на основі отриманих даних. Останній етап в представленому алгоритмі.

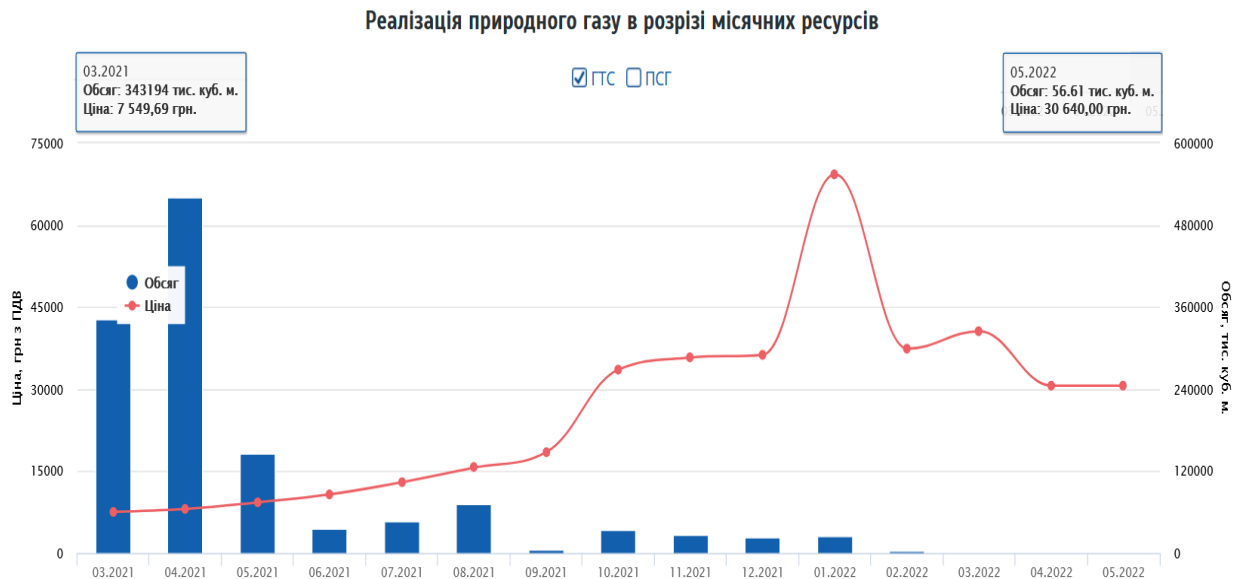
Представлений вище алгоритм реалізовує розрахунок інтегрального показника.

Висновок: Таким чином, для практичного вирішення проблем проведення оцінки ефективності функціонування ТЕЦ необхідно ретельне вивчення ситуації за всіма його складниками. Це дає змогу здійснювати запропоновану методику інтегральної оцінки ефективності функціонування підприємства за всіма її групами показників.

Запропонована система показників досить чітка та обґрунтована, оскільки вона відображає ефективність інтегральної ефективності функціонування ТЕЦ в умовах запровадження в енергетичній галузі ринкових відносин.

Особливо під час ситуації коли виходить різке зміння цін палива (особлива

увага приділяється газу, бо на даний момент воно, використовується як основне екологічно паливо та менш шкідливо для навколишнього середовища).



Як зображена на рисунку 1 ціна природного газу на відкритому оптовому ринку формується на основі котирувальних цін ТОВ «УЕБ»[4], видно що за рік вона збільшилось більш ніж в 4 рази. А це насамперед показує, що основним ваговим чинником дестимулятором, який може призвести до негативної інтегральної оцінки.

Отже, виходячи з усього вищенаведеного, подальші дослідження будуть спрямовані на уточнення складу показників-індикаторів рівня соціально-економічного розвитку підприємства і розробку відповідної методики його оцінки, а також дослідження нових рішень зниження втрат.

Список використаних джерел:

1. Рудська І.О. інтегральна оцінка ефективності функціонування підприємства / Н.В. Лепетюха, І.О. Рудська // Глобальні та національні проблеми економіки– 2016. – Вип. 14. – С. 424-429.
2. Кюрджиев С.П. Інтегральна оцінка фінансового стану підприємства / С.П. Кюрджиев, А.А. Мамбетова, Є.П. Пешкова //Економіка регіону. – 2016. – Т. 12. – №2. – С. 586–601.
3. Бубенко П.Т. Оцінка інноваційного потенціалу регіонів на основі таксономічного методу / П.Т. Бубенко, М.С. Владимірова // Бізнес Інформ. – 2009. – № 4(2). – С. 86–88.
4. Плюта В. Порівняльний багатовимірний аналіз в економічних дослідженнях: методи таксономії і факторного аналізу / В. Плюта // М. : Статистика, 1980. – С. 151.
5. URL: <https://www.ueex.com.ua/exchange-quotations/> (дата звернення: 01.06.2022).

УДК 621.311

В.В. Пригоцький

Науковий керівник д-р техн. наук, професор Волошко А.В.

ГАРМОНІКИ. ЇХ ВПЛИВ НА СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА СПОСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ

Наведено результати досліджень модифікованого методу визначення гармонік на основі пакетного вейвлет-перетворення.

Ключові слова: армоніка, вейвлет-перетворення, синусоїдальний сигнал.

The results of researches of the modified method of determination of harmonics and flicker on the basis of batch wavelet transformation are given.

Key words: harmonic, wavelet transform, sinusoidal signal

Вступ.

Під якістю електричної енергії розуміють відповідність її показників, що характеризують напругу і частоту в електричній мережі, деяким нормованим значенням. Розрізняють наступні характеристики електричної енергії: відхилення (зниження та перевищення) напруги, провал напруги, спотворення форми напруги, несиметрія трифазної системи напруг, відхилення частоти, імпульсні спотворення напруги. Даним характеристикам відповідають певні показники якості електричної енергії (ПЯЕЕ).

Як показав аналіз, найбільш важливими характеристиками якості електричної енергії з точки зору їх впливу на надійність та ефективність функціонування електроенергетичної галузі є наступні: зниження (провал) напруги та її перевищення (перенапруга), імпульс напруги та короточасні перенапруги, нарівні з провалом напруги є характеристиками електромагнітних перехідних завод та несинусоїдальність. В даній роботі розглядається розробка модифікованого способу визначення гармонічного складу мережевої напруги.

Аналіз досліджень та публікацій.

Як відомо, несинусоїдальність електричної напруги нормується коефіцієнтом спотворення і коефіцієнтом n – ої гармонійної складової напруги. Наявність гармонік призводить до виникнення паразитних полів та електромагнітних моментів в синхронних та асинхронних двигунах; прискореного старіння ізоляції електричних машин, трансформаторів, кабелів; погіршення коефіцієнту потужності електроприймачів; погіршення або порушення роботи пристроїв автоматики, телемеханіки, комп'ютерної техніки; зростання похибки вимірювань індукційних лічильників електроенергії; порушення роботи самих вентиляльних перетворювачів; додаткових втрат напруги, активної потужності у всіх елементах системи електропостачання: лініях електропередачі, трансформаторах, електричних машинах, статистичних конденсаторах.

Зважаючи на процент впливу на техніко-економічні показники функціонування електроенергетичної галузі України від наявності в електричній енергії тих чи інших спотворень її якості, у даній роботі розглядається спотворення якості електричної енергії- несинусоїдальність, з метою розробки способу її визначення.

Викладення матеріалу і результати дослідження.

Найбільш широко використовуваним апаратом для аналізу параметрів якості електричної енергії є швидке перетворення Фур'є (ШПФ), яке придатне для

моніторингу якості електричної енергії в стаціонарному стані, але обмежене в пошуках нестационарних спотворень, таких як провали напруги, швидкоплинні спотворення (коливання або імпульси). При цьому необхідно відмітити наступне.

По-перше, при проведенні гармонічного аналізу за допомогою ШПФ можливим є визначення тільки амплітуди та початкового кута гармоніки, час та тривалість даного спотворення залишаються невизначеними. По-друге, для випадку сигналу з однією гармонікою із різною амплітудою і тривалістю ШПФ дозволяє ідентифікувати тільки її наявність.

В зв'язку з цим, в роботі розглядається застосування порівняно нового математичного апарату як вейвлет-аналіз. Як показують результати багатьох досліджень, для аналізу структури сигналів різноманітної тривалості необхідні частотно-часові атоми з різноманітними часовими носіями. У вейвлет-перетворенні, в якості сімейства таких частотно-часових атомів, застосовується вейвлет-функція $\psi_{u,s}(t)$ в результаті її масштабування на величину s і зсуву – на величину u :

$$\psi_{u,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-u}{s}\right)$$

Проведено порівняльний аналіз результатів обробки сигналів за допомогою Фур'є та вейвлет-аналізу. Були розглянуті моделі двох характерних видів сигналів, перший це наявність стрибків першого роду (рис. 1 а, та 2 а) подібно ГЕН, другий – одночасна наявність у сигналі декількох гармонік – третьої та п'ятої (рис. 1 б, рис 2 б).

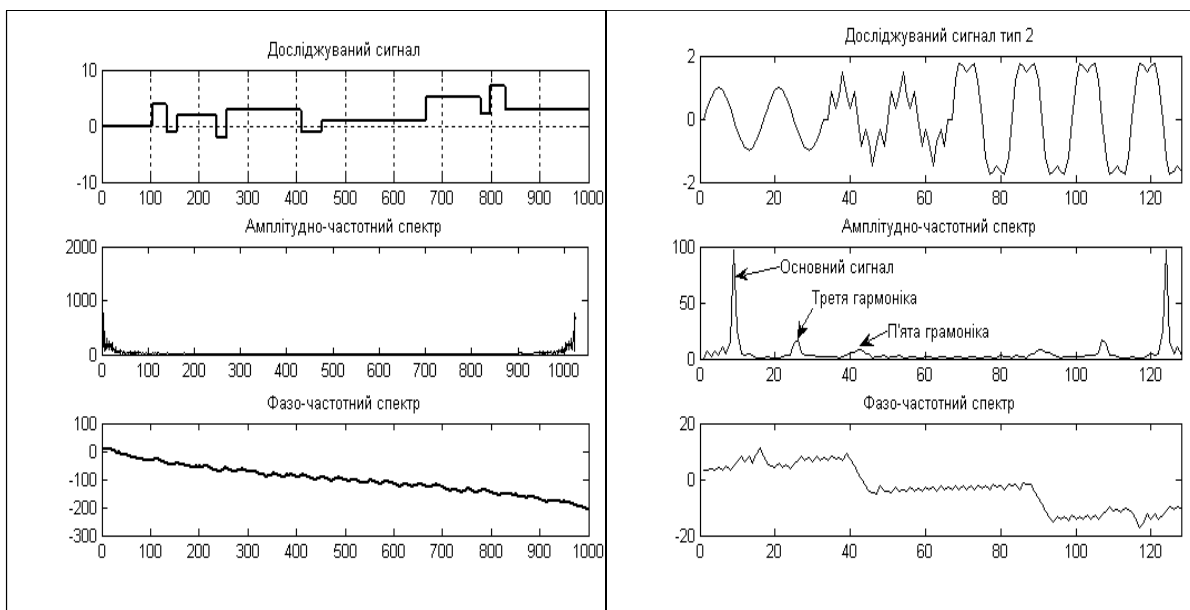


Рисунок 1 – Результати проведення Фур'є-аналізу сигналів із наявністю а) розривів I роду (перепадів амплітуди) та б) третьої та п'ятої гармонік

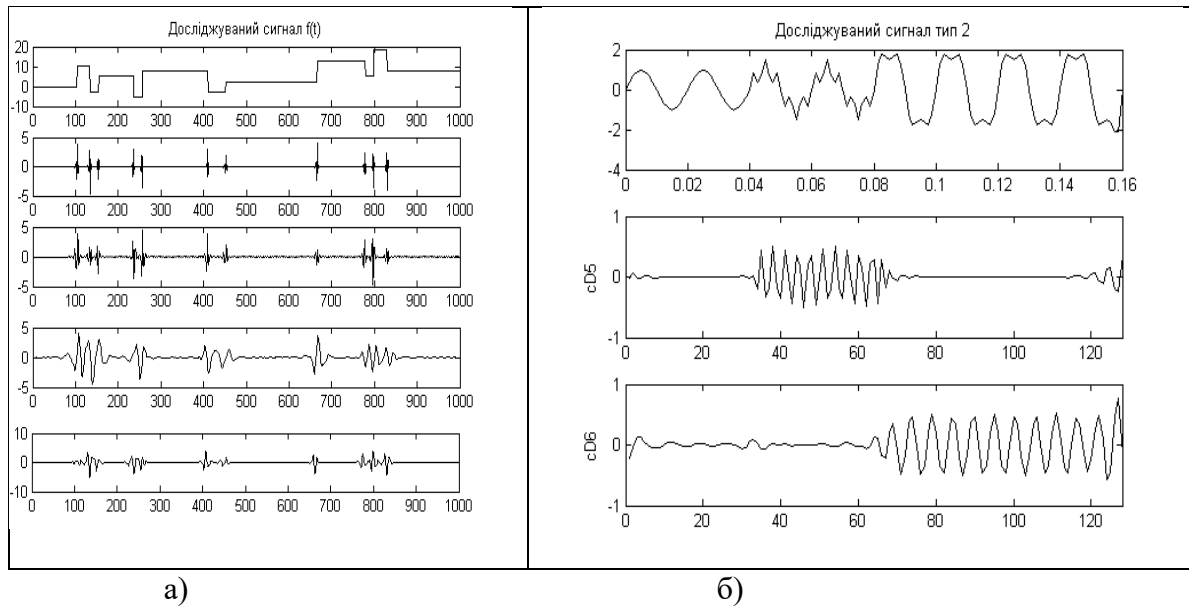


Рисунок 2 – Результати проведення вейвлет-аналізу для сигналів на рис. cD1 – cD4 – деталізуючі коефіцієнти вейвлет-перетворення першого – четвертого рівня ($j =$ від 1 до 4)

Результати Фур'є-аналізу свідчать про наявність аномалій у сигналі (рис. 1 а) та наявність третьої та п'ятої гармоніки (рис. 1 б), але без ідентифікації часу їх виникнення та тривалості. Результати вейвлет-аналізу, які представлені на рис. 2 а, показують наступне. Значення вейвлет-коефіцієнтів першого рівня вейвлет-аналізу ($Wf(u,21)$) – $cD1$ свідчать про наявність аномалій у сигналі, характеризують час їх виникнення та тривалість. Зменшення масштабу вейвлет-перетворення дозволяє деталізувати аномалії ($cD2$ – $cD4$). Рівень розкладання залежить від частоти дискретизації, яка обирається відповідно до теореми Котельникова. У нашому випадку при частоті дискретизації 12,8 кГц маємо 1024 дискретних значень, що відповідає рівню вейвлет-декомпозиції $j = \log(1024) = 7$. Аналіз рис. 2 б показує не тільки наявність у сигналі третьої та п'ятої гармоніки (частотний діапазон $cD5$ відповідає 200 – 400 Гц, а $cD6$ - 100 – 200 Гц), а і їх тривалість.

Таким чином застосування вейвлет-перетворення дозволяє виявити час виникнення спотворень сигналу, та їх тривалість за рахунок порівневого послідовного зменшення масштабу і тим самим розбиття сигналу на частотні піддіапазони.

Список використаної літератури

1. Волошко А.В. Выполнение гармонического анализа с помощью вейвлет преобразования//Электронное моделирование. – 2012. – « 4. – С. 65 – 77.
2. Осипов Д.С. Модели и методы вейвлет анализа несинусоидальных нестационарных режимов электрических сетей 0,4–110 кв. – 2018 - 306 с.

УДК 621.311

Владиченко В.В., магістрант
Науковий керівник: Замулко А.І. к.т.н., доцент
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
КПІ ім.Ігоря Сікорського

ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ В СУЧАСНИХ ПОЛІТИЧНИХ УМОВАХ

Анотація - В статті розглядається напрями підвищення енергетичної ефективності та раціонального використання енергетичних ресурсів управлінь магістральних газопроводів, з метою інтеграції в європейський енергетичний простір. Розглядається та описується структура газотранспортної системи України, заходи щодо енергозбереження на базі найбільш ефективних і сучасних технологій. Основна увага сконцентрована на пошуку альтернативних джерел енергоресурсів для транспортування газу, а саме використання електродвигунних газоперекачувальних агрегатів. За результатами аналізу встановлено, що використання електродвигунних газоперекачувальних агрегатів є досить перспективним напрямом дослідження, а також проаналізовано переваги та недоліки даної системи.

Ключові слова: газотранспортна система України, газоперекачувальний агрегат, енергозбереження, транспортування, природний газ, компресорна станція, електроенергія.

Abstract - The article considers the areas of energy efficiency and rational use of energy resources of the main gas pipelines, in order to integrate into the European energy space. The structure of the gas transmission system of Ukraine, energy saving measures based on the most efficient and modern technologies are considered and described. The main focus is on finding alternative sources of energy for gas transportation, namely the use of electric gas pumping units. According to the results of the analysis it is established that the use of electric gas pumping units is a very promising area of research, as well as analyzed the advantages and disadvantages of this system.

Keywords: gas transmission system of Ukraine, gas pumping unit, energy saving, transportation, natural gas, compressor station.

Вступ. Географічно Україна розташована між наймогутнішими газовидобувними регіонами та користувачами газу у світовому масштабі та є однією з найбільших транзитних країн світу. Україна має достатньо ресурсів та конкурентних переваг для того, щоб стати енергонезалежною та самодостатньою державою. На шляху до цієї мети постає стратегічно важливе завдання — інтеграція в європейський енергетичний простір. Робота у цьому напрямі спільно з країнами ЄС ставить ряд вимог до України, зокрема до її газотранспортної системи (ГТС), адже на газовому ринку ЄС вітчизняна інфраструктура не є достатньо конкурентоспроможною.

Енергетична незалежність не може бути досягнута без активної реалізації програм енергозбереження. Україна вирізняється надмірним енергоспоживанням, рівень якого значно перевищує відповідні показники розвинутих країн. Висока енергоемність ВВП зумовлена дією багатьох чинників, серед яких головний – це масове використання у виробництві морально і фізично застарілого обладнання з низьким ККД. Критичні нераціональні втрати мають місце у процесі виробництва і під час транспортування

безпосередньо палива, тепла, енергії. Вдосконалення системи газопроводів є однією зі складових успішного економічного розвитку України, і одним із шляхів такого вдосконалення є вирішення проблеми ефективності використання енергоресурсів на підприємствах транспортування газу.

Мета та завдання дослідження. Дослідити актуальний стан газотранспортної системи України, з метою виявлення оптимальних шляхів підвищення енергетичної ефективності газотранспортної системи України. Дослідження факторів, що впливають на конкурентоспроможність газотранспортної системи України, підвищення яких є підґрунтям для інтеграції в європейський енергетичний простір.

Матеріал і результати досліджень.

ГТС України включає: 702 одиниці газоперекачувальних агрегатів (ГПА), у тому числі з газотурбінним приводом – 448 (63% від загальної кількості), з електроприводом – 158 (23%), газомотокомпресорів – 96 (14%), загальною потужністю 5440 МВт, які розміщені на 72 компресорних станціях, у складі яких знаходиться 110 компресорних цехів. По всій довжині газопроводу рівномірно (кожні 100–150 км) розподілені компресорні станції, які виконують функцію підтримання необхідного тиску та швидкості руху газу в трубі (оскільки через тертя газу до стінок труби два останні показники через велику протяжність газопроводів знижуються). Компресори підтримують тиск (а відповідно і пропускну здатність газопроводу), додаючи потрібний об’єм газу. Основні параметри газотранспортної системи України наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Основні параметри газотранспортної системи України

Параметри ГТС	Одиниця виміру	Кількість
Довжина газопроводів, всього в т.ч.	тис. км	38,5
магістральних газопроводів		22,1
Пропускна здатність ГТС:		
на вході	млрд. м ³ /рік	287,7
на виході		178,5
Компресорні станції (КС)	шт.	72
Компресорні цехи	шт.	110
Газоперекачувальні агрегати	шт.	702
Потужність компресорних станцій	МВт	5 440
Газорозподільні станції (ГРС)	шт.	1389
Підземні сховища газу (ПСГ)	шт.	12
Загальна активність ПСГ	млрд. м ³	31
Кількість працюючих	тис. чол.	28,0

Газотранспортна система України (Рисунок 1.) сполучає основних видобувачів з основними споживачами. Загроза побудови газопроводів в обхід України вимагає від нашої ГТС підвищення конкурентоспроможності, що може бути забезпечено шляхом впровадження енергозберігаючих заходів, і, як наслідок, скорочення енергомісткості

транспортування газу, зменшення собівартості та збільшення прибутків.

Трубопровідний транспорт, як сфера матеріального виробництва, пов'язаний із значними енерговитратами. Для переміщення газу використовується енергія, що отримується від спалювання газу в газових турбінах, та частка використовується на електропровідних ГПА. Найбільшу частку у витратах енергоресурсів становлять витрати газу на виробничотехнологічні потреби - в середньому 50%, інші частки припадають на технічну воду та електроенергію. Тому основні резерви зниження витрат на енергоспоживання слід шукати у скороченні витрат газу на виробничо-технологічні потреби.

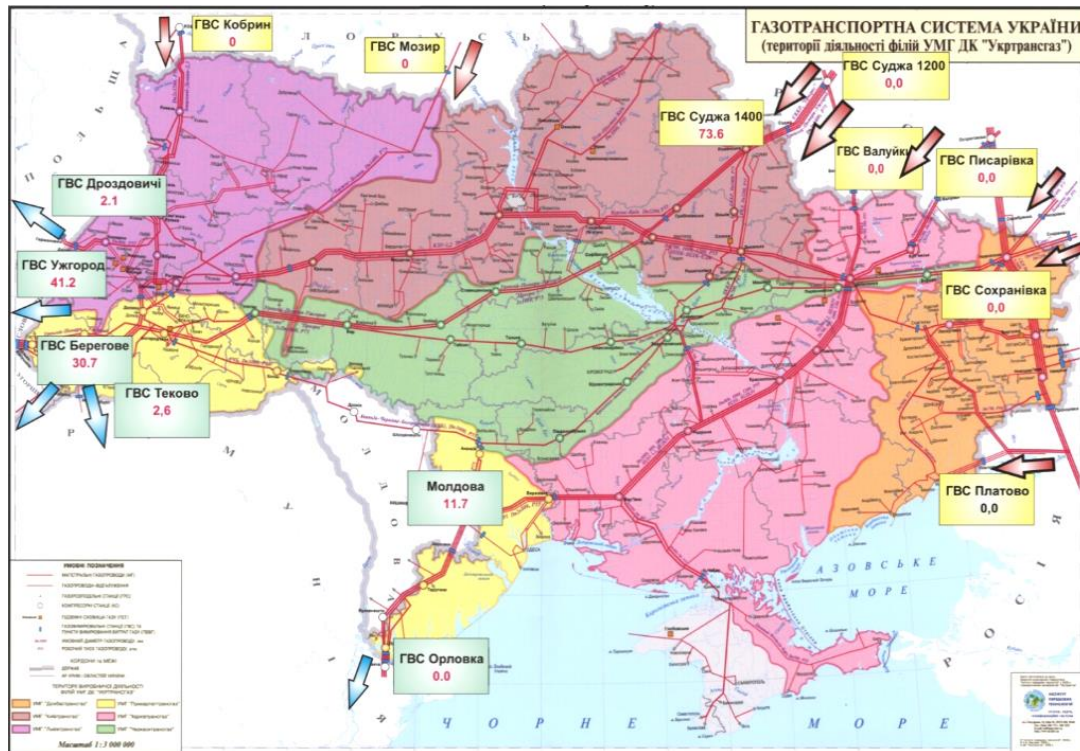


Рисунок 1 - Газотранспортна система України

Газотурбінні ГПА (загальною потужністю 4,3 млн. кВт) споживають на власні потреби близько 4,5 млрд. м³ газу на рік, а з вихлопними газами вони викидають понад $108 \cdot 10^9$ МДж теплоти. Щорічно всі КС споживають приблизно 1,5 млрд. кВт-год електроенергії. Близько 16% парку газотурбінних ГПА вже виробили свій моторесурс, близько 50% таких ГПА фізично і морально застаріли, мають порівняно низький ефективний ККД – 24-26%, незадовільні екологічні характеристики за рівнем шуму і концентрацією шкідливих (CO₂) та токсичних (NO_x) теплових викидів з вихлопними газами ГПА у навколишнє середовище.

Проблема енергозбереження при транспортуванні газу пов'язана з розробленням та реалізацією програм реконструкції та модернізації, оскільки технічне переозброєння обладнання магістральних газопроводів є найбільш ефективним інструментом виведення ГТС на сучасний рівень енергоємності.

Резерви енергозбереження ГТС України можна розділити на:

- технологічні системні, які реалізуються за рахунок оптимального розподілення навантаження між елементами ГТС, перш за все – розподілення газопотоків між

окремими газопроводами та розподілення навантаження між КС кожного газопроводу;

- технологічні локальні, пов'язані з покращанням технологічного стану обладнання та оптимізацією режимів роботи окремих КС або лінійних ділянок;
- організаційно-технічні, які відображають потенціал економії техніко-енергетичних ресурсів на підставі проведення відповідних науково-дослідних робіт та дослідно-конструкторських робіт, удосконалення контролю та обліку техніко-енергетичних ресурсів, удосконалення засобів контролю технологічних параметрів, які впливають на рівень енерговитрат, аналізу та оптимізації експлуатаційних режимів та ін.

На базі найбільш ефективних і сучасних технологій, пропонуються такі заходи щодо енергозбереження і енергопродуктивності ГТС України:

- Використовувати електроприводні замість газопровідних ГПА. Оскільки значні витрати на енергоресурси припадають на газ для технологічних потреб, то доцільно було б використати альтернативний енергоресурс, таким може бути електроенергія;
- Оптимізація сумісної роботи агрегатів компресорного цеху за критерієм мінімальних витрат на компримування газу;
- Оптимізація режиму роботи компресорного цеху за критерієм мінімуму витрати паливного газу;
- Зменшення витрат газу за рахунок заміни підігрівачів газу на ГРС турбодетандерними установками;
- Оптимізація ремонтного обслуговування обладнання КС та автомобільних газонаповнювальних КС за критерієм мінімізації енерговитрат;
- Підвищення ефективності роботи КС на основі використання водневого теплоутилізаційного контура для отримання механічної енергії та холоду;
- Аналіз резервів енергозаощадження при транспортуванні газу;
- Впровадження енергоощадних установок катодного захисту магістральних газопроводів;
- Впровадження комплексної системи обліку газу КС для забезпечення реалізації енергоощадних технологій;
- Підвищення енергоефективності допоміжного обладнання компресорних станцій;
- Економія енергоресурсів за рахунок впровадження на газокompресорних станціях систем автоматизації установок осушення газу;
- Підвищення енергоефективності ГТС шляхом удосконалення математичних та програмних засобів підтримки прийняття рішень в системах оперативно-диспетчерського керування.

В світлі останніх подій, які відбуваються на енергетичному ринку України, все більша увага приділяється економії і мінімізації витрат. Багато конфліктних ситуацій виникало через так званий «несанкціонований відбір» російського газу як палива для його транспортування на захід. Це вимагає пошуку альтернативних джерел енергоресурсів для транспортування газу. Оскільки значні витрати на енергоресурси припадають на газ для технологічних потреб, то доцільно було б використати альтернативний енергоресурс, таким може бути електроенергія. Замість газопровідних ГПА слід використовувати електроприводні. Історично склалося, що перші ГПА були електроприводними. Так зокрема в 1964 р. частка електроприводних ГПА в СРСР складала 60,6%.

Таблиця 2 – Переваги і недоліки природного газу і електроенергії як палива для ГПА

Вид палива	Природний газ	Електроенергія
Переваги	<ul style="list-style-type: none"> зручність використання природного газу, що транспортується, як енергетичного джерела для роботи ГПА 	<ul style="list-style-type: none"> високий ККД електроприводних ГПА
		<ul style="list-style-type: none"> низька вартість ремонтних робіт можливість легкого запуску і зупинки двигуна
		<ul style="list-style-type: none"> можливість використання для споживання електроенергії в нічний час (для відбору зайвих потужностей електростанцій)
Недоліки	<ul style="list-style-type: none"> низький ККД газотурбінних двигунів 	<ul style="list-style-type: none"> потреба у закуповуванні електроенергії в сторонніх підприємств
	<ul style="list-style-type: none"> швидше зношування деталей і потреба у високовартісних ремонтах 	<ul style="list-style-type: none"> потреба в силовій мережі електропостачання
	<ul style="list-style-type: none"> важкість запуску і зупинки двигуна 	

Порівняємо енергетичну ефективність роботи газотурбінних та електроприводних газоперекачувальних агрегатів. Для порівняння економічної ефективності газотурбінних та електроприводних газоперекачувальних агрегатів скористаємось собівартістю 1 год. роботи газотурбінного ГПА-25с та електроприводного ЕГПА-25рч. У фізиці робота – величина, яка характеризує перетворення енергії з одного виду в інший, що відбувається в даній фізичній системі.

Нормативна витрата паливного газу на ГПА-25с складає 9000 м³/год.

Нормативна витрата електроенергії на ЕГПА-25рч складає 25 МВт·год.

Враховуючи енергетичне відображення виконаної роботи, приведемо їх до спільних величин. Теплотворна здатність природного газу складає 32,7 МДж/м³.

Отже, для роботи одного агрегату ГПА-25с протягом години за нормами витрачається енергія в розмірі 294 300 МДж. Для переведення електроенергії в виконану роботу використовується співвідношення 1 кВт·год = 3,6 МДж. Отже, для роботи одного агрегату ЕГПА-25рч протягом години за нормами витрачається 90 000 МДж енергії.

Отже, як видно з даних розрахунків, для виконання однієї і тієї ж роботи газотурбінного агрегату ГПА-25с потрібно витрати приблизно в 3,27 рази більше енергії, ніж на електроприводному агрегаті ЕГПА-25рч. Також приблизно те ж саме відхилення можна отримати, порівнявши коефіцієнти корисної дії газоперекачувальних агрегатів. Адже вражає їх різниця щодо газотурбінних і електроприводних агрегатів. Коефіцієнти корисної дії газотурбінних ГПА всередньому складають 27-32% (ККД сучасних ГПА досягають 36% і більше), в той час як електроприводних – 93–98%.

Природний газ і електроенергія як паливо для ГПА володіють певними перевагами і недоліками. До переваг природного газу належить зручність його використання як енергетичного джерела для роботи ГПА, а до недоліків – низький ККД газотурбінних двигунів, швидше зношування деталей і потреба у високовартісних ремонтах, труднощі із запуском і зупинкою двигуна. Перевагами електроенергії є високий ККД

електроприводних ГПА, низька вартість їх ремонтних робіт, можливість легкого запуску і зупинки двигуна, а також можливість використання для споживання електроенергії в нічний час (для відбору лишніх потужностей електростанцій), недоліками – потреба закуповувати електроенергію в сторонніх організацій і в силовій мережі електропостачання.

Висновок. Висока енергоємність транспортування газу негативно впливає на конкурентоспроможність ГТС України. Необхідно впроваджувати енергозберігаючі заходи і технології на підприємствах газотранспортної галузі. Наша газотранспортна система потребує модернізації і реконструкції.

Зниження енергомісткості транспортованого газу та підвищення конкурентоспроможності ГТС можна досягти шляхом заміни газопровідних ГПА на електропроводні, які є більш енергоефективними економічними, екологічними та не залежать від російського газу як палива для його транспортування на захід. Це дасть змогу зробити газотранспортну систему більш незалежною.

Список використаних джерел

1. Аналіз впливу змін цін енергоресурсів на вибір джерела енергії для ГПА/ Чучук Ю.В. // Наукові записки. Серія «Економіка» – 2012. С. 168–172.
2. Аналіз економічної і енергетичної ефективності газотурбінних і електроприводних газоперекачувальних агрегатів (ГПА) / В.К.Орлова, Ю.В.Чучук // Науковий вісник ІФНТУНГ– 2010. – С. 113–116.
3. Використання електроприводних ГПА — джерело зниження енерговитратності магістрального транспортування газу / В.І. Мілевська // Науковий вісник ІФНТУНГ – 2010. – С. 168–172.
4. Комплекс інвестиційних проектів з економії енергоресурсів в газотранспортній системі України / В.В.Колодяжний, В.В.Дубровський, В.Г.Старовойтов // Нафтогазова енергетика – 2007. – С. 31–34.
5. Оцінка конкурентоспроможності газотранспортної системи України / С. М. Савченко, В. В. Ткач // Економіка та держава – 2018. С. 93–96.
6. Проблеми енергозбереження газотранспортних підприємств в умовах кризи / М.Д.Степ'юк, Л.Т.Гораль, В.І.Мілевська // Науковий вісник ІФНТУНГ – 2009. – С. 136–139.
7. Резерви енерго-ресурсозбереження і нові технології для їх використання на компресорних станціях магістральних газопроводів / Р.М.Говдяк, Г.М.Любчик, Л.Б.Чабанович, О.Г.Гриник, Б.І.Шелковський // Нафтогазова енергетика – 2007. – С. 35–45.
8. Шляхи підвищення енергетичної ефективності газотранспортної системи України / М.Б. Кузик, М.О. Карпаш // Нафтогазова енергетика – 2018. С. 40–43.

Гоєнко А.О.

Кафедра електропостачання

Науковий керівник: канд. техн. наук, доцент Чернявський А.В.

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ЕНЕРГОМЕНЕДЖЕРА ВИРОБНИЧОЇ КОМПАНІЇ

Анотація. Актуальність обраної теми зумовлено необхідністю в якісному програмному забезпеченні енергоменеджерів виробничих компаній. Метою статті є огляд сучасних програм які допомагають якісно та ефективно виконувати завдання енергоменеджера. Кількість використаних наукових джерел – 10, кількість рисунків – 1.

Ключові слова: , виробничі компанії, енергоменеджмент, програмне забезпечення.

Abstract The relevance of the chosen topic is due to the need for quality software for energy managers of manufacturing companies. The purpose of the article is to review modern programs that help to efficiently and effectively perform the tasks of an energy manager. Number of used scientific sources - 10, number of drawings - 1.

Keywords: energy management, manufacturing companie, software.

Вступ. В сучасних реаліях важко уявити будь-яку діяльність яку б не спрощувало використання сучасного програмного забезпечення(ПЗ), особливо коли мова йде про інженерів. Зазвичай діяльність енергоменеджера пов'язана з великою кількістю розрахунків, необхідністю визначати економічні параметри проєктів, моделювати можливі заходи з енергозбереження і навіть проєктувати системи тепло- та електропостачання. Кожен з цих видів діяльності може бути суттєво спрощений за рахунок використання програмного забезпечення.

Мета та задачі досліджень. Метою роботи є висвітлення програмного забезпечення, яке може допомогти вирішувати задачі виробничого енергоменеджера. Для досягнення мети в роботі були поставлені та вирішені наступні задачі досліджень:

- проведення аналізу діяльності енергоменеджера і визначення спектру його задач на виробничому підприємстві;
- підбір програмного забезпечення, яке б відповідало сучасним вимогам і викликам енергоменеджера;

Результати. Енергетичний менеджмент – це діяльність, що спрямована на забезпечення раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів на підприємстві або в муніципалітетах, що дозволяє значно оптимізувати обсяги енерговитрат[1]. Важливим елементом роботи енергоменеджера є впровадження системи енергоменеджменту, а ефективного виконання комплексу робіт по розробленню і впровадженню СЕнМ неможливо без наявності відповідного забезпечення(рисунок 1):

- організаційного;
- технічного;
- фінансового;
- програмного;
- інформаційного;
- лінгвістичного;
- математичного;
- ресурсного;
- правового.

В рамках статті цікавість становить програмне забезпечення діяльності, відповідно до [2] посадових обов'язків енергоменеджера належать:

- збір та систематизація даних про об'єкти, що споживають енергоресурси;
- збір та систематизація даних про вузли обліку і точки вводу енергоносіїв на об'єктах.;
- збір та аналіз даних про споживання енергоресурсів;
- збір та аналіз даних про заходи з підвищення енергоефективності, які впроваджувалися, впроваджуються та заплановані до впровадження;
- підготовка пропозицій щодо впровадження заходів з підвищення енергоефективності;
- підготовка пропозицій щодо стимулювання ощадливого енерговикористання та навчання персоналу;

Міністерство енергетики США[3] надає рекомендації по програмному забезпеченні енергоменеджменту які умовно можна поділити на інструменти на рівні підприємства, вони стосуються енергетичного менеджменту та відстеженням енергоефективності та на рівні системи, що включає в себе інструменти розрахунку і моделювання інженерних систем (рисуюнок 1).



Рисуюнок 1 – Інструменти енергоменеджера

Задача підготовки пропозицій щодо впровадження заходів передбачає розрахунок можливих варіантів заміни, модернізації, оновлення, тощо різних систем підприємства[4] Програма MEASUR дозволяє вирішити ці задачі, так як дає можливість швидко розрахувати як енергетичні показники можливих заходів з енергозбереження так і економічних.

Детальніше розглянемо системний інструмент MEASUR[5] - це пакет, що включає набір ключових програмних платформ і понад 70 калькуляторів. Загалом ці інструменти можуть допомогти виробникам підвищити ефективність промислових систем і визначити потенційні можливості для економії. Програмні платформи в MEASUR є основними оновленнями інструментів оцінки системи, розроблених в 1990-х роках. Нові інструменти більш зручні та сумісні з новішими операційними системами. Поєднуючи

інструменти оцінки системи з калькуляторами на одній платформі, MEASUR дозволяє підвищити рівень взаємодії між різними інструментами. MEASUR безкоштовний у використанні та доступний у середовищі з відкритим кодом. Програмні інструменти MEASUR включають інструменти оцінки промислових систем, здатні виконувати енергетичний аналіз інвестиційного рівня разом із простим обладнанням.

З зростанням актуальності використання альтернативних джерел енергії в якості власної генерації, гостро стає питання розрахунку можливостей встановлення альтернативних потужностей таких як сонячні, вітрові електростанції, використання біомаси, тощо. Вирішення цих задач може забезпечити програма RETScreen[6] – це пакет з відновлюваної енергії та енергоефективності, розроблений урядом Канади. Програма RETScreen Expert була представлена в 2016 році на Міністерській конференції з чистої енергетики у Сан-Франциско. Програмне забезпечення дозволяє комплексно ідентифікувати, оцінювати й оптимізувати технічну й фінансову життєздатність потенційних проєктів з відновлюваної енергії та енергоефективності, а також вимірювати й перевіряти фактичну ефективність об'єктів і визначати можливості зі збереження та виробництва енергії.

Під час енергетичного аналізу підприємства необхідно будувати базові лінії енергоспоживання, та визначати показники(індикатори) енергоефективності. Зазвичай це досить трудомісткий процес, пов'язаний зі збором та аналізом даних. Вирішення цієї задачі може забезпечити «Індикатор енергетичної ефективності (EnPI)»[7] — це інструмент, заснований на регресійному аналізі, розроблений Управлінням передового виробництва Міністерства енергетики США. Інструмент застосовується до підприємств у виробничому секторі, комерційних будівлях, федеральних агентствах, центрах обробки даних або за його межами. Інструмент дозволяє створювати моделі лінійної регресії, враховуючи при цьому багато факторів. Метод розрахунку інструменту при використанні фактичних значень виглядає наступним чином[3]:

Енергоємність:

$$\text{Виробнича } EI_{CY} = \frac{EC}{\text{Загальне виробництво}}$$
$$\text{Будівельна } EI_{CY} = \frac{EC}{\text{Загальна площа виробництва}}$$

де EC - Фактичне джерело (первинне) споживання енергії (MMBtu),
EI - Енергоємність або енергія, нормалізована для відповідних факторів (MMBtu/Од Виробництво або MMBtu/кв. фут),

CY – Поточний рік;

Сумарне покращення (повна зміна) енергоємності порівняно з базовим роком (%):

При використанні виробничої енергоємності:

$$CI_{CY} = (\text{Виробнича } EI_{BY} - \text{Виробнича } EI_{CY}) / \text{Виробнича } EI_{BY}$$

При використанні енергоємності будівлі:

$$CI_{CY} = (\text{Будівельна } EI_{BY} - \text{Будівельна } EI_{CY}) / \text{Будівельна } EI_{BY}$$

Де BY – Базовий рік,

CI - Сумарне покращення (повна зміна) енергоємності порівняно з базовим роком (%);

Щорічне покращення (щорічна зміна) енергоємності за поточний рік (%):

$$AI_{BY} = CI_{CY} - CI_{PY}$$

Де AI – Щорічне покращення (щорічна зміна) енергоємності за поточний рік (%);

Річна економія (загальна економія енергії) з базового року (MMBtu/рік) Наведене

нижче рівняння використовується для розрахунку економії для кожного типу енергії (наприклад, електроенергії, природного газу тощо) і для загальної суми всіх джерел енергії, введених у інструмент:

$$\text{Річна економія}_{CY} = EC_{BY} - EC_{CY}$$

Нові енергозбереження за поточний рік (MMBtu/рік):

$$\text{Нове енергозбереження}_{CY} = \text{Річна економія}_{CY} - \text{Річна економія}_{PY}$$

Задача збору, систематизації та аналізу енергетичних даних, а також побудову енергетичних потоків систем: теплопостачання, електропостачання, стисненого повітря, виробництва і доставки пари, тощо, є важливою складовою діяльності енергоменеджера[8]. До задачі роботи з даними можна віднести і створення звітів, дану задачу може суттєво спростити Plant Energy Profiler Excel, або PEREx[9], — це програмний інструмент на основі Excel, наданий Міністерством енергетики США, щоб допомогти керівникам промислових підприємств у Сполучених Штатах визначити, як енергія купується та споживається на їх заводі, а також визначити потенційну економію енергії та витрат. PEREx розроблено таким чином, щоб користувачі могли створити профіль заводу приблизно за годину. PEREx надає користувачам налаштований звіт для друку, який показує подробиці закупівлі енергії, споживану енергію, потенційну вартість та економію енергії, а також список наступних кроків, які можна виконати для економії енергії. PEREx визначає потенційну економію для різного кінцевого обладнання на заводі, задаючи ряд питань про налаштування, робочі параметри та методи обслуговування. Також до задач пов'язаних зі збором даних можна додати Інструмент Energy Footprint[10], розроблений Міністерством енергетики США, що допомагає об'єктам відстежувати споживання енергії, фактори, пов'язані з використанням енергії, і значне кінцеве споживання енергії.

Висновок. Зростання складності розрахунків, процесу збору, аналізу та систематизації даних підштовхують до використання спеціалізованого програмного забезпечення, яке може суттєво підвищити ефективність роботи енергоменеджера. Так як спектр діяльності виробничого енергоменеджера досить широкий, неможливо однією програмою покрити всі задачі, тому було запропоновано програмне забезпечення, яке б допомогло вирішувати такі задачі: надання обґрунтованих пропозицій, щодо впровадження заходів з енергозбереження – програма MEASUR Та RETScreen, встановлення базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності – EnPI, робота з даними та побудова енергетичних потоків – PEREx та Energy Footprint

Перелік використаних джерел:

1. Керівництво з впровадження системи енергетичного менеджменту відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 50001:2018 / А. Чернявський, Є. Іншеков, О. Соловей, О. Бориченко, П. Пертко // За загальною редакцією Є. Іншекова, А. Чернявського. - К.: Проєкт UNIDO/GEF «Впровадження стандарту систем енергоменеджменту в промисловості України», 2021. – 137 с.
2. Посібник енергоменеджера, В. Литвин, О. Гончарук, Н. Власюк, 2019. – 13с.
3. Програмне забезпечення енергоменеджера від Міністерства енергетики США. URL: <https://www.energy.gov/eere/amo/software-tools>.

4. Практичний посібник з енергетичного аудиту промислових підприємств, А. Чернявський, А. Сафьянц, Н. Усенко, О. Соловей, О. Бориченко, П. Пертко, Ю. Шишко, А. Гоенко// За загальною редакцією Н. Усенко та А. Чернявського. – К.: Проект «Консультавання підприємств щодо енергоефективності» Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH за дорученням Федерального міністерства економічного співробітництва та розвитку Німеччини (BMZ), 2020.
5. Програмне забезпечення MEASUR, URL: <https://www.energy.gov/eere/amo/measur>.
6. Програмне забезпечення RETScreen, URL: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465>.
7. Програмне забезпечення EnPI, URL: <https://www.energy.gov/eere/amo/articles/energy-performance-indicator-tool>.
8. Енергетичний менеджмент, Ю. Дзядкевич, М. Буряк, Р. Розум, 2010.
9. Програмне забезпечення PEPEX, URL: <https://www.energy.gov/eere/amo/downloads/plant-energy-profiler-excel>.
10. Програмне забезпечення Manufacturing Energy and Carbon Footprints, URL: <https://www.energy.gov/eere/amo/manufacturing-energy-and-carbon-footprints-2018-mecs>.

УДК 621.311

Прищепя Я.О., магістрант

Науковий керівник: Замулко А.І. к.т.н., доцент
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ НА ОБ'ЄКТАХ ВОДОПРОВІДНО-КАНАЛІЗАЦІЙНОГО ГОСПОДАРСТВА

Анотація: В роботі досліджено можливості впровадження системи енергетичного менеджменту в комунальному підприємстві водопровідно-каналізаційного господарства. Основна увага сконцентрована на особливостях впровадження системи енергетичного менеджменту за стандартом ISO 50001:2018. Створення оцінки стану існуючої системи енергетичного менеджменту та розгляд технологічної схеми комунального підприємства дозволить більш глибоко встановити загальні проблеми об'єкта.

Ключові слова: система енергетичного менеджменту, комунальне підприємство, водопостачання, водовідвід, технологічна схема

Abstract: The possibilities of introduction of the energy management system in the municipal enterprise of water supply and sewerage are investigated in the work. The main attention is focused on the peculiarities of the implementation of the energy management system according to the ISO 50001: 2018 standard. Assessing the state of the existing energy management system and reviewing the utility's technological scheme will help to establish the overall problems of the facility.

Key words: energy management system, communal enterprise, water supply, drainage, technological scheme

Вступ

Однією з важливих властивостей енергії, як ресурсу, є те, що організація-споживач енергії може керувати та контролювати ефективність використання цієї енергії. А це, в свою чергу, допомагає збільшити прибуток організації за рахунок зниження витрат на її придбання.

Управління енергоспоживанням є важливою складовою в будь-якій організації, так як споживання енергії має значну вартісну складову в більшості компаній, а значить і впливають на собівартість продукції і конкурентоспроможність на ринку. Тому управління енергоспоживанням, а саме постійне підвищення ефективності використання енергії, дає змогу отримати не тільки фінансові переваги, але й матиме прямий вплив на зниження викидів парникових газів, підвищення культури та якості виконання робіт, з урахуванням безпеки для працівників. Реалізація якісного та ефективного управління споживання енергією найкраще здійснюється під управлінням системи відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 50001:2018.

Мета та завдання

Виявлення особливостей впровадження системи енергетичного менеджменту в комунальному підприємстві водопровідно-каналізаційного господарства «Бориспільводоканал» відповідно до стандарту ISO 50001:2018. Основні завдання які ставляться в даному дослідженні:

- дослідження технології та технологічної схеми водопостачання та водовідведення міста;
- оцінка відповідності стану існуючої на об'єкті СЕНМ вимогам ДСТУ ISO 50001:2018;
- визначення базового рівня споживання електроенергії та показників енергоефективності.

Матеріал і результати досліджень

КП ВКГ “Бориспільводоканал” [2] забезпечує питною водою населення м. Бориспіль, комунально-побутові та промислові підприємства, здійснює експлуатацію об'єктів і споруд водопроводу та каналізації, відводить стоки, контролює якість питної води і веде контроль за використанням лімітів водоспоживання та водовідведення.

Джерелом водопостачання м. Бориспіль є підземні води. 26 артезіанських свердловин знаходяться в межах міста та мають державні акти на землю та подають воду до водозабірних вузлів.

До водопровідних споруд, які обслуговуються КП ВКГ “Бориспільводоканал” належать:

- водозабори підземних вод, насосні станції;
- резервуари чистої води для зберігання запасів води;
- водопровідні мережі

Водопостачання та водовідвід. У місті Бориспіль знаходяться водозабори з глибинними свердловинами, на кожному водозабору розміщені очисні пристрої та підземні резервуарами для збереження води. Після забору води з підземних джерел за допомогою насосів тиску, вода знезаражується за допомогою спеціальних ультрафіолетових ламп, які вбивають бактерії. Після цього вода проходить фільтрацію та потрапляє у резервуар для подальшого надходження у мережу питної води.

Після потрапляння до каналізації вода по трубах надходить до каналізаційної станції, звідки потрапляє у каналізаційну очисну споруду, де проходить через сміттєзбірник та знезаражується. Після цього вода використовується для поливу полів влітку або зливається в річку зимою.

Виходячи з технологічних схем зроблений висновок, що основним споживачем на комунальному підприємстві є саме електродвигуни.

Загалом на комунальному підприємстві встановлено 122 електродвигуна, із загальною потужністю 2243,9 кВт. Обладнання, яке встановлено на станціях є застарілим так як воно базувалось на об'ємах споживання тих років.

Обсяги споживання електричної енергії є досить великими. Є тенденція до зростання споживання електричної енергії з кожним роком із-за приєднання нових споживачів.

Оцінка відповідності стану. Впровадження стандарту ISO 50001 передбачають виконання таких етапів [1]:

- на початковому етапі слід провести аналіз існуючої СЕНМ на підприємстві та її відповідність вимогам стандарту. На даному етапі проводяться консультації щодо встановлення енергетичної політики організації;
- на наступному етапі відбувається навчання групи енергетичного менеджменту відповідно до вимог стандарту;
- створення документації СЕНМ. Даний стандарт містить конкретні вказівки на те, по відношенню до якої задокументованої інформації потрібно, щоб вона розроблялася, впроваджувалася і підтримувалася в робочому стані і зберігалася;
- відбувається внутрішній аудит СЕНМ та усуваються всі недоліки та зауваження

(якщо такі наявні). Результатом такого аналізу є не просто звіт з енергетичного аудиту, а визначенні і проранжованні можливості для підвищення рівня ефективності;
-підготовка до сертифікації та супровід при проведенні аудиту.

Для створення поглибленої оцінки відповідності стану існуючої на комунальному підприємстві системи енергетичного менеджменту вимогам зазначеного стандарту було проведено відповідне опитування керівного складу комунального підприємства. В таблиці існують оцінки від 0 до 5, де 0 – дуже поганий (низький) рівень, а 5 – чудово.

За результатами проведення експертної оцінки, встановлено, що підприємство знаходиться на перших кроках по запровадженню системи енергетичного менеджменту. Первинним завданням для підприємства є створення певного плану дій для того щоб вони змогли оцінити витрати енергетичних ресурсів. Після створення плану дій пріоритетним буде провести внутрішній аудит так як це дозволить знайти слабкі зони в енергетичному споживанні підприємства та створити основу для подальших дій.

Визначення базового рівня. Оцінка базового рівня дозволяє нам поставити перші кроки до впровадження системи енергетичного менеджменту на підприємстві.

Суттєві чинники, які впливають на споживання електроенергії: подача води, напір, години роботи насосу в день.

Проведено регресійний аналіз даних за допомогою Microsoft Excel. Встановлений рівень надійності становить 95%. Після першого регресійного аналізу жодна змінна відповідає заданій цілі ($P > 0,05$). Для більш точного розрахунку потрібно провести ще декілька аналізів. Так як параметр X_2 має найбільше значення P (виділено червоним), цей параметр у подальших ітераціях участь брати не буде. Після другого регресійного аналізу жодна відповідає заданій цілі ($P > 0,05$). Для більш точного розрахунку потрібно провести ще один аналізів. Так як параметр X_2 має найбільше значення P (виділено червоним), цей параметр у подальших ітераціях участь брати не буде. Після третього регресійного аналізу змінна X_1 (Q) відповідає заданій цілі ($P > 0,05$). Коефіцієнти які отримано за допомогою метода регресійного аналізу: $a = 192778,9$, $b = 13,8116$.

Перевірку нашого розрахунку за допомогою метода найменших квадратів: Знаходження коефіцієнти кореляції. За допомогою Excel та функції «КОРРЕЛ» виявлено два коефіцієнта кореляції між величинами Q та W , H та теж саме W , i та W . Отримано: $R_{W,Q} = 0,579$, $R_{W,H} = 0,212$, $R_{W,i} = 0,004$. Після порівняння їх по модулю зроблений висновок, що більший вплив на споживання потужності має параметр Q . За допомогою функції «СТАНДОТКЛОН», розрахували значення: $\sigma W = 16414,88$; $\sigma Q = 689,001$, також за допомогою функції «СРЗНАЧ» отримали середні значення $W = 251938,6$ кВт; $Q = 4283,333$:

$$b = 0,579 \cdot 16414,88 / 689,001 = 13,812;$$
$$a = 251938,6 - 13,812 \cdot 4283,333 = 192778,9.$$

Коефіцієнти повністю збігаються, отже були обрані вірні чинники та розрахунок проведено вірно. Математична модель базового рівня: $192778,9 + 13,812 \cdot Q$.

Встановлення базових ліній споживання паливно енергетичних ресурсів на підприємстві виконується для подальшого контролю та аналізу ефективності енерговикористання на об'єкті, що розглядається.

Висновки

В ході виконання роботи проведено розгляд комунального підприємства, огляд встановленого електричного обладнання та його технологічних схем задля кращого розуміння проблематики впровадження системи енергетичного менеджменту на підприємстві.

До основних особливостей при впровадженні СЕНМ на підприємстві можна віднести:

- значну розосередженість в межах міста об'єктів та енергетичного обладнання, що забезпечує технологічний процес;
- значну кількість обслуговуючого персоналу з різним ступенем обізнаності щодо енергетичної ефективності;
- соціальну важливість товарної продукції підприємства і вплив її вартості на усі життєві процеси міста.

Результати попередньої оцінки:

- заходи з енергозбереження реалізуються безсистемно;
- підприємство знаходиться на перших кроках із запровадження СЕМ;
- першочерговим є створення плану дій із запровадження СЕМ.

Список літератури

1. Керівництво з впровадження системи енергетичного менеджменту відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 50001:2018 / А. Чернявський, О. Бориченко та ін. // UNIDO – 2021. – С. 14-16.
2. Офіційний сайт комунального підприємства водопровідно-каналізаційного господарства «Бориспільводоканал». URL: <http://borispol-voda.com.ua/> (дата звернення: 26.05.2022).
3. Розен В.П., Соловей О.І., Чернявський А.В. Організаційно-методичні засади впровадження енергетичного менеджменту на підприємстві // в кн.: Стратегія енергозбереження в Україні: Аналітично-довідкові матеріали в 2-х томах: Механізми реалізації політики енергозбереження / За ред. В.А. Жовтянського, М.М. Кулика, Б.С. Стогнія. – К.: Академперіодика, 2006. – Т.2. – 600 с.
4. Розен В.П., Соловей А.И., Чернявський А.В. Разработка и внедрение системы энергетического менеджмента в производственных системах: проблемы и возможные пути их решения // Промелектро. №5. – 2007. – С.31-36.
5. ДСТУ ISO 15001:2018. Вимоги і керівництво з застосування. URL: <https://iso-management.com/wp-content/uploads/2018/10/ISO-50001-2018.pdf> (дата звернення: 26.05.2022).

УДК 621.311

Криворучко С.В., магістрант
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
КПІ ім.Ігоря Сікорського
Науковий керівник д-р техн. наук, професор Басок Борис Іванович.

ІННОВАЦІЙНІ РОЗРОБКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СВІТЛОПРОЗОРИХ КОНСТРУКЦІЙ

Статтю присвячено питанням актуальності теплоелектроактивних віконних конструкцій як спосіб підвищення енергоефективності світлопрозорих конструкцій, для яких питання енергозбереження є одним з основних шляхів для зниження витрат та підвищення конкурентоспроможності продукції. Сучасні технології на сьогоднішній день відкрили перед виробником можливість виготовлення енергоефективних вікон, які можуть дозволити в значній мірі скоротити втрати тепла.

Ключові слова: економія, енергоефективність, енергоспоживання, тепловтрати, електрообігрів.

The article is devoted to the relevance of thermoelectric window constructions as a way to increase the energy efficiency of translucent structures, for which the issue of energy saving is one of the main ways to reduce costs and increase product competitiveness. Today, modern technology has opened up the possibility for the manufacturer to produce energy-efficient windows, which can significantly reduce heat loss.

Keywords: savings, energy efficiency, energy consumption, heat loss, electric heating.

Вступ. В Україні понад 30 % кінцевої енергії споживається будинками. Енергоефективність для населення – це значне скорочення комунальних витрат, для країни – економія ресурсів. У житловому секторі найбільший внесок в енергозбереження може забезпечити модернізація системи опалення приміщень, збільшення частки централізованого теплопостачання, а також водонагрівального обладнання з можливим використанням сонячних колекторів. Економія енергії може бути досягнута також за рахунок використання енергоефективних приладів та сучасних засобів освітлення. В структурі енергозбереження в житловому секторі послуг більшу частку займає модернізація систем опалення приміщень. Проблема високого рівня енергоспоживання та необхідність підвищення енергоефективності є важливою для житлової сфери України, де рівень використання енергоресурсів особливо великий. Тому актуальним є впровадження технологій що підвищують енергетичну ефективність будівель та споруд

Мета та завдання дослідження. Дослідження та теоретичне обґрунтування світлопрозорих конструкцій як інноваційні розробки для підвищення енергоефективності.

Постановка завдання. Запропонувати нові конструктивні способи підвищення енергоефективності світлопрозорих конструкцій і виявити раціональні існуючі варіанти опалення приміщень

Викладення матеріалу і результати дослідження. Питання енергозбереження і енергоефективності з кожним роком стають усе більш актуальними для України не лише в контексті нинішньої ситуації постачань газу, але і загальних світових тенденцій.

Технології енергозбереження представлені не лише у будівництві, але і в інших галузях та порушують питання як збереження тепла, так і оптимізації інших ресурсів. В Україні з 08.07.2016 набули чинності нові вимоги ДБН В.2.6-31 2016{1} «Теплова ізоляція будівель», де, зокрема, передбачаються суворіші вимоги до теплоізоляційних характеристик світлопрозорих конструкцій, зі збільшенням мінімального коефіцієнта опору теплопередачі до $0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ для першої кліматичної зони.

Паралельно з погіршенням екологічної ситуації і зростанням цін на традиційні джерела енергії росте попит на нові можливості у будівельній сфері, розвиваються нові технології енергоефективного будівництва. Досвід Центральної Європи показав, що жорсткість

енергетичних норм, що висуваються до будівельних матеріалів{2}, що стимулює споживання енергозберігаючих склопакетів, що у свою чергу, веде до скорочення витрат на опалення. Для того, щоб віконний блок відповідав новим нормативам, найпростішим рішенням є включення до комплектації світлопрозорих конструкцій енергоефективних склопакетів. Саме однією з нових розробок у сфері будівництва вікон став так званий склопакет “з підігріванням”.

Вікна з підігрівом є новинкою для українського ринку: вони популярні не тільки в холодних регіонах, а й у південній частині країни. Система допомагає позбавити вікна від запотівання: взимку на них не буде утворюватися іній. Система нагрівання дозволяє заощадити тепло, зберігши його в приміщенні і вона вбудовується в конструкцію склопакета на етапі виробництва такої продукції.

Склопакети з підігрівом – це однокамерні або двокамерні вікна, обладнані системою автоматичного опалення{3}. Перші моделі розроблялися для боротьби з конденсатом. Щоб уникнути утворення вологи, необхідно прогрівати поверхню. Температура нагрівання повинна подолати точку роси і тільки в цьому випадку не буде неприємних проявів. Причина виділення вологи на стеклах криється в двох факторах: перепад температур в приміщенні і на поверхні скла, якщо в кімнаті тепло, а за вікном мінусова температура; протягом дня в оселі нестабільна температура і різкі її перепади призводять до появи патьоків на склі. Щоб волога не починала накопичуватися на склі, необхідно посилити циркуляцію повітряних мас або підігрівати скло. Цю проблему відносно успішно вирішує факт розміщення радіаторних решіток безпосередньо під вікном. Тепле повітря піднімається вгору і підігріває температуру віконної поверхні. Для цього необхідно посилено опалювати кімнати, що призводить до перевитрати палива. З огляду на той факт, що вікно має підвіконня і тепле повітря повинно огинати перешкоду, до поверхні скла потрапляє невелика кількість тепла. Сучасний варіант – вікно з підігрівом або тепле скло допоможе. Електрика підключається до склопакету і прогріває віконні поверхні до комфортних температур. Застосовується спеціальне скло, яке при виключенні електрики зберігає тепло, тому що має властивість енергозбереження.

Переваги вікна з підігрівом. Доведено, що майже сорок відсотків тепла йде з приміщення через вікна{4}. При встановленні спеціальних склопакетів можна істотно знизити тепловтрати, аж до повного збереження тепла і нульових втрат. Серед основних переваг склопакетів з підігрівом можна відзначити наступні: 1. Можливість самостійно регулювати температуру підігріву, температура піднімається швидко і встановлюється в необхідних межах, максимально до п'ятдесяти п'яти градусів. 2. Зниження витрат на опалювальну систему, незважаючи на те, що для підігріву скла потрібна електрика, назва пакета «енергозберігаюче». Завдяки здатності пакета запобігати втрату тепла, мінімізуються витрати на опалення. Електричний обігрів приміщення в міжсезоння за допомогою пакетів – реальність. 3. Склопакети не потребують постійного включення, вони ефективно підтримують мікроклімат в приміщенні, захищаючи його від атак

холодного повітря. 4. Економія коштів – в літній період склопакет працює як кондиціонер, він надійно захищає кімнату від проникнення спеки і не вимагає додаткового охолодження житла. 5. Мінімізація ймовірності появи конденсату на вікнах – немає контрасту температур зсередини і зовні, температура вище точки роси, відповідно конденсатор неможливий.

Електрообігрів вікон – рішення, що дозволяє створювати затишок. Максимальна температура на поверхні скла – 55 градусів. Потужність споживання варіюється від 50 до 430 Вт на квадратний метр, залежно від необхідного результату. В середньому, енергоспоживання одного вікна дорівнює споживанню лампочки в шістдесят ват.

Переваги вікна з підігрівом. Підігрів скла йде дуже рівномірно по всій поверхні, в наслідок цього не утворюються візерунки на вікнах. Нагрівання поверхні відбувається згідно бажаної температури, можна встановити показники на потрібні градуси. Великою перевагою методу є те, що на вікнах немає видимих оку нагрівальних пристроїв. На вигляд на рамі встановлений самий звичайний склопакет.

Вікно з підігрівом захищено від обмерзання. Пакети нагріваються і підвищують температуру всієї конструкції. Це запобігає налипанню снігу і обмерзання поверхні вікон. Більше не потрібно очищати зовнішню поверхню рами. Склопакет з обігрівом складається з особливого багатошарового скла вкрай стійкого до механічних пошкоджень. Розбити його непросто, але, якщо все-таки таке сталося, відразу ж спрацьовує сигналізація через вихід з ладу системи. Як бачимо, використання склопакетів з обігрівом несе в собі велику кількість позитивних сторін. У приміщенні буде зберігатися стабільна і приємна температура, що дає можливість насолоджуватися комфортом. Склопакети допоможуть підтримувати оптимальну температуру в зимовий і літній період часу. Завдяки таким теплопакетам, усувається ймовірність конденсату, що не налипає сніг і лід на зовнішню поверхню вікна.

Сфера застосування теплового скла. На сьогоднішній день особливу популярність склопакетів з підігрівом знайшли в склінні дахів. Це обумовлено тим, що їх висока температура не дає накопичуватися на покрівлі великій кількості снігу. Також за допомогою теплих стекол можуть бути обладнані: зимові сади, балкони і лоджії, фасади багатоквартирних будинків, басейни, спортивні зали, оранжереї, вікна великих розмірів, міжкімнатні перегородки, зенітні ліхтарі, вітражі та ін.

Висновки

Вивчивши дану тему, можна зробити висновок про те, що пластикові вікна з підігрівом склопакетами стають оптимальним рішенням для облаштування квартири, офісу або іншого приміщення. Це не просто модна інновація, такі вироби допомагають створити додатковий комфорт в приміщенні, зекономити на опаленні, підвищити привабливість архітектурної складової будівлі.

Список використаної літератури

1. <https://gazobeton.org/sites/default/files/sites/all/uploads/DBN-V.2.6-31-2016-Teplova-izolyatsiya-budivel.pdf>.
2. <https://lib.iitta.gov.ua/10436/1/%D0%91%D1%83%D0%B4%20%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%862013.pdf>.
3. <https://viknaland.ua/yak-vlashtovani-sklopakety-z-zpidigrivom/>.
4. <https://jak.koshachek.com/articles/energozberigajuchi-tehnologii-svoimi-rukami-1.html>.

УДК 621.3

Галаган І. В.

Науковий керівник канд. техн. наук, доцент Белоха Г.С.
кафедра електропостачання

ДОСЛІДЖЕННЯ АКТИВНОГО ГІБРИДНОГО ФІЛЬТРУ ЯК КОМПЕНСАТОРА ВПЛИВУ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ У РОЗПОДІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ

Анотація: Стаття присвячена дослідженню активного гібридного фільтру для компенсації нелінійних трифазних навантажень, таких як вентильні перетворювачі. Цифровим моделювання отримані осцилограми роботи гібридного фільтру та склад гармонік струму, отримано значення THD, що менше 5% встановлених стандартом.

Abstract: The article is devoted to the study of an active hybrid filter to compensate for nonlinear three-phase loads, such as valve transducers. Digital simulations obtained waveforms of the hybrid filter and the composition of harmonics of the current, obtained THD values that are less than 5% of the standard.

Ключові слова: реактивна потужність, якість струму, гібридні фільтри

Вступ. Суттєвим фактором споживання реактивної потужності вузлами навантаження є наявність в їхньому складі вентильних перетворювачів їхня схема наведена на рисунку 1. Для живлення електроприймачів постійного струму, як правило, використовують силові напівпровідникові випрямлячі струму, виконані на основі напівпровідникових діодів (некерованих) чи силових тиристорів. Силові випрямлячі струму споживають реактивну потужність із мережі змінного струму, що є внутрішньою особливістю перетворювачів струму, оскільки зумовлене переважно фазового принципу керування напівкерованими напівпровідниковими вентилями[1-2].

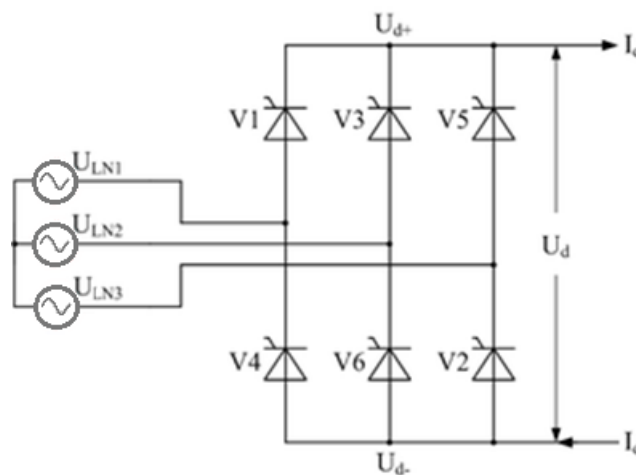


Рисунок 1 – Силова схема вентильного перетворювача

Існують три основні групи методів підвищення якості електроенергії В першу чергу, це раціоналізація засобів електропостачання, до цієї групи відносять підвищення потужності мережі, живлення нелінійних споживачів підвищеним напругою і ін. Друга

група передбачає обмеження впливу приймача на мережу живлення шляхом впливу на сам приймач.

Третя група передбачає використання пристроїв корекції якості, або, інакше кажучи, регуляторів одного або декількох показників якості електроенергії або пов'язаних з ними параметрів споживаної потужності. До третьої групи можна віднести наступні способи:

- застосування в якості пристроїв компенсації конденсаторних батарей;
- застосування статичних джерел реактивної потужності;
- застосування пристроїв активної фільтрації;
- застосування систем компенсації, що складаються з декількох перерахованих пристроїв, що працюють паралельно.

Серед ознак активного споживача виділяють можливість регулювання електроспоживанням, яку асоціюють, перш за все, із забезпечення балансу активної потужності в системі. Водночас актуальним є також завдання забезпечення балансів реактивної потужності оператором розподільної мережі з метою підтримання оптимальних рівнів напруг у вузлах мережі, підвищення запасу стійкості роботи вузлів навантаження тощо, яке вирішують, як правило, встановленням у вузлах навантаження джерел реактивної потужності. У цьому плані активна поведінка споживача обмежується встановленням засобів компенсації реактивної потужності, а на можливостях регулювання рівня споживання реактивної потужності активним споживачем не акцентується.

Використання гібридних фільтрів є компромісним технічним рішенням, що поєднує переваги традиційних пасивних і активних фільтрів порівняно малої потужності. Вони відносяться до третьої групи методів підвищення якості електроенергії[3].

Мета – дослідження активного гібридного фільтру як компенсатора впливу реактивної потужності вентильних перетворювачів.

Гібридний фільтр, який зображений на рисунку 2, являє собою групу пристроїв активної та пасивної фільтрації. Активна фільтрація являє собою двухполюсник з керованим вихідним повним опором[4]. Пасивна фільтрація являє собою LC-фільтр. Схема підключення гібридного фільтру паралельна.

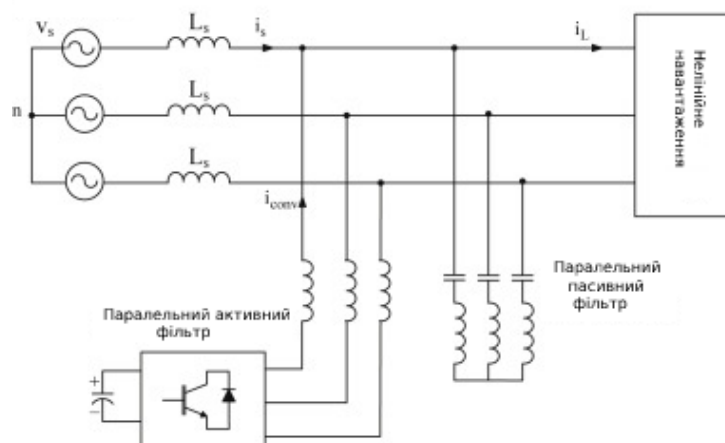


Рисунок 2 – Схема гібридного фільтру

Принцип компенсації полягає в тому, що активний фільтр генерує в протифазі гармоніки, які вирівнюють синусоїду струму (сам фільтр підключений паралельно). Пасивний фільтр для вирівнювання гармонік при перемиканні вентилів[5].

Схема фільтра являє собою мостовий повністю керований випрямляч з ємністю на виході, нелінійне навантаження представлено у вигляді некерованого мостового трифазного випрямляча.

Пасивна частина налаштована на першу гармоніку 20 кГц перемикання вентилів.

На рисунку 3 представлені осцилограми роботи гібридного фільтру, що отримані цифровим моделюванням.

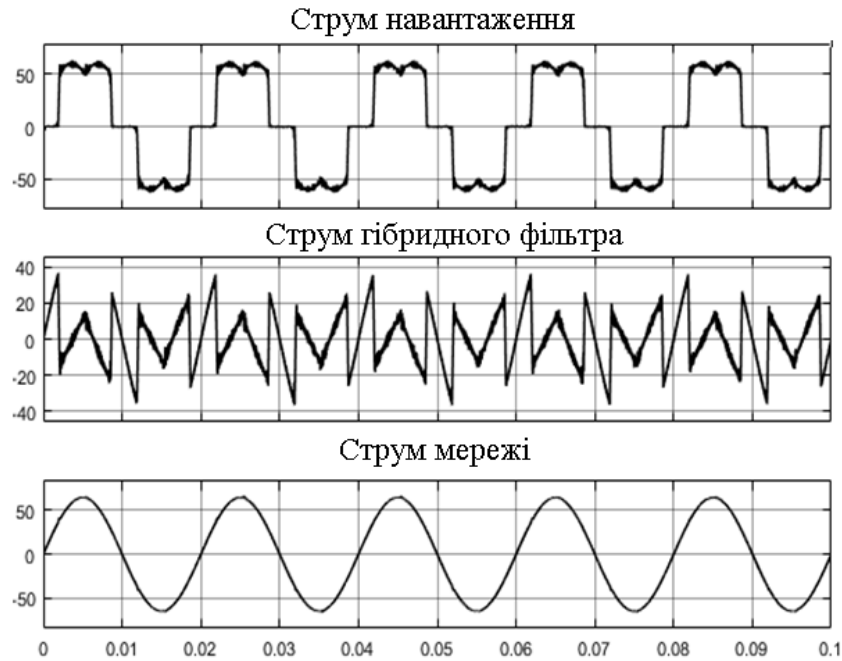
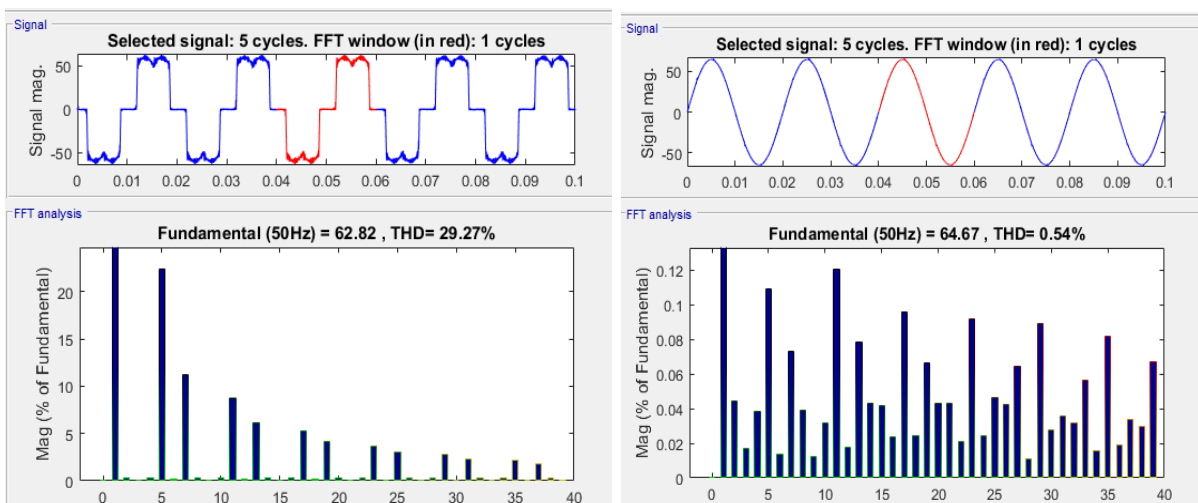


Рисунок 3 – Осцилограми роботи гібридного фільтру

Осцилограма струму, яке споживає вентильний перетворювач несинусоїднв, струм гібридного фільтру виробляє гармоніки в протифазі гармонікам вентильного перетворювача.

Струм споживаний з мережі є синусоїдним.

На рис. 4 представлено спектр струму мережі та струму навантаження. Отриманий за допомогою розкладанням у ряд Фур'є до 40ї гармоніци.



а)

б)

Рисунок 4 – Спектр струму мережі та струму навантаження до компенсації(а) та після(б)

Представлено графік струму який споживає нелінійне навантаження та коефіцієнт гармонійних спотворень THD струму навантаження який дорівнює 30%. Норма THD дорівнює 5% згідно стандарту[1].

Нижче ми бачимо роботу нашого фільтра і відповідно синусоїда після його роботи та показники THD, що дорівнюють 0,54%. Даний показник вже відповідає нормі.

Висновки

У якості пристрою для покращення якості споживаного струму мережі та компенсації реактивної потужності був обраний гібридний паралельний активний фільтр.

Застосування гібридного паралельного активного фільтра в системі електропостачання дозволяє повністю компенсувати реактивну потужність і вищі гармоніки струму.

THD складає менше 1% після компенсації гібридним фільтром, до компенсації він складав 30%.

Список використаної літератури.

1. The IEEE Standards Association. IEEE 519-2014. Режим доступу: <https://standards.ieee.org/standard/519-2014.html>
2. А. О. Семенов, О. О. Семенова, Д. О. Козін. Активні фільтри. Режим доступу : <http://pd.onu.edu.ua/index.php/2306-7039/article/view/217922>
3. Колб А.А. Гибридные фильтры в устройствах управления качеством электроэнергии. / А. А. Колб // Электромеханичні і енергозберігаючі системи. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика»– Кременчук: КрНУ, 2012. – Вип. 3/2012 (19).
4. Akagi H. Active Filters and Energy Storage Systems for Power Conditioning in Japan / Akagi H. // Power Electronics Systems and Applications, 2004 Hong Kong, China, 2004 – p.80-88.
5. Г.С Белоха, І.С Шевченко. Способи регулювання струму мережі в системах керування електроприводом з активним фільтром - Вісник східноукраїнського національного університету, 2021

УДК 621.3

Перфілов Б.М.

Науковий керівник канд. техн. наук, доцент Белоха Г.С.
кафедра електропостачання

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРІВ

***Анотація:** Стаття присвячена дослідженню локальних електроенергетичних систем на основі дизель-генераторів з вітрогенераторами. Показані основні схеми включення та розглянуті питання оптимізації.*

***Abstract:** The article is devoted to investigation of local electric power systems and optimization of distribution networks modes on the basis of diesel generators. With the help of digital modeling were obtained oscillographs of local electric power systems operation.*

***Ключові слова:** дизель-генератори, ВДЕ, енергетична система*

ВСТУП

Активні науково-технічні розробки з використання нетрадиційних відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) розпочались з 70-х років ХХ ст. у період світової енергетичної кризи.

ВДЕ використовуються як у розвинених, так і в країнах, що розвиваються. Великих успіхів в освоєнні ВДЕ досягли країни, де відновлювальна енергетика дістала всебічну державну економічну й законодавчу підтримку, а у розвиток ВДЕ вкладаються значні кошти, в тому числі у розвиток нових технологій.

Позитивний досвід країн ЄС показав, що серед різноманітних факторів, які впливають на рівень і перспективи освоєння ВДЕ, визначальну роль відіграють діючі у цих країнах системи державного економічного стимулювання. В Україні ресурси відновлювальних джерел енергії існують практично на всій території. До основних складових відновлювальної енергетики України відносяться вітроенергетика, сонячна енергетика, мала гідроенергетика, біоенергетика, геотермальна енергетика й енергетика навколишнього середовища. [1]

В Україні частка ВДЕ у загальному енергозабезпеченні складає біля 3%, а в електрозабезпеченні, у першу чергу за рахунок гідроенергетики, біля 7%.

Склад споживачів, які отримують живлення від дизельної електростанції ДЕС, може значно відрізнятись по потужності, кількості і режимам роботи. При цьому неминуче зміниться навантаження станції в значному діапазоні, як протягом доби, так і за сезонами року. При цьому бажано забезпечити завантаження дизель-генераторів в межах від 25 до 80% від номінального навантаження. Завантаження вище цих меж призводить до зниження ресурсу дизельного двигуна; при малих навантаженнях значно збільшується питома витрата палива і проявляється ефект карбонізації, викликаного скупченням в циліндрах незгорілих фракцій палива, що також негативно впливає на ресурс двигуна.

Дизель-генератори необхідно періодично виводити з роботи для проведення необхідного сервісного обслуговування, поточного і капітального ремонтів. Надійність електропостачання споживачів, при цьому знижується. Періодичність і тривалість технічного обслуговування залежить від типорозміру силового агрегату.

Питома витрата палива на вироблення 1 кВт·год електричної енергії залежить від

типорозміру агрегату, у дизель-генераторів великої потужності він, як правило, нижче. Питома витрата палива змінюється при роботі дизель-генераторів на часткових режимах, зі зменшенням навантаження збільшується.

Мета – аналіз особливостей побудови локальних гібридних електроенергетичних систем на основі дизель-генераторів з вітрогенераторними станціями.

Оптимальне проектування гібридних систем виробництва відновлюваної енергії є дуже складним завданням, оскільки більшість відновлюваних джерел енергії є випадковими і залежать від погодних/кліматичних умов. [2]

За умов інтеграції джерел розосередженої генерації в розподільні мережі, останні набувають властивостей складно замкнених мереж.

Зазначені умови викликають необхідність використання методів аналізу складно замкнених мереж для моделювання та оптимізації режимів розподільних мереж у зазначених умовах, зокрема методів нелінійного програмування. Поновлювані джерела енергії та інтелектуальна енергетика, за певних умов, дозволяють поліпшити техніко-економічні характеристики автономних систем електропостачання. [3]

З огляду на те, що переважна частина існуючих систем електропостачання включає до свого складу дизельні електростанції, можливе підвищення техніко-економічних показників слід починати з аналізу режимів роботи ДЕС.

Введення до складу локальних систем вітрових або сонячних електростанцій, при певних умовах, дозволяє знизити вартість виробленої електроенергії.

Один з варіантів структурної схеми гібридного енергетичного комплексу (ГЕК) показано на рисунку 1: дизельна – ДЕС та вітрова – ВЕС електростанції; перетворювач частоти (В – випрямляч, І – автономний інвертор); розподільний пристрій (РП) та навантаження (Н). Залежно від вітрових умов ВЕС в енергокомплекс може використовуватися як допоміжне енергетичне джерело, якщо вітровий потенціал недостатній для ефективного енергопостачання споживача. [3] У цьому випадку ВЕС та ДЕС працюють паралельно на загальне навантаження за винятком періодів безвітря і ураганів, коли ВЕС відключається.

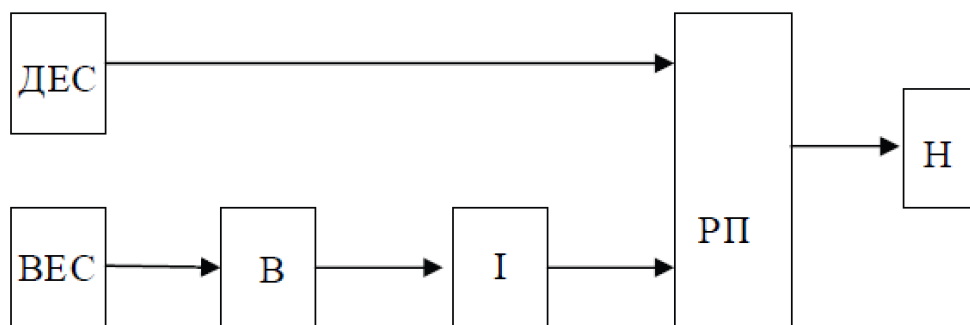


Рисунок 1 – Структурна схема вітродизельної системи

Варіант гібридного енергетичного комплексу з основним енергетичним джерелом – ВЕС доцільний для високопотенційних вітрових зон. Для цього варіанта ДЕК потужність ДЕС може бути меншою ніж ВЕС, а для створення запасу енергії доцільно включення до схеми акумуляторної батареї (АБ) (рис. 2).

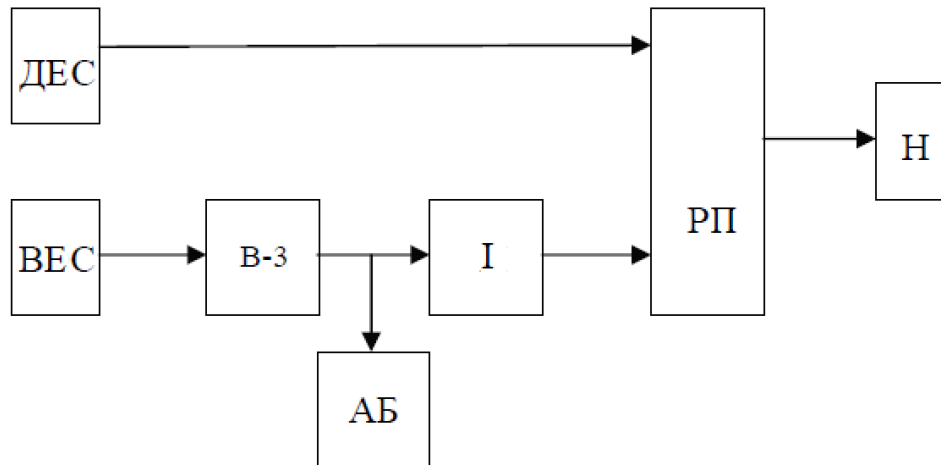


Рисунок 2 – Гібридний енергетичний комплекс (ГЕК) з головним енергоносієм ВЕС

Розвитком аналізованої структури гібридного вітро дизельного енергетичного комплексу є варіант з використанням двигуна внутрішнього згоряння для заряджання акумуляторної батареї в періоди безвітря. У цьому випадку схема набуває вигляду, показаного на рис.3. Особливістю останнього варіанта схеми є робота ДЕС на випрямне навантаження, що дозволяє відмовитися від стабілізації частоти напруги ДЕС.

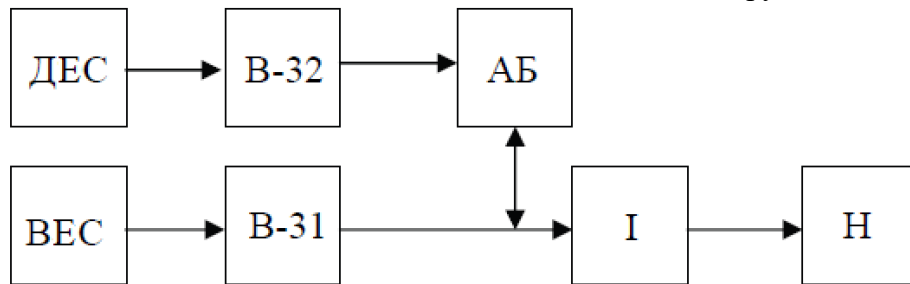


Рисунок 3 – Схема ГЕК з підзарядкою АБ від дизельної електростанції

Використання статичних перетворювачів частоти дозволяє будувати гібридні енергокомплекси, що передбачають спільну роботу ВЕС та ДЕС рівної або близької потужності (рис. 4). В даному варіанті ГЕК вітрова і дизельна станції працюють у режимах змінної частоти обертання і, відповідно, змінної потужності, що генерується.

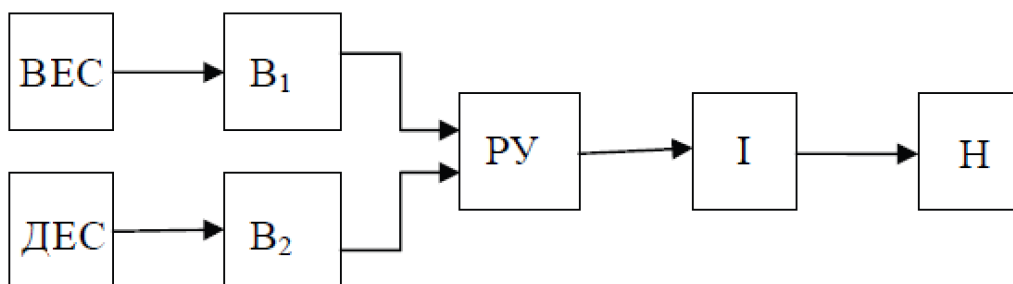


Рисунок 4 – Варіант ГЕК з паралельною роботою ВЕС і ДЕС

Для дослідження енергоефективності гібридного енергокомплексу необхідно проаналізувати коефіцієнти корисної дії елементів технологічної схеми ГЕК. На ККД двигуна внутрішнього згоряння впливають багато факторів: параметри навколишнього середовища, конструктивні особливості та параметри власне двигуна, характеристики палива. Кількісний вплив перерахованих факторів, особливо для конкретного двигуна,

відносно невеликий порівняно з коефіцієнтом завантаження ДВЗ. Коефіцієнт завантаження ДВЗ, що працює в гібридному вітродизельному енергокомплексі, визначається графіком навантаження автономної системи електропостачання та вітровими умовами.

Оптимізація режимів ДЕС передбачає використання дизель - генераторів в режимі близькому до оптимального за коефіцієнтом завантаження. Реалізація таких умов роботи досягається шляхом оперативного управління групою дизель - генераторів в складі ДЕС в залежності від добових і сезонних змін графіка електроспоживання. Даний спосіб зазвичай використовується в ДЕС великої потужності [4-5].

Перспективним варіантом оптимізації режимів ДЕС, в першу чергу невеликої потужності (до десятків кВт), є застосування інверторних ДЕС, що забезпечують найбільш економічні режими дизеля для поточної потужності електроспоживання.

Висновки:

Розглянуті локальні системи та основні схеми підключення дизель-генераторів з вітрогенераторними устатками. Такі локальні системи універсальні у застосуванні, мають непогані техніко-економічні характеристики, забезпечують надійне енергопостачання різних автономних споживачів. Оптимізація параметрів локальних систем призведе до зменшення витрат.

Список використаної літератури

1. Planning for Renewable Energy A Companion Guide to PPS22 / Office of the Deputy Prime Minister. - England, 2004. - 185 p. - ISBN 1851127542
2. The contribution of renewable energy to a sustainable energy system/ M.A. Uytendil, G.H., H. Rosier, N. Kouvaritakis, V. Panos [and others] // Energy research Centre at the Netherlands. - 2005. - 146 p
3. Простий метод оптимізації розмірів для гібридних систем відновлюваної енергії з фотоелектричними батареями / С.М.Р. Тіто, Т.Т. Брехня, Т. Андерсон-2013С.8-13
4. Моделювання та оптимізація незалежної гібридної системи відновлюваних джерел енергії / Аніта Гудель та Мая Крцум // Транс-маріт. наук. 2013; 01. С. 28-35
5. Норми технологічного проектування дизельних електростанцій // Затверджено Міністерством. Протокол від 19 липня 1990 р №38

УКД 621.03

Беспалько А.О.

Науковий керівник д.т.н., професор Волошко А.В.
Кафедра електропостачання

РОЗРОБКА МЕТОДУ КЛАСИФІКАЦІЇ КІЛЬКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЖИМУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

Анотація: Стаття призначена оптимізації інформаційного потоку режимів електроспоживання. Розробка методів та засобів оцінювання та моніторингу кількісних параметрів режиму електроспоживання.

Ключові слова: ГЕН, алгоритм Малла, Smart Grid.

Abstract. The article is recognized as an optimization in the information streaming mode of power supply. Development of a methodology and earnings for the assessment and monitoring of the conflict parameters of the power supply regime.

Вступ.

Розвиток сучасного суспільства визначається рівнем застосування інформаційних технологій у всіх сферах його життєдіяльності. Інформаційні технології охоплюють широкий клас дисциплін та областей діяльності, які стосуються отримання, зберігання, обробки та передачі даних.

Останніми роками українські розробники зробили значний внесок у адаптацію концепції Smart Grid до особливостей електроенергетики України, визначили основні актуальні складові проблеми інформатизації і інтелектуалізації диспетчерського керування та першочергові завдання створення проблемно-орієнтованих систем моніторингу режимів СЕП та питання використання засобів обчислювальної техніки, мережевих технологій та інтелектуальних засобів для вирішення питань підвищення ефективності систем інформаційного забезпечення та керування електричними мережами й об'єктами.

Мета

Мета даної роботи полягає у розробці теоретичних і науково-методичних оптимізація інформаційних потоків в системах електроспоживання шляхом їх стиснення та побудови єдиних баз даних параметрів режимів електроспоживання при проведенні їх моніторингу, комерційних розрахунків та керуванні.

На даний час у Європейському союзі, США загально прийнятними є нові платформи енергопостачання під загальною назвою Smart Grid, які є найбільш придатними для забезпечення енергоспоживанням із позицій безпеки, надійності, якості поставляємої енергії та надання енергетичних послуг за доступною ціною.

У загальному плані за визначенням Smart Grid рис.1 - це концепція повністю інтегрованої, саморегулюючої і самовідновлюваної електроенергетичної системи, яка має мережеву топологію і містить усі види генеруючих джерел, магістральні та розподільні мережі, а також усіх споживачів електроенергії, що управляються єдиною мережею інформаційно-керуючих засобів та систем у режимі реального часу [1].

Основу інформаційних потоків параметрів режимів електроспоживання складають кількісні – графік електричних навантажень (ГЕН), який є основною інтегральною характеристикою (всі інші режимні параметри є похідними від нього) та якісні (параметри якості електричної енергії) характеристики [5].

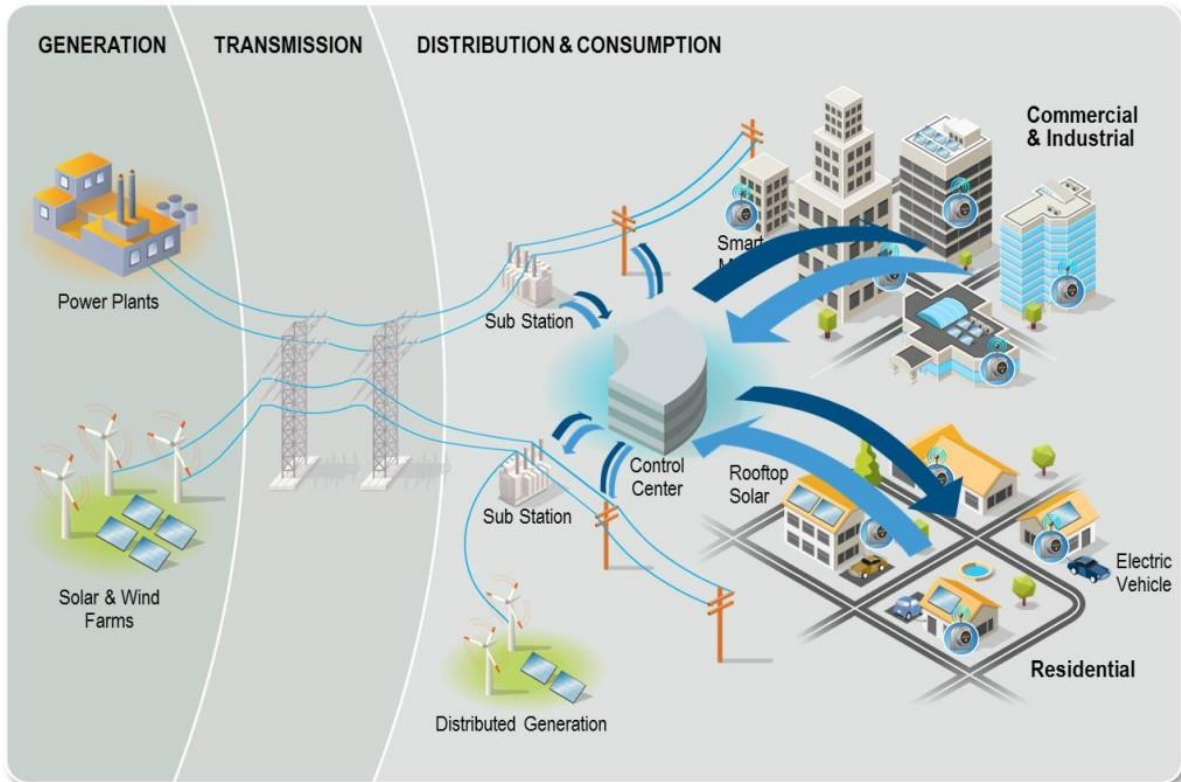


Рисунок 1 – Системи на базі технологічної платформи Smart Grid

Детальний аналіз наведених вище інформаційних потоків показує наявність великої кількості дублюючих повідомлень, часових та комунікаційних обмежень спроможності каналів зв'язку, і, як наслідок, неможливість зведення різного роду балансів; на багатьох етапах проходження інформаційних потоків відбувається передача надлишкового об'єму інформації і т. і.

У відповідності до аналізу задач експлуатації та проектування систем електропостачання, у плані створення єдиної бази електроспоживання як складової частини моделі інформаційного потоку, розглянуто вирішення задачі оптимізації інформаційного потоку з точки зору режимів електроспоживання шляхом формалізації ГЕН у декілька етапів:

1. етап 1 – ідентифікація та оцінка параметрів ГЕН (моделювання ГЕН);
2. етап 2 – кластеризація та послідовна класифікація ГЕН;
3. етап 3 – формування єдиної бази даних (її моделі) електроспоживання.

На даний час розроблена і застосовується різноманітна кількість методів моделювання режимів електроспоживання, які в основному підрозділяються на наступні:

1. апроксимація різного роду математичними функціями;
2. моделювання за даними технологічних циклів;
3. статистичне моделювання;
4. побудова типових ГЕН та ГЕН – представників;
5. моделювання інтегральними характеристиками, або показниками на основі аналізу закономірностей їх формування.

До окремого класу належать методи, які ґрунтуються на гіпотезах відносно узагальненої періодичності ГЕН. Так для ГЕН промислових підприємств розроблені моделі, що представляють їх у вигляді коефіцієнтів, імпульсних потоків, спектрально-кореляційної теорії випадкових стаціонарних процесів, визначені

статистичних зв'язків між навантаженням, імітаційне моделювання та моделювання сплайнами.

Недоліками даних методів моделювання ГЕН є наступні. Результати, отримані методом імітаційного моделювання мають випадковий характер. Для забезпечення статистичної стійкості (усталеності) їх відповідні оцінки повинні обчислюватись як середні значення за великою кількістю реалізацій, що в більшості випадків є не прийнятним з точки зору витратних ресурсів [2].

Застосування нормуючих коефіцієнтів призводить до похибки визначення режимів електроспоживання до 50 %. При цьому, як правило, розраховане навантаження більше фактичного, що приводить до збільшення похибки визначення вартості втрат електричної енергії. Основним недоліком даних методів є те, що вони використовують неповну вихідну інформацію і застосовуються при цьому не адаптивні нормовані коефіцієнти [3].

Найбільш відомими методами наближення часового ряду є методи інтерполяції, ряди Фур'є, кускові поліноми. При цьому, методи інтерполяції відзначаються високою точністю, але громіздкі розрахунки і результати наближення (неможливість виявлення короткочасних провалів навантаження і т. і.) не в повній мірі відповідають поставленим задачам[4].

Побудова моделі графіка електричних навантажень базується на таких основних властивостях вейвлет-перетворення. Ортогональність відповідає за зручність обчислень вейвлет-коефіцієнтів розкладання, і мінімальні розбіжності фільтрів аналізу та синтезу, що значно зменшує об'єми обчислень. Нулеві моменти базисних функцій сприяють стисканню інформації при ВП. Гладкість гарантує відсутність спотворень при ВП гладких сигналів, компактність забезпечує невелику довжину фільтрів, а симетрія забезпечує зберігання фазових співвідношень при реконструкції сигналу.

Формування моделі ГЕН проводиться наступним чином. Сигнал $p(t)$ подається на фільтри низьких і високих частот, після чого за допомогою операції децимації (– зменшення числа частотних складових удвічі) отримуємо коефіцієнти апроксимації – на виході фільтрів низької частоти та деталізації – на виході фільтрів високої частоти[2].

Для попереднього аналізу формування моделі ГЕН застосовується алгоритм Малла, у якому на кожному рівні декомпозиції «відсікається» половина ісокочастотної частини сигналу[3].

Це обумовлено тим, що реалізація алгоритму походить із представлення про більшу інформативність низькочастотної частини спектру сигналу.

Тобто, класична схема алгоритму Малла рис.2 представляє собою послідовну фільтрацію вхідного сигналу за допомогою каскадно-з'єднаних блоків фільтрів низької Lo_D та високої Hi_D частоти[3].

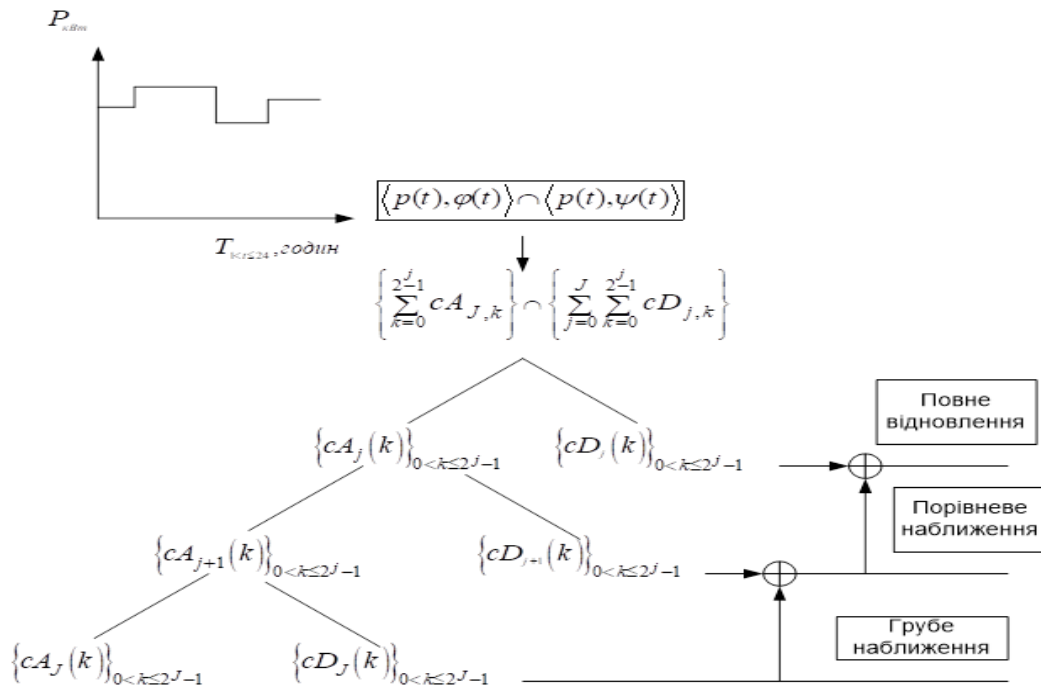


Рисунок 2 - Діаграма вейвлет-декомпозиції за алгоритмом Малла

Висновки:

За результатами роботи проаналізовано розподіл груп споживачів, сформовано підходи щодо використання методів управління електроспоживанням та наведені пропозиції для підвищення ефективності виділення груп споживачів

Використання запропонованого підходу щодо дослідження графіків електричних навантажень на рівні обласних електропередавальних організацій та їх районних підрозділів дозволить ефективно впроваджувати методи управління електроспоживанням.

Для підвищення ефективності виділення груп споживачів необхідно використовувати додаткові показники, які пов'язані з режимом експлуатації основного енергетичного обладнання зі встановленою потужністю.

Список використаної літератури

1. Wiley-IEEE Press «Smart Grid: Fundamentals of Design and Analysis 1st Edition» (6 березня, 2012)
2. Лежнюк П.Д., Бондарчук А.С., Шулле Ю.А.«Фрактальний аналіз динаміки електричного навантаження цивільних об'єктів »
3. DESIGN AND ANALYSIS OF ALGORITHMS [R17A0508] B.TECH II YEAR – II SEM (R17) (2018-19)
4. О.В. Горда «Чисельні Методи(25-27) » (2009)
5. Системи на базі технологічної платформи Smart Grid <https://ep.kpi.ua/uk/node/22>

СЕКЦІЯ 2.
ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА
ІНЖИНІРИНГ

УДК 339.944:620.621.31

Євтухова М. Ю.
Кафедра теплотехніки та енергозбереження**ЕСКО ЯК ІНЖИНІРИНГОВИЙ ІНСТРУМЕНТ РЕАЛІЗАЦІЇ ФУНКЦІЙ І
ЗАВДАНЬ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ**

Анотація: Ринок послуг енергосервісних компаній (ЕСКО) є наймолодшим у порівнянні з іншими типами ринків енергії, але ж таким, що найбільш активно розвивається в усьому світі у сферах енергоефективності (ЕЕ) та енергозбереження (ЕЗ). У той же час недосконалість процедур системного узгодження стадій розробки і впровадження проектів з ЕЕ та ЕЗ істотно гальмує її розвиток. У цій статті наведено огляд основних функцій і завдань, притаманних ЕСКО і системам енергетичного менеджменту, та розрахунковим інструментам їх системно узгодженого поєднання, спрямованих на покращення ефективності залучення інших виконавців у проекти з ЕЕ та ЕЗ, насамперед, інвесторів, що має вирішальне значення для реалізації потенціалу підвищення енергоефективності. Загалом, розглянуті елементи системного узгодження стадій розробки і впровадження проектів з ЕЕ та ЕЗ дозволяють дослідникам та інженерам глибше та чіткіше визначити шляхи покращення функціонування ринку енергосервісних компаній.

Ключові слова: енергосервісна компанія, система енергоменджменту, проектний інжиніринг

Abstract: The service market for energy service companies (ESCOs) is the youngest compared to other types of energy markets, but also the fastest growing in the world in the fields of energy efficiency (EE) and energy saving (ES). At the same time, the imperfection of the procedures for systematic coordination of the stages of development and implementation of projects with EE and EU significantly hinders its development. This article provides an overview of the main functions and tasks inherent in ESCOs, energy management systems and the engineering tools for estimation of efficiency of their systemically coordinated combination, which are aimed at improving the effectiveness of involving other contractors in EE and ES projects, especially investors. Taken together, these are critical to realizing the potential for energy efficiency improvements. In general, the considered elements of system harmonization of the stages of development and implementation of EE and EU projects allow researchers and engineers to more deeply and clearly define ways to improve the functioning of the market for energy service companies.

Keywords: energy service company, energy management system, project engineering

Вступ. Реалізація проектів з підвищення енергоефективності (ЕЕ) та енергозбереження (ЕЗ) є одним із головних стратегічних завдань низьковуглецевого розвитку національних економік у всьому світі. Чудовий приклад – США, де відповідно до Федерального акту про енергетичну політику 1992 року (Federal Energy Policy Act of 1992) створено мережу федеральних та місцевих енергозберігаючих агентств, реалізовано програми фінансування та просування енергоефективних технологій, створено спеціальний фонд для інвестування програм і проектів щодо ЕЕ та ЕЗ. Програми і проекти з ЕЕ, ЕЗ та відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) також є ключовим чинником залучення інвестицій в енергетичну інфраструктуру Європейського Союзу (ЄС). Для цього було розроблено пакет заходів, який включає політику, зобов'язання щодо енергозбереження, схеми зобов'язань, методи та принципи розрахунку їх впливу тощо. Загалом, сфера регулювання ЄС з ЕЕ, ЕЗ та ВДЕ охоплює ряд директив, понад 340

стандартів Міжнародної електротехнічної комісії (IEC), 110 ISO стандартів та 300 європейських EN стандартів. Для України у цій сфері, насамперед, слід відзначити закони Про енергозбереження 1994 року, Про впровадження нових інвестиційних можливостей, гарантування прав та законних інтересів підприємців щодо масштабної модернізації енергетики 2015 року та Енергетичну стратегію України до 2035 року: безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність 2017 року. Більш детальний аналіз досліджень і публікацій у сфері ЕЕ та ВДЕ, проведений автором цієї роботи, можна знайти в [1]. При цьому, невирішеним питанням у цих дослідженнях залишається досі нереалізований потенціал впровадження проектів з ЕЕ, ЕЗ та ВДЕ, обумовлений нестиківками окремих компонентів у процесі розробки та впровадження такого роду проектів.

Мета та завдання. Ціллю цієї статті є визначення основних функцій і завдань, притаманних енергосервісним компаніям (ЕСКО) і системам енергетичного менеджменту, та розрахунковим інструментам їх системно узгодженого поєднання, спрямованих на покращення ефективності залучення інших виконавців у проекти з ЕЕ, ЕЗ та ВДЕ, насамперед, інвесторів, що має вирішальне значення для реалізації потенціалу підвищення енергоефективності.

Матеріал і результати досліджень.

Система енергоменеджменту. Система енергоменеджменту (СЕМ) є центральною ланкою організаційної структури реалізації проектів з підвищення енергоефективності та енергозбереження (ЕЕЗ-проектів) на об'єктах замовників, що має як горизонтальні, так і вертикальні зв'язки з адміністративними і виробничими підрозділами замовників, постачальниками ПЕР та іншими, зовнішніми, учасниками виконання цих проектів. Головною метою СЕМ є мотивація всіх учасників до покращення рівня енергоефективності шляхом створення відповідних умов для підвищення їх компетентності і відповідальності під час реалізації проектів [2-4]. Основні завдання щодо створення та функціонування СЕМ систематизовані у міжнародних та національних стандартах, насамперед, в українських версіях: ДСТУ ISO 50001:2018 – Системи енергетичного менеджменту: вимоги та настанова щодо використання (Energy management systems. Requirement with guidance for use); ДСТУ ISO 50002: 2016. – Енергоаудит: Вимоги та настанови щодо його проведення; ДСТУ ISO 50003: 2016 – Системи енергоменеджменту. Вимоги до органів, які проводять аудит і сертифікацію систем енергоменеджменту; ДСТУ ISO 50004: 2016 – Системи енергоменеджменту. Настанова щодо впровадження, супровід та поліпшення системи енергоменеджменту; ДСТУ ISO 50006: 2016 – Системи енергоменеджменту. Вимірювання енергетичної ефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання і показників енергоефективності. Загальні принципи та керівні вказівки – Загальні принципи і настанови; ДСТУ ISO 50007:2020 – Енергетичні послуги: Настанова щодо оцінювання та поліпшення енергетичних послуг для споживачів; ДСТУ ISO 50015: 2016 – Системи енергоменеджменту. Вимірювання та верифікація енергетичної ефективності організацій. Загальні принципи і настанови.

На рис.1 приведена діаграма, на якій представлено результати узагальнення основних завдань системи енергоменеджменту та етапи їх реалізації за неперервним циклом Демінга: Плануй (Plan), Дій (Do), Перевірйай (Check) та Удосконалюй (Act) [5].



Рис. 1. Основні завдання системи енергетичного менеджменту та етапи їх реалізації.

Енергосервісні компанії. Енергосервісні компанії (ЕСКО) є основними виконавцями ЕЕЗ-проектів, оскільки мають значні переваги перед іншими типами і видами підприємств та організацій, що реалізують ЕЕЗ-проекти. Насамперед тим, що приймають на себе зобов'язання виконати повний комплекс послуг з реалізації ЕЕЗ-проектів "під ключ", який включає: технічну, економічну та фінансову оцінку підприємств і організацій (замовників проектів); проведення енергетичних обстежень (енергоаудитів); розробку та погодження проектно-конструкторської документації; організацію та забезпечення фінансування проектів; закупівлю, доставку, монтаж, пуск в експлуатацію, гарантійне та післягарантійне обслуговування енергозберігаючого обладнання; і, головне, забезпечення гарантованого рівня енергозбереження, що загалом перевищує витрати на розробку та впровадження ЕЕЗ-проектів [6-9]. Енергосервісні компанії є однією з найефективніших та найпоширеніших у світі організаційних форм підвищення енергетичної ефективності та дієздатності ЕЕЗ-проектів, результати яких доведено на практиці як у розвинених країнах, так і в країнах, що розвиваються.

У світовій практиці виробники енергоефективного обладнання, енергопостачальні організації, спеціалізовані інжинірингові та енергоексплуатаційні компанії часто виконують деякі з функцій ЕСКО, проте їх послуги принципово відрізняються від послуг ЕСКО [1, 4]. Наприклад, послуги енергопостачальних компаній (Energy Service Provider Companies) зазвичай оплачуються за фіксованим тарифом або у вигляді надбавки до ціни на момент постачання енергії, однак питання підвищення ефективності використання обладнання та послуг взагалі не розглядаються. Отже, такого роду послуги не мають ризиків подальшої експлуатації обладнання та кінцевого використання енергії, оскільки їх винагорода виплачується на момент надання послуги, а не за результатами її використання. За такими ж ознаками енергосервісні контракти (перформанс-контракти) ЕСКО також слід відрізнити від форми договорів на постачання обладнання та/або енергії (Delivery Contracting, Supply Contracting, Energy Supply Contracting etc.), які надають енергетичні послуги через аутсорсинг, але без забезпечення кінцевих результатів енергозбереження. Нагадаємо, що під аутсорсингом у сфері

енергосервісних послуг (Energy Service Outsourcing, Outside-Resource-Using) найчастіше розуміють передачу ЕСКО замовником послуг на підставі енергосервісного контракту певних бізнес-процедур або виробничих функцій обслуговування конкретного енергоємного обладнання, що дозволяє йому скоротити витрати на їх експлуатацію, знизити трудомісткість та спрямувати вивільнені організаційні, фінансові, матеріально-технічні та трудові ресурси на розвиток нових та/або на удосконалення (розширення) існуючих напрямків діяльності, що потребують підвищеної уваги. При цьому наявність бізнес-процесу, пов'язаного з фінансуванням та розподілом ризиків протягом терміну окупності запропонованих рішень, є невід'ємною рисою енергосервісного аутсорсингу.

Зі свого боку, ЕСКО надає енергосервісні послуги, що охоплюють комплексний пакет організаційних, техніко-економічних, фінансових та юридичних аспектів проектування, реалізації, моніторингу та верифікації досягнутих результатів з підвищення енергоефективності та енергозбереження, реалізації проектів з розвитку енергетичної інфраструктури на об'єктах промислового та соціально-побутового призначення тощо, ґрунтуючись на принципах енергетичного менеджменту, аутсорсингу, перформанс-контрактингу, проектного фінансування та управління ризиками шляхом використання власних та залучених джерел та ресурсів, у тому числі фінансових, юридичних, матеріально-технічних, енергетичних та трудових.

Комплексність енергосервісних послуг означає, що ЕСКО розглядатиме доцільність використання різних типів та видів енерготехнологічного обладнання та ПЕР, включаючи місцеві, вторинні, нетрадиційні та відновлювані ресурси, а також заходи щодо збереження інших матеріальних ресурсів, які застосовуються у технологічному процесі та спрямовані на захист навколишнього середовища.

Структурно-функціональну схему взаємодії учасників реалізації ЕЕЗ-проектів ЕСКО наведено на рис.2.



Рис. 2. Учасники реалізації проектів ЕСКО та схеми їх взаємодії.

Як можна бачити, учасниками фінансування ЕЕЗ-проектів є як мінімум: (1) ЕСКО, яка відповідає за їх розробку і реалізацію, проте, зазвичай не має достатньої фінансової історії та майна для застави і тому не в змозі брати на себе повну відповідальність та ризики за інвестований капітал; (2) фінансові установи (банки, інвестори, державні та муніципальні органи влади, ЕЕЗ-фонди тощо), які вкладають

власні позикові чи інші залучені кошти у капітал ЕСКО; (3) кредитори, які надають позики та мають право на цій основі вимагати від ЕСКО їх повернення; (4) замовник, який часто сам є учасником проектного фінансування; (5) гарант, який страхує капітал та несе відповідальність і ризики. При цьому, враховуючи той факт, що частка позикового капіталу у фінансуванні ЕЕ-проектів зазвичай є досить високою, це вимагає від замовників проведення ретельного аналізу різних шляхів залучення та захисту вкладених капіталів та зменшення їх вартості, оскільки в кінцевому підсумку за все доводиться платити замовникам.

Серед різних типів енергосервісних контрактів ЕСКО найпоширенішими є [10]:

- Договір забезпечення економії (Guaranteed Savings), за яким ЕСКО зобов'язане гарантовано забезпечити обумовлений контрактом обсяг економії ПЕР при заданих параметрах виробничих процесів та режимах роботи енерготехнологічного обладнання замовника.
- Договір енергопідряду (Chauffage), за яким ЕСКО відповідає за експлуатацію та технічне обслуговування енергоємного обладнання замовника та забезпечує постачання йому потрібних видів енергії (наприклад, пари) за узгодженою на довгостроковий період ціною.
- Договір розрахункової економії (Accounted Savings), де ЕСКО забезпечує економію ПЕР, розмір якої розраховується щодо деякого базового рівня споживання за обумовлений контрактом період (наприклад, за рік або опалювальний сезон).
- Договір розподілу доходів від економії (Shared Savings), за яким передбачається щорічний (квартальний, за опалювальний сезон тощо) розрахунок досягнутої економії та розподіл отриманої вигоди від реалізації проекту між ЕСКО та замовником у заздалегідь заданій пропорції.
- Договір першочергових виплат (First Pay-Out), в рамках якого ЕСКО отримує 100% економії до моменту повного погашення своєї частки фінансових зобов'язань щодо проекту.
- Договір звільненої від податків оренди (Tax-Exempt Lease Purchase), який також називають договором муніципальної оренди, оскільки він доступний лише для неприбуткових організацій та оформляється зобов'язаннями, за якими орендар (замовник) повинен виплачувати орендодавцю (ЕСКО) за використання наданого активу його повну вартість, що амортизується протягом терміну оренди, що дозволяє замовнику здійснювати фінансування проектів без віднесення витрат на свій баланс, і при цьому, ще економити за рахунок орендної ставки, яка зазвичай нижча за ставку за кредитами.
- Договір розподілу доходів від економії (Shared Savings), за яким передбачається щорічний (квартальний, за опалювальний сезон тощо) розрахунок досягнутої економії та розподіл отриманої вигоди від реалізації проекту Договір наскрізного енергоефективного підряду (Build-Own-Operate-Transfer), який включає в себе організацію наскрізної схеми проектування, будівництва, фінансування, експлуатації певного періоду часу та передачі прав власності на об'єкт замовнику.
- Першорядний договір оренди (Master Leases), за яким замовник бере участь у державних або муніципальних лізингових програмах та фондах (State or Local Government Leasing Pools), орендує саме ті активи з переліку запропонованих, які йому потрібні на даний момент, але згодом може орендувати інші активи через ці фонди без укладання додаткового договору, що дозволяє завдяки ефекту масштабу зменшити витрати на фінансування, беручи участь у великих програмах.
- Державні або муніципальні облігації (State or Municipal Government Bonds), які пропонують нижчі, навіть орендних, відсоткові ставки.

- Револьверні кредитні фонди (Revolving Loan Pools), які пропонують субсидовані державою відсоткові ставки.
- Договір купівлі енергії та потужності (Energy and Power Purchase), за яким замовник зобов'язується закуповувати обумовлені договором обсяги енергетичних продуктів, постачання (чи виробництво) яких має забезпечувати ЕСКО.

Інжинірингова модель та результати розрахунків. Інжинірингова модель та результати розрахунків техніко-економічних показників реалізації ЕЕЗ-проекту ЕСКО на прикладі заміни опалювального котла на тепловий насос для сільської школи.

Заміна котла на тепловий насос є раціональним енергозберігаючим заходом, оскільки тепловий насос набагато гнучкіший у завантаженні та більш ефективніший в плані споживання первинного палива та використання теплової енергії. У процесі розрахунку враховуються такі параметри системи як опалювальний об'єм будівлі, температура повітря всередині, питома тепла характеристика, середня температура зовнішнього повітря в опалювальний сезон, температура найхолодніших 5 днів, тривалість опалювального сезону, максимальна, середньогодинна та загальна витрата теплової енергії за опалювальний сезон. При розрахунках теплового балансу котла враховано втрати тепла з продуктами горіння, що йдуть в атмосферу, через шар термоізолюючого матеріалу, від хімінедожега та з механічним недопалюванням. Розрахунки проведено з урахуванням кореляції графіків витрат первинного палива і електроенергії та градусо-днів за місяцями опалювального періоду.

Результати розрахунку представлено на Рис. 3.

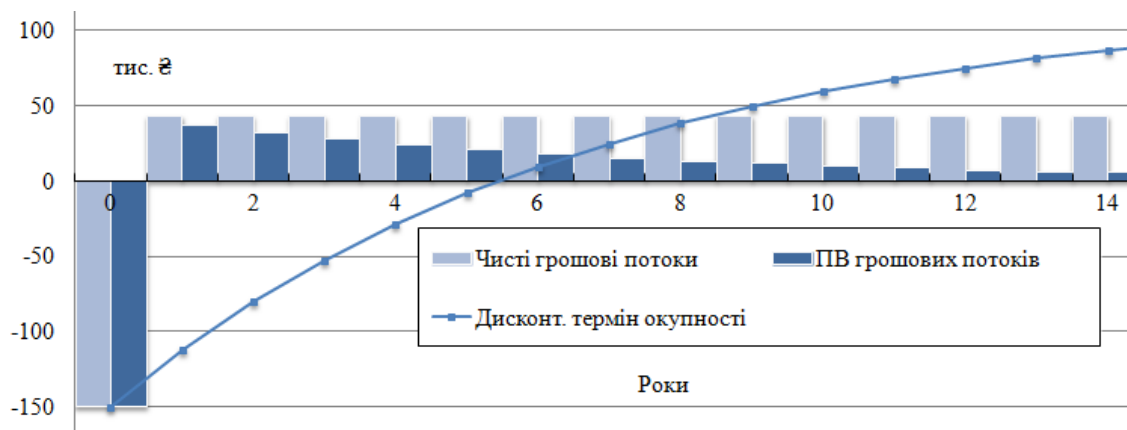


Рис. 3. Грошові потоки реалізації проекту заміни опалювального котла на тепловий насос

Так, при встановленій потужності теплового насосу 20 кВт та коефіцієнті перетворення 3,2, щорічний обсяг виробництва теплової енергії, розрахований на базі скоригованих за температурою щомісячних обсягів її споживання, склав 72 МВт·год/рік, а обсяг енергозбереження – 17 МВт·год/рік. Розрахунок чистої приведеної вартості (NPV) реалізації цього проекту показав, що при початкових капітальних інвестиціях у 150 млн. грн., облікової ставці 16,0% та щорічній економії 43 млн. грн., за період аналізу 24 роки та залишкової вартості 6 млн. грн., NPV складе 106,7 млн. грн.

Висновки. Розроблений інжиніринговий інструмент реалізації функцій і завдань енергетичного менеджменту, який базується на залученні ЕСКО як основного виконавця проектів з підвищення енергоефективності та енергозбереження та використанні моделей розрахунку дисконтованих у часі грошових потоків, дозволяє розробляти бізнес-плани ЕЕЗ-проектів, придатних для залучення як внутрішніх, так і зовнішніх інвестиційних установ та фондів. Перспективи подальшого розвитку наукових

досліджень в цьому напрямку полягають в удосконаленні моделей взаємодії ЕСКО на ринках енергосервісних послуг, що, на мою думку, дозволить зрушити з мертвої точки розвиток цього ринку в Україні.

Бібліографічний список.

1. Deshko V. I., Kovalko O. M., Novoseltsev O. V., Yevtukhova M. Y. Energy Services Market: Conceptual Framework and Mechanism of Forming // International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science, Vol-6, Issue-6, 2020, pp. 48-55.
2. Ковалко О.М., Новосельцев О.В., Євтухова Т.О. Вступ до теорії енергоефективності багаторівневих систем: методи та моделі енергетичного менеджменту в системі житлово-комунального господарства. – К.: НАН України, Інститут технічної теплофізики, 2014. – 252 с.
3. McLaughlin, L., Meffert, W., McKane, A. and Vermeeren, R. (2015). Practical Guide for Implementing an Energy Management System. Vienna, United Nations Industrial Development Organization, 78 p.
4. Derashri, S. (2020). Building Energy Management System (BEMS): A Management Information System (MIS) Approach. International Journal of Energy Management, Vol. 2, No. 4, pp. 9-26.
5. Dshko V., Kovalko O., Novoseltsev O., Yevtukhova M. A Result-Oriented Framework to Support the Low-Carbon Transformation of Energy Services Markets // Journal of New Technologies in Environmental Science, No. 2, Vol. 4, 2020, pp. 65-75.
6. Ковалко О.М., Новосельцев О.В., Євтухова Т.О. Вступ до теорії енергоефективності багаторівневих систем: методи та моделі енергетичного менеджменту в системі житлово-комунального господарства. – К.: НАН України, Інститут технічної теплофізики, 2014. – 252 с.
7. Hansen S. J., Bertoldi P., Langlois P. ESCOs Around the World: Lessons Learned in 49 Countries. Lilburn: The Fairmont Press, 2009. – 386 p.
8. Boza-Kiss, B., Bertoldi, P. and Economidou, M. Energy Service Companies in the EU – Status Review and Recommendations for Further Market Development with a Focus on Energy Performance Contracting. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017 – 218 p.
9. Hofer, K., Limaye, D. and Singh, J. Fostering the Development of ESCO Markets for Energy Efficiency. Washington: World Bank, 2016. – 8 p.
10. Санковский А.Г., Новосельцев А.В., Ковалко О.М., Збродько Е.А. Методическое руководство по созданию и функционированию ЭСКО в условиях становления рыночных отношений. – Астана: КССМР, 2014, 89 с.

УДК 697.1

О.С. Наумчук, аспірант,
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

БУДІВЛІ, СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ ЯКИХ БЛИЗЬКЕ ДО НУЛЯ, ЯК МЕТОД УСУНЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ІМПОРТОВАНОГО ВИКОПНОГО ПАЛИВА

В результаті військової агресії росії проти України, та на фоні маніпуляцій держави – однієї з найбільших експортерів природного газу до Європи, світова спільнота зустрілась із питаннями оперативного пошуку рішень щодо заміщення імпортованого природного газу.

Проведено аналіз споживання імпортованого природного газу країнами Європи та темпи імплементації вимог щодо будівель, споживання енергії яких близьке до нуля.

BUILDINGS WITH NEAR-TO-ZERO ENERGY CONSUMPTION AS A METHOD TO REMOVE DEPENDENCE ON IMPORTED FOSSIL FUEL

As a result of Russia's military aggression against Ukraine, and against the backdrop of the manipulations of the state - one of the largest exporters of natural gas to Europe, the world community met with the issues of prompt search for solutions to replace imported natural gas.

An analysis was made of the consumption of imported natural gas by European countries and the pace of implementation of the requirements of buildings whose energy consumption is close to zero.

Вступ. Природні ресурси країни є невід’ємною частиною її національного багатства адже створюють можливості для розвитку галузей промисловості, економічної та соціальної інфраструктури. Епоха науково – технічної революції стала шляхом можливостей для задоволення потреб людства у всіх сферах життя та створила певну взаємозалежність демографічних та енергетичних показників. Йдеться про збільшення потреби у забезпеченні енергією населення відповідно до зростання їх чисельності [1]. Згідно [2] чисельність населення у другій половині XVII століття становила 550 мільйонів осіб, на сьогодні цей показник становить 7,947 мільярдів [3]. Динаміка збільшення енергоспоживання з роками фіксується міжнародними платформами та лише підтверджує допущення науковців, що досліджують взаємозалежність демографічних, економічних та енергетичних показників [1], [4]. За експертною оцінкою [5], споживання викопного палива до 1900 року обмежувалось, здебільшого, вугіллям. Згодом, з розвитком нових технологій та науки в цілому, спостерігається динаміка збільшення споживання вугілля, природного газу та нафти та, відповідно, зменшення їх запасів у надрах землі. Так, у 1900 році світове споживання вугілля оцінювалось у 5 728 ТВт·год, природного газу – у 64 ТВт·год, нафти – у 184 ТВт·год, що становило 96%, 1% та 3% від світового споживання викопного палива відповідно. У 2019 році, через майже 120 років, світове споживання вугілля, природного газу та нафти оцінюється у 43 849 ТВт·год, 39 292 ТВт·год та 53 620 ТВт·год відповідно. Сьогодні споживання вугілля в багатьох частинах світу скорочується, в тому числі, завдяки курсу країн ООН на підтримку Цілей сталого розвитку [6], проте споживання нафти і газу все ще стрімко зростають, а запаси природних покладів цих ресурсів визначають роль країни, що ними володіє, у світі та становлять її енергетичну безпеку. Для прикладу, ресурс Basic Planet опублікував статтю щодо найбільш багатих у питанні забезпечення природними ресурсами країн [7], приведений список від найбільш забезпеченої ресурсами, з величиною ВВП на душу населення [8], наведемо нижче:

1. Росія (ВВП на душу населення, станом на кінець 2020 року, становить 10 126,72 доларів США).
2. Сполучені Штати Америки (ВВП на душу населення, станом на кінець 2020 року, становить 63 543,58 доларів США).
3. Саудівська Аравія (ВВП на душу населення, станом на кінець 2020 року, становить 20 110,32 доларів США).
4. Канада (ВВП на душу населення, станом на кінець 2020 року, становить 43 241,62 доларів США).
5. Іран (ВВП на душу населення, станом на кінець 2020 року, становить 2 282,55 доларів США).
6. Китай (ВВП на душу населення, станом на кінець 2020 року, становить 10 500,40 доларів США).
7. Бразилія (ВВП на душу населення, станом на кінець 2020 року, становить 6 796,84 доларів США).
8. Австралія (ВВП на душу населення, станом на кінець 2020 року, становить 51 812,15 доларів США).
9. Ірак (ВВП на душу населення, станом на кінець 2020 року, становить 4 157,48 доларів США).
10. Венесуела (ВВП на душу населення, станом на кінець 2020 року, становить 1 691 доларів США).

Загальна вартість всіх наявних енергетичних ресурсів у країнах приведеного рейтингу вимірюється трильйонами доларів, а залежність більш обмежених у природному надбанні країн від головного експортера дозволяє диктувати свої «правила гри» у міжнародних відносинах.

Наприкінці лютого 2022 року російська військова агресія проти України змусила лідерів європейських країн оперативно оцінити запаси імпортовано з росії природного газу та знайти рішення для його заміщення. Для прикладу, згідно [9], покриття потреб природного газу у 2020 році за рахунок імпорту з росії склало 100 % для Боснії та Герцеговини, Молдови та Македонії. Дещо менший показник частки використання імпортованого російського газу необхідний для забезпечення потреб населенню Фінляндії та Латвії (94% та 93% відповідно). Більше половини від загальної величини споживання природного газу (64%) покриває за рахунок імпорту Австрія, частка імпортованого російського газу для Німеччини – 49%, Польща, Угорщина та Словенія купують російський газ у кількості, що становить 40% від загальної потреби. Наразі, країни Європейського Союзу знаходяться у пошуках альтернативних рішень для оперативного усунення залежності від російського газу та просувають ідеї ефективного використання енергії від відновлювальних джерел, а також реалізації напрацьованих досліджень у побудові будівель з нульовим та/або близьким до нуля споживання енергії.

Мета та завдання роботи: висвітлити можливість усунення залежності від імпортовано природного газу шляхом реалізації проектів будівель, споживання енергії яких близьке до нуля.

Матеріал і результати досліджень. Реалізація основних завдань для досягнення Цілей сталого розвитку [6] у питанні використання відновлювальних джерел енергії, відповідального споживання, боротьби зі зміною клімату та збереження екосистеми неможлива без перегляду та аналізу можливостей для забезпечення потреб споживачів. Дані Євростату свідчать, що основними споживачами енергії у 2017 році в Європі є транспорт, за ним – житловий сектор, на третьому місці за величиною споживання енергії знаходиться промисловість, на четвертому – адміністративні та комерційні будівлі [10]. Частка споживання енергії кожного з вищеописаного сектору приведена на рисунку 1.

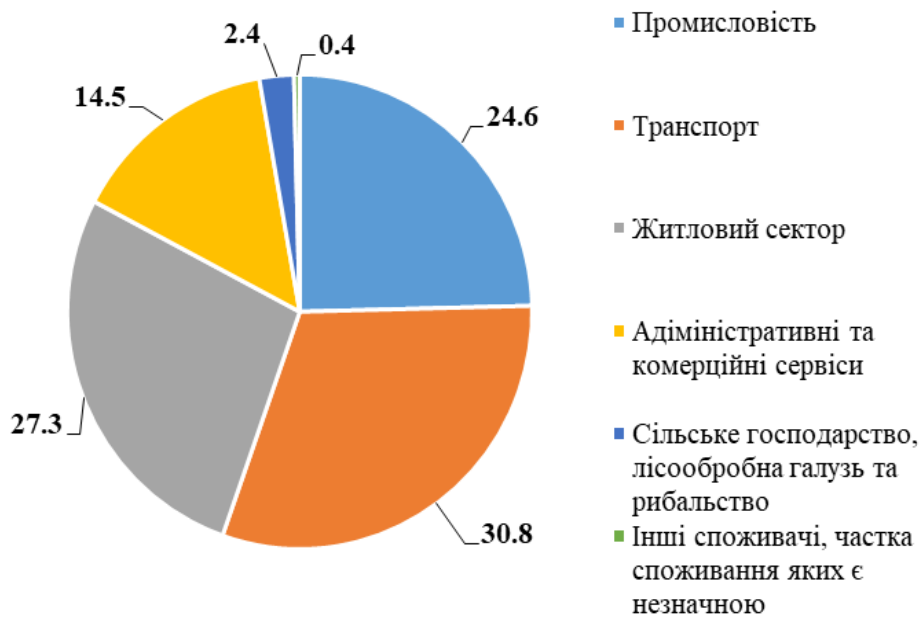


Рисунок 1. Частка споживання енергії Європою у 2017 році відповідно до секторів

Відповідно до рисунку 1, загальна величина споживання енергії будівлями становить 41,8 %. Разом з тим, дані [10] засвідчують, що споживання природного газу Європою у 2017 році становило 1,07 ПВт·год. Аналізуючи отримані результати, робимо висновок про кількість енергії від спаленого природного газу, спожитої будівлями – 0,448 ПВт·год, або 447 582,8 ГВт·год. Вказаний показник є великим з точки зору економічної оцінки та неймовірно високим – з економічної. Варто зазначити, що період 2017 року став переломним з точки зору пошуків рішень для скорочення споживання енергії та зниження обсягів викидів двоокису вуглецю в першу чергу через стрімке зростання обсягу спожитої енергії, порівняно з попередніми роками а отже, відхиленням від плану досягнення Цілей сталого розвитку.

Задля провадження політики енергоефективності та підтримки енергозбереження європейського житлового фонду, Європейський Союз ціленаправлено імплементує Директиву з енергоефективності будівель [11], яка є, фактично, вимогою будівництва будівель з майже нульовим споживанням енергії. Згадана Директива є проектом – прагненням Європейської спільноти досягти статусу кліматично нейтральної країни та встановлює нові вимоги щодо використання систем автоматизації та управління будівель у всіх нежитлових будинках з системами опалення або комбінованого опалення та вентиляції з ефективною номінальною потужністю понад 290 кВт. Наприкінці 2021 року Європейська комісія прийняла остаточні правки до Директиви, метою яких стало прискорення темпів реконструкції будівель, зменшення викидів парникових газів і споживання енергії, а також сприяння використанню відновлюваної енергії в будівлях. Такий крок дає нове визначення ЄС щодо «будівлі з нульовими викидами», застосоване до всіх нових будівель з 2027 року та до всіх відремонтованих будівель з 2030 року [12]. Будинки з нульовими викидами повинні враховувати потенціал глобального потепління протягом їхнього життєвого циклу. Внесені правки, на думку комісії, дозволять прискорити енергоефективний ремонт у 15% будівель ЄС з найгіршими показниками та встановить мінімальні стандарти енергетичної ефективності.

Відповідно до індикаторів, що визначають будівлі з майже нульовим споживанням енергії, деякі держави – члени Європейського Союзу уже виділили

енергетичний показник як для житлових, так і для нежитлових будинків (наприклад, коефіцієнт енергетичної ефективності або максимальний попит на первинну енергію – у кВт·год/м² на рік) [13] та існуючих будівель. Частина держав включає кількісне зобов'язання щодо покриття мінімальної частки попиту на енергію з відновлювальних джерел (рисунок 2).

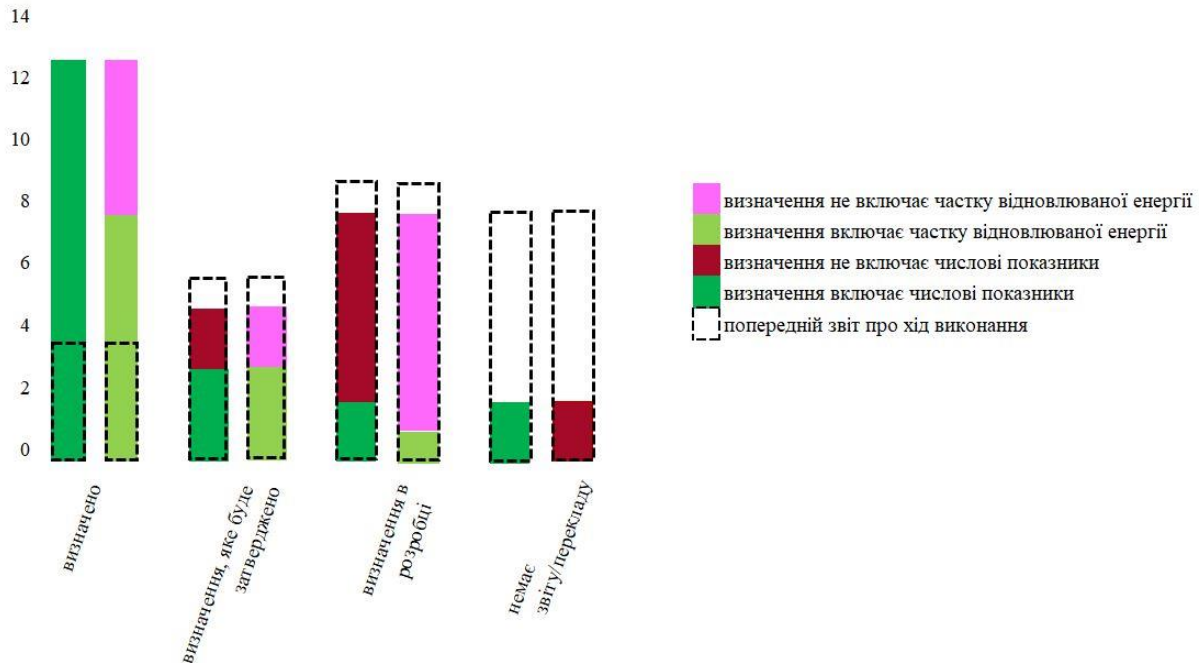


Рисунок 2. Стан розробки визначення будівель, споживання енергії яких близьке до нуля, у державах – членах Європейського Союзу

Визначені числові індикатори деяких з держав – членів мають досить широкі межі – від 0 кВт·год/м²/рік до 270 кВт·год/м²/рік і в основному наведені як споживання первинної енергії в кВт·год/м²/рік (включаючи потребу на охолодження). Вищі значення таких показників стосуються, переважно, лікарень або інших спеціальних нежитлових будівель. Для житлових будинків максимальний показник споживання первинної енергії коливається від 33 кВт·год/м²/рік (Хорватія) до 95 кВт·год/м²/рік (Латвія), Брюссель та Франція ж націлені на 45 або 50 кВт·год/м²/рік. Країни, індикатори споживання первинної енергії яких не є визначеними числовим значенням, регламентують вимоги до будівель з майже нульовим споживанням енергії класом енергетичної ефективності. Що стосується частки споживання енергії з відновлювальних джерел – лише 13 країн визначились з їх числовим представленням [13].

Згідно [14], усереднений показник споживання первинної енергії Європейського Союзу становить 135 кВт·год/м². Якщо порівнювати ж значення для окремих країн – членів, зупинимось на країні, що є найбільшим імпортером природного газу із вищепредставлених – Латвії. Показник споживання первинної енергії Латвією становить 209 кВт·год/м², уряд країни затвердив Директивою [11] зобов'язання скоротити цей показник до 95 кВт·год/м² за рік. Тобто, необхідно скоротити споживання енергії приблизно у 2,2 рази шляхом впровадження заходів енергоефективності та використання чистої енергії. Такий крок забезпечить зниження залежності від імпорту природного газу та дозволить вийти на новий рівень екологічної безпеки.

Латвія є однією з 27 країн Європейського Союзу, площа якої значно поступається деяким іншим країнам – представникам Європейського Союзу. Виходячи із величини

скорочення обсягів споживання енергії шляхом впровадження Директиви [11] та реалізації проектів будівництва будівель, споживання енергії яких близьке до нуля, можна тільки уявити рівень скорочення залежності від імпортованих природних ресурсів (в даному випадку – природного газу) всієї європейської спільноти шляхом впровадження подібної політики. Шлях до реалізації нового виду будівництва конструкцій та інженерних систем дасть змогу забезпечити стабільний енергетичний та економічний рівень.

Висновок. Будівництво будівель, споживання енергії яких близьке до нуля є одним з способів усунення залежності країн Європи від імпортованого природного газу. Виходячи із цілей, що ставлять перед собою країни – члени Європейського Союзу у напрямі забезпечення та реалізації більш чистого виробництва та енергоефективних заходів і темпів їх імплементації, частка споживання первинної енергії з роками буде скорочуватись, а, відповідно, скорочуватиметься і частка використання імпортованого природного газу.

Список використаних джерел

1. How population growth impacts energy consumption in Guangdong in China. *Research Features*. URL: <https://researchfeatures.com/population-growth-energy-consumption-guangdong-china/> (date of access: 16.05.2022).
2. Кобернік С. Населення України та світу. "Географія" 8 клас. Р. Коваленко. URL: <https://geografiamozil2.jimdofree.com/головна/населення-світу-та-україни-і-частина/> (дата звернення: 15.05.2022).
3. Світова статистика у реальному часі. *Worldometers*. URL: <https://www.worldometers.info/uk/> (дата звернення: 14.05.2022).
4. Тетельмин В. Энерго - демографическая история современной цивилизации. *Демография: вопросы теории и практики*. 2021. № 2. С. 142.
5. Fossil Fuels. *Our World in data*. URL: <https://ourworldindata.org/fossil-fuels> (date of access: 16.05.2022).
6. Цілі сталого розвитку. *ПРООН в Україні*. URL: <https://www.ua.undp.org/content/ukraine/uk/home/sustainable-development-goals.html> (дата звернення: 14.05.2022).
7. TOP 10 Countries with Most Natural Resources in the World. *Basicplanet*. URL: <https://www.basicplanet.com/top-10-countries-natural-resources-world/> (date of access: 15.05.2022).
8. World development indicators. *The Worldbank*. URL: <https://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/> (date of access: 14.05.2022).
9. Share of gas supply from Russia in Europe in 2020, by selected country. *Statista*. URL: <https://www.statista.com/statistics/1201743/russian-gas-dependence-in-europe-by-country/> (date of access: 16.05.2022).
10. Natural gas supply statistics. *Statistics-explained*. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Main_Page (date of access: 14.05.2022).
11. Energy performance of buildings directive. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en (date of access: 2018).
12. Revision of the Energy Performance of Buildings Directive: Fit for 55 package [EU Legislation in Progress]. *The European Parliamentary Research Service*.

URL: <https://epthinktank.eu/2022/02/04/revision-of-the-energy-performance-of-buildings-directive-fit-for-55-package-eu-legislation-in-progress/> (date of access: 16.05.2022).

13. D'Agostino D. Assessing Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs) development in Europe. *Sciencedirect*.

URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X21000663#!> (date of access: 15.05.2022).

14. ODYSSEE database. *The European Environment Agency*.
URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/external/odyssee> (date of access: 16.05.2022).

УДК 697.1

Яценко О. І., ас.

Кафедра теплотехніки та енергозбереження

ЗАСТОСУВАННЯ CFD-МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ

У даній роботі досліджено показники постійного та переривчастого режимів роботи системи опалення приміщення на основі CFD-моделі, створеної в програмному середовищі ANSYS Fluent. Також, представлено пропозицію щодо застосування подібної моделі для оцінки енергоефективності підсистеми тепловіддачі шляхом аналізу тепловтрат спричинених неоднорідністю розподілення внутрішньої температури.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: енергоефективність, CFD-моделювання, переривчасте опалення, ANSYS Fluent, підсистема тепловіддачі.

In this paper characteristics of constant and intermittent heating modes are investigated by energy CFD-modelling in the software environment ANSYS Fluent. Also, a proposal of using such model to assess the energy efficiency of heat emission system is presented. The coefficients responsible for a vertical temperature profile were investigated to analyze the heat losses caused by the non-uniform temperature distribution.

KEY WORDS: energy efficiency, CFD modeling, intermittent heating, ANSYS Fluent, heat emission system.

Вступ

Відомо, що програми державної підтримки в сфері енергоефективності будівель орієнтовані здебільшого на заходах, пов'язаних з централізованим теплопостачанням або утепленням огорожувальних конструкцій. Менше уваги приділяється організації теплового режиму локальних приладів опалення, за допомогою яких і забезпечуються комфортні температурні умови та ефективне використання енергії. Тож для правильної організації теплового режиму потрібно врахувати велику кількість контрольованих та неконтрольованих факторів всередині та ззовні будівлі, а також теплоінерційні властивості конструкцій у часі [1]. Останнє і було метою даного дослідження.

Мета та завдання

Метою даної роботи є представлення результатів аналізу постійного та переривчастого режимів опалення. Для створення моделі житлового приміщення використовується програмне забезпечення для моделювання гідродинамічних процесів ANSYS Fluent.

Відповідно до поставленої мети були виконані такі завдання:

1. Створення 3D моделі кімнати в програмному середовищі Ansys Fluent.
2. Аналіз охолодження кімнати при вимкненні приладу опалення.
3. Аналіз нагріву кімнати при роботі приладу опалення з різною температурою поверхні.
4. Дослідження впливу приладу опалення на енергоефективність системи тепловіддачі

Опис досліджуваного приміщення

Досліджуване приміщення – житлова кімната площею 10,5 м²., розташована в багатоквартирному будинку з середнім рівнем теплового захисту у м. Києві. Кімната має одну зовнішню стіну з вікном, орієнтовану на схід. Три внутрішні стіни межують з іншими кімнатами з тим же температурним режимом. Внутрішня температура в кімнаті задана на рівні 22°C, при зовнішній розрахунковій для міста Києва мінус 22°C.

Опалення кімнати здійснюється за допомогою одного радіатора. Опалювальний прилад встановлено біля зовнішньої стіни під вікном без радіаційного захисту. Вентиляція у приміщенні природна. Забезпечується шляхом інфільтрації крізь нещільності огорожувальних конструкцій на рівні $0,56 \text{ год}^{-1}$, що відповідає нормі для приміщення даного призначення [2].

CFD-модель досліджуваного приміщення

Моделювання гідродинамічних процесів проводилося за допомогою програмного середовища Ansys Fluent, в якому використання рівнянь неперервності, руху та енергії дозволяє оцінити теплові та тривимірні поля потоку [3]. Приклади завдання умови для CFD-моделювання (CFD - Computational Fluid Dynamics) приміщень можна спостерігати в роботах [4, 5].

На рисунку 1 представлена розрахункова область для CFD-моделювання. Розрахункова сітка моделі складається з 676 144 вузлів і 637 297 елементів.

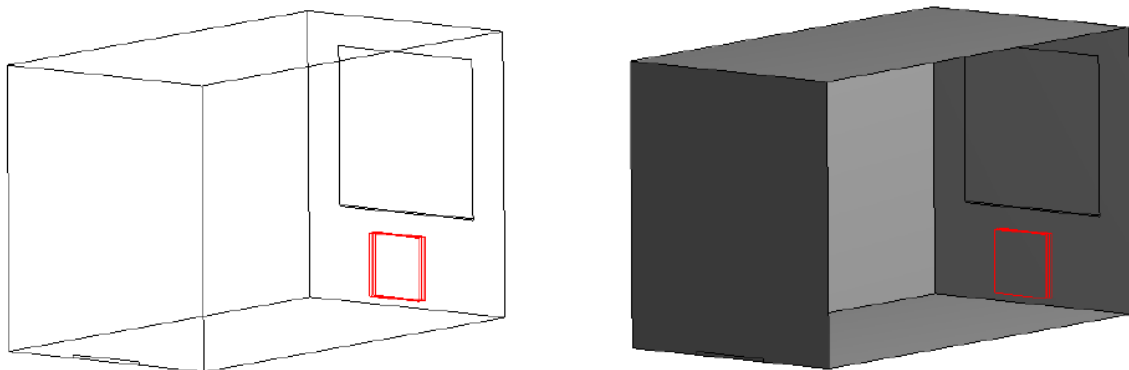


Рисунок 1 – 3D-модель досліджуваного приміщення

Опалювальний прилад (радіатор) розташований на відстані 0,1 м від зовнішньої стіни і від підлоги відповідно і складається з чотирьох поверхонь розмірами $0,6 \text{ м} \times 0,6 \text{ м}$ та товщиною 2,5 мм. Розміри радіатора були підібрані таким чином щоб забезпечити задану внутрішню температуру.

Так як повітрообмін в кімнаті забезпечується інфільтрацією, в моделі вентиляційний отвір розташований під вікном. Витрата повітря задана $0,0057 \text{ кг/с}$, що відповідає кратності повітрообміну $0,56 \text{ год}^{-1}$. Витік повітря в інші приміщення відбувається через отвір над підлогою в місці розташування міжкімнатних дверей.

При заданні огорожувальних конструкцій в даній CFD-моделі було застосоване поняття гомогенних еквівалентних стін для всіх поверхонь. Таким чином теплофізичні властивості конструкцій були задані як середні, при врахуванні товщини кожного шару. Характеристики гомогенних еквівалентних поверхонь зведені в таблицю 1.

Таблиця 1 – Характеристика гомогенних еквівалентних поверхонь конструктивних елементів приміщення

Тип конструкції	Товщина, м	Коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$
Зовнішня стіна (Сх)	0,47	0,535
Внутрішня стіна (Пд)	0,42	0,813
Внутрішня стіна (Зх/Пн)	0,165	0,42
Стеля/підлога	0,22	1,939
Вікно	0,038	0,0483
Радіатор (4 ребра)	0,0025	55,17

- При проведенні моделювання були прийняті наступні допущення:
- між поверхнею стін та середовищем було задано конвективний теплообмін;
 - в розрахунковій області має місце турбулентний режим течії з “k-epsilon” моделлю турбулентності;
 - в розрахунковій області є радіаційний теплообмін, врахований за допомогою радіаційної моделі “surface to surface”;
 - теплопровідність та в’язкість повітря не залежать від його температури.

Застосування CFD-моделі для аналізу переривчастого режиму роботи системи опалення

Перед початком моделювання стаціонарного режиму температуру поверхонь радіатора, яка забезпечує внутрішню температуру близько 22°C, досліджували за постійних умов. Таким чином для заданих параметрів радіатора температура його поверхні була підібрана на рівні 51°C.

Для перевірки якості моделі теплове навантаження приміщення в ANSYS Fluent порівнювалося з результатами моделювання даного приміщення в програмному середовищі EnergyPlus. Тож при внутрішній температурі 22°C теплове навантаження за результатами гідродинамічного моделювання становило 44,75 Вт/м², а за результатами моделювання в EnergyPlus – 48,73 Вт/м² [6].

Моделювання нестационарного режиму проводилося з урахуванням геометричних характеристик обчислювальної області, і для моделювання було обрано часовий крок в 60 секунд. Разом з увімкненням нестационарного режиму прилад опалення було вимкнено і досліджено час охолодження кімнати. Середньомасова внутрішня температура знизилась на 5,5°C за 180 хв. Також, необхідно зазначити що в процесі охолодження перші 60 хв середньорадіаційна температура була нижчою за середньомасову температуру, але при подальшому охолодженні ситуація стає зворотною. Потім для аналізу швидкості нагрівання приміщення було досліджено два варіанти з різною температурою поверхонь радіатора (55°C та 65°C):

- при температурі поверхні радіатора 55°C, приміщення нагрівається до 22°C за 280 хвилин;
- при температурі поверхні радіатора 65°C, приміщення нагрівається до 22°C за 120 хвилин.

На рисунку 2 показані результати моделювання нестационарних процесів у часі.

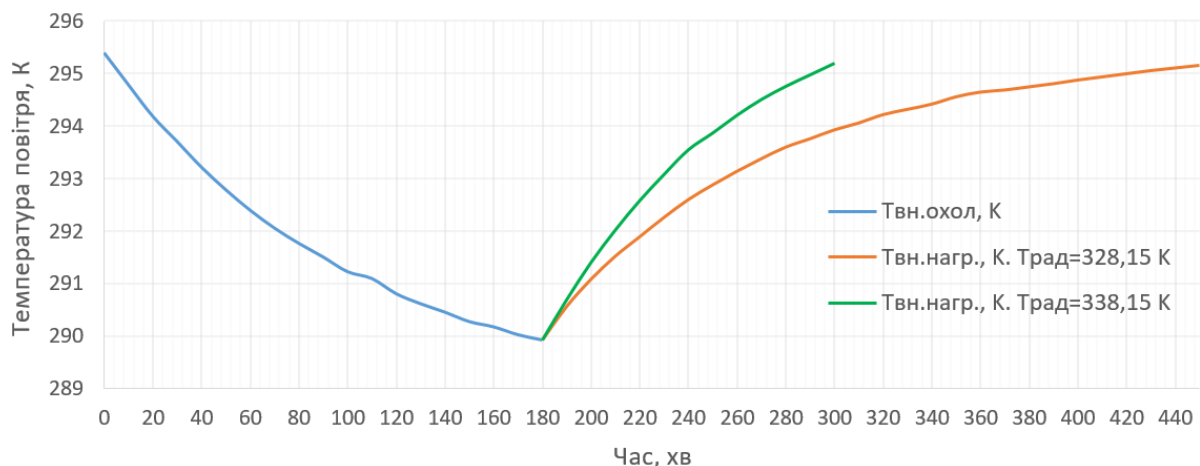
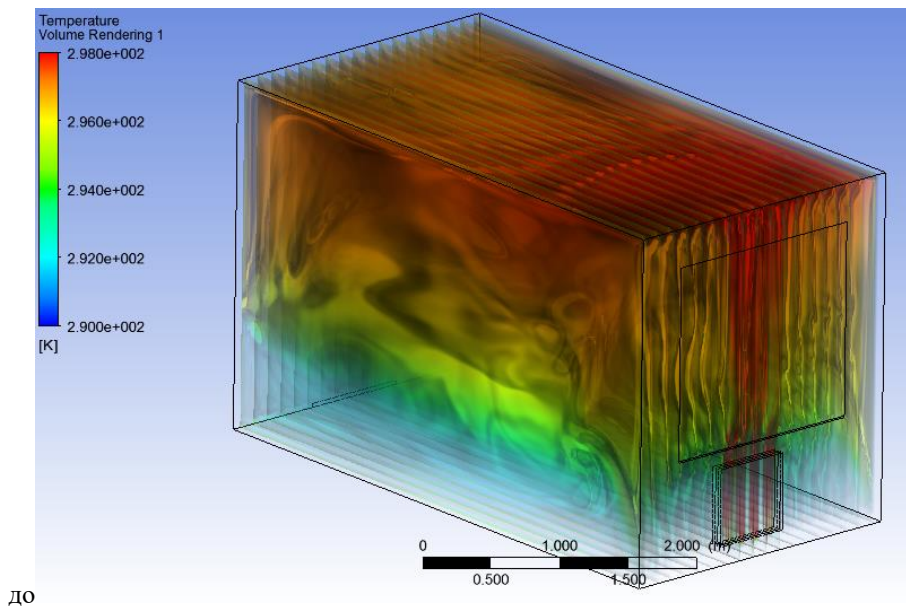


Рисунок 2 – Дослідження тривалості процесів охолодження та нагрівання приміщення при різних температурах поверхні радіатора

Застосування CFD-моделі для оцінки енергоефективності підсистеми тепловіддачі

При енергетичних розрахунках втрат теплоти в підсистемі тепловіддачі за ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [7] припускається, що температури в робочій зоні та внутрішня середньооб'ємна однакові та рівномірно розподілені у приміщенні. Для аналізу тепловтрат спричинених неоднорідністю розподілення внутрішньої температури, на базі CFD-моделі кімнати пропонується дослідити коефіцієнти, що відповідають за вертикальний профіль розподілення температури повітря. Даний підхід дозволить провести якісну оцінку коефіцієнтів, що враховують вплив температурного напору та питомі тепловтрати через зовнішні огорожувальні конструкції.

В основі розрахунку енергоспоживання на потреби опалення, згідно з [7], є припущення, що температура в робочій зоні та внутрішня середньооб'ємна однакові та рівномірно розподілені у приміщенні. Тому існує необхідність враховувати додаткові втрати теплової енергії, спричинені неоднорідністю розподілення внутрішньої температури, яка може бути результатом температурної стратифікації, радіації та конвекції від системи тепловіддачі через інші поверхні, підвищеним коефіцієнтом тепловіддачі біля вікон тощо. На рисунку 3 представлено об'ємну візуалізацію розподілу внутрішньої температури у досліджуваній кімнаті за заданих умов.



до

Рисунок 3 – Об'ємна візуалізація розподілу температур у кімнаті

Таким чином на базі CFD-моделі приміщення можна дослідити два коефіцієнти:

- коефіцієнт, що відповідає за вертикальний профіль розподілення температури повітря;
- коефіцієнт, що враховує питомі тепловтрати через зовнішні огорожувальні конструкції;

Висновки

Наявність результатів дослідження внутрішніх умов приміщення при стаціонарному та нестаціонарному режимах в програмі для гідродинамічного моделювання дає можливість прослідкувати вплив низки факторів на енергоефективність приладу опалення. Підводячи підсумки можна стверджувати, що повітря у приміщення охолоджується швидше ніж нагрівається за тієї ж самої температури радіатора. Тож існує необхідність у надбавці до теплового навантаження при переривчастих режимах роботи

системи опалення.

В ході CFD-моделювання також може бути отримано зміну середньооб'ємної температури та температури на робочій поверхні. Різниця між ними і впливає безпосередньо на значення коефіцієнтів складової загальної ефективності, які відповідають за вертикальний профіль розподілення температури повітря у приміщенні, та наведені в ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Тож методом гідродинамічного моделювання можна уточнити тепловтрати підсистеми тепловіддачі та наведені в ДСТУ коефіцієнти, що і стане напрямком наших майбутніх досліджень.

Список використаної літератури

1. Deshko V., Sukhodub I., Yatsenko O. (2020). Joint influence of intermittent heating mode and outdoor factors on apartment heat load. Collected scientific works of Ukrainian State University of Railway Transport, 191, 18-27.
2. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. – [Чинний від 2014-01-01] – К.: Мінрегіон України, 2014. – 141 с.
3. Buratti, C., Palladino, D., & Moretti, E. (2017). Prediction Of Indoor Conditions And Thermal Comfort Using CFD Simulations: A Case Study Based On Experimental Data. Energy Procedia, 126, 115–122.
4. Gonçalves, J. C., Costa, J. J., & Lopes, A. M. G. (2019). Analysis of the air infiltration through THE doorWAY of a refrigerated room USING different approaches. Applied Thermal Engineering, 113927.
5. Goudarzi, N., Sheikshahrokhdehkordi, M., Khalesi, J., & Hosseiniirani, S. (2021). Airflow and thermal comfort evaluation of a room with different outlet opening sizes and elevations ventilated.
6. Deshko V.I., Sukhodub I.O., Yatsenko O.I. (2021) Analysis of constant and intermittent heating modes using BEM and CFD simulation. Book of abstracts V International Scientific-Technical Conference “Actual Problems of Renewable Power Engineering, Construction and Environmental Engineering”, 3-5 June 2021. Kielce, Poland. Pp. 39-41.
7. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. – [Чинний від 01-01-2016] – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2015. – 202 с.

УДК 697.1

Смалюга Д. О., магістрант
Кафедра теплотехніки та енергозбереження**ЕНЕРГЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГРОМАДСЬКОЇ БУДІВЛІ З БЛИЗЬКИМ ДО
НУЛЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ NZEB**

У даній роботі проведено енергетичне моделювання громадської будівлі в програмному середовищі DesignBuilder/EnergyPlus для різних сценаріїв. Вони включали фактичний стан будівлі та інженерних мереж, базову будівлю з доведенням до нормативів щодо температур та витрати повітря, запропоновану будівлю з доведенням до нормативів опорів теплопередачі огорожувальних конструкцій (ОК) та впровадженням системи вентиляції з теплоутилізацією та покращену запропоновану зі збільшенням опору теплопередачі ОК, ефективності утилізації та з використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

Ключові слова: енергоефективність, BEM-моделювання, DesignBuilder, EnergyPlus, ВДЕ, NZEB.

In this paper, energy modeling of a public building in the DesignBuilder / EnergyPlus software environment for different scenarios is performed. This includes the actual condition of the building and technical systems, the baseline building with temperature and air flow according to norms, the proposed building following the norms on heat transfer resistance of enclosing structures and the introduction of ventilation with heat recovery and improved proposed one with increasing heat transfer resistance and efficiency of heat recovery and use of renewable energy sources (RES).

Key words: energy efficiency, BEM modeling, DesignBuilder, EnergyPlus, RES, NZEB.

Вступ

Україна має одну з найбільш енергоємних економік світу. Інтенсивність використання енергоресурсів та вартість енергоносіїв постійно зростають, тому впровадження енергозбереження – це єдиний логічний шлях вирішення цієї проблеми. Потрібно постійно працювати над зменшенням енерговитрат в повсякденному житті, в промисловості та в будівництві. Погано теплоізовані будівлі можуть втрачати від 30 до 50 відсотків тепла в навколишнє середовище, що не лише несе великі економічні витрати, але й негативно впливає на екологію, так як такі будівлі споживають більшу кількість енергоресурсів, які на даному етапі розвитку суспільства все-таки в більшій мірі представлені традиційними видами.

В Україні прийняті ряд стандартів та законів, що регулюють питання енергетичної ефективності будівель. Наприклад, ДБН «Теплова ізоляція будівель» [1] встановлює вимоги щодо нормативного опору ОК та питомої енергопотребі на опалення, охолодження та гаряче водоспоживання (ГВП). А Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» та підзаконні документи [2] визначають порядок енергетичної сертифікації будівель, форму енергетичного сертифікату, методика розрахунку та мінімальні вимоги до питомого енергоспоживання на опалення та охолодження.

В рамках імплементації Директиви ЄС щодо енергоефективності будівель [3] був прийнятий національний план щодо збільшення кількості будівель з близьким до нульового енергоспоживання – nearly zero-energy buildings (NZEB) [4]. Цим планом затверджується, що не пізніше 31 грудня 2025 р. енергетична ефективність будівель державної та комунальної форми власності, що приймаються в експлуатацію, повинна

бути не нижчою за чинні вимоги до будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії, а не пізніше 31 грудня 2027 р. енергетична ефективність будівель, що приймаються в експлуатацію, повинна бути не нижчою за чинні вимоги до будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії (крім випадків, передбачених Законом).

На сьогоднішній момент в Україні офіційно не затверджені вимоги до будівель з близьким до нульового енергоспоживання. Мінрегіон розмістив проект цих вимог для громадського обговорення ще наприкінці 2020 року [5]. Вимоги до NZEB можна узагальнити наступним чином:

- Енергоспоживання менше 50% від нормативного (клас енергоефективності «А»), розраховане на основі питомого енергоспоживання на опалення та охолодження;
- Коефіцієнт заміщення за рахунок відновлюваних джерел енергії на рівні 50%;
- Клас А для автоматизації інженерних систем відповідно до ДСТУ EN 15232-1:2017;
- Кратність повітрообміну $n_{50}=0,6 \text{ год}^{-1}$;
- Питомі викиди CO_2 - 10 кг/м^2 на рік.

Європейські країни визначають ці вимоги на національному рівні та можуть містити наступні вимоги:

- Фокус на питому споживання первинної енергії в залежності від типу будівлі та кліматичних умов, $\text{кВт}\cdot\text{год/м}^2$;
- Вимоги щодо компенсації власного споживання за рахунок ВДЕ (для всього енергоспоживання, або окремо на опалення та ГВП та споживання електричної енергії);
- Коефіцієнти теплопередачі ОК;
- Клас енергоефективності;
- Питомі викиди CO_2 .

Мета та завдання

Метою даної роботи є аналіз результатів моделювання громадської будівлі для різних сценаріїв з точки зору енергетичної ефективності та використання відновлюваних джерел енергії. Для створення моделі будівлі використовується програмне забезпечення для енергетичного моделювання будівель DesignBuilder / EnegrуPlus.

Відповідно до поставленої мети були виконані такі завдання:

1. Провести енергетичне моделювання будівлі школи №67 в м. Києві в програмному комплексі DesignBuilder / EnegrуPlus для різних сценаріїв покращення рівня енергоефективності
2. Моделювання сонячної електростанції на даху
3. Порівняння показників енергоспоживання, питомого енергоспоживання, споживання первинної енергії та викидів CO_2
4. Аналіз заміщення енергоспоживання за рахунок відновлюваних джерел енергії

Опис досліджуваного об'єкту

Досліджуваний об'єкт – громадська будівля (Середня загальноосвітня школа №67 в Києві). Опалювальна площа відповідно до розрахунків у програмі складає $7\,006 \text{ кв.м.}$, опалювальний об'єм – $25\,200 \text{ куб.м.}$

Будівля забезпечується тепловою енергією на потреби опалення та ГВП від

централізованого теплопостачання. Комплексна термомодернізація будівлі не проводилася, фактичні опори ОК не відповідають нормативним значенням, система опалення застаріла.

Опис моделей в програмі DesignBuilder/EnergyPlus

При моделювання в програмі DesignBuilder/EnergyPlus не враховувалося наступні фактори / показники:

- ефективність термостатичного контролю та приладу опалення;
- ефективність внутрішньобудинкової системи опалення та ІТП;
- втрати в трубопроводах в неопалюваних приміщення.

Це не дозволяє порівнювати результати моделювання з мінімальними вимогами щодо питомого енергоспоживання на потреби опалення та охолодження. Також у випадку динамічного моделювання використовуються погодинні кліматичні дані IWEC для м. Києва [6], що відрізняються від помісячних даних відповідно до ДСТУ «Будівельна кліматологія» [7].

Моделювання та порівняння результатів проводилося для наступних сценаріїв:

- Фактична будівля – Actual building: відповідає фактичному стану будівлі та інженерних систем, калібрування моделі відповідно до споживання електричної та теплової будівлі;

- Базова будівля – Baseline building: відповідає фактичному стану ОК, доведені до нормативних вимог температури на опалення та охолодження, витрати повітря (система вентиляції), питомі потужності на освітлення та обладнання, теплонадходження від людей, система охолодження;

- Запропонована будівля – Proposed building: опори ОК доведені до нормативних вимог, зниження / підвищення температури в неробочі години, утилізація теплоти в системі вентиляції 50%;

- Покращена запропонована будівля – Enhanced proposed building: опори ОК доведені до нормативних вимог проекту нового ДБН «Теплова ізоляція будівель», знижений показник кратності повітрообміну за рахунок інфільтрації, утилізація теплоти в системі вентиляції 75%, сонячна електростанція на даху будівлі потужністю 137 кВт.

Геометрія будівлі для всіх чотирьох сценаріїв не змінювалася, відмінністю для покращеної запропонованої будівлі є наявність сонячної електростанції на даху (рис. 1).

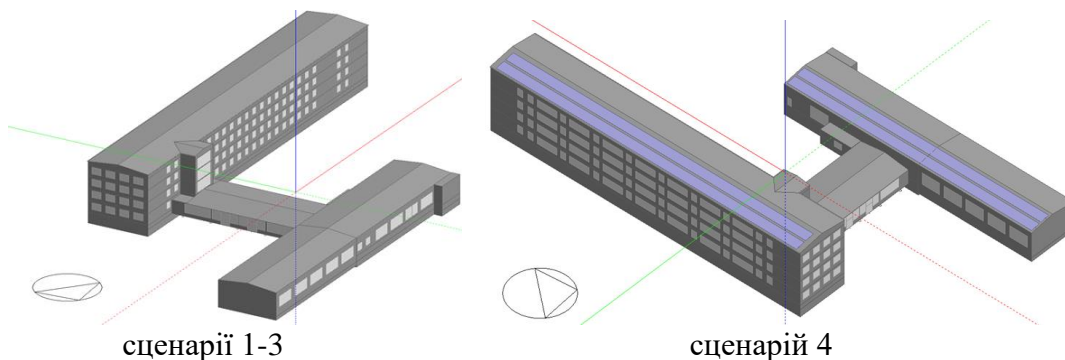


Рисунок 1 – 3D-модель досліджуваного об'єкту

Результати моделювання

Для різних сценаріїв моделювання аналізувалися абсолютні (рис. 2) та питомі (рис. 3) показники споживання енергії на потреби опалення, охолодження, вентилятори та насоси, освітлення, обладнання, ГВП, а також генерація енергії даховою сонячною електростанцією.

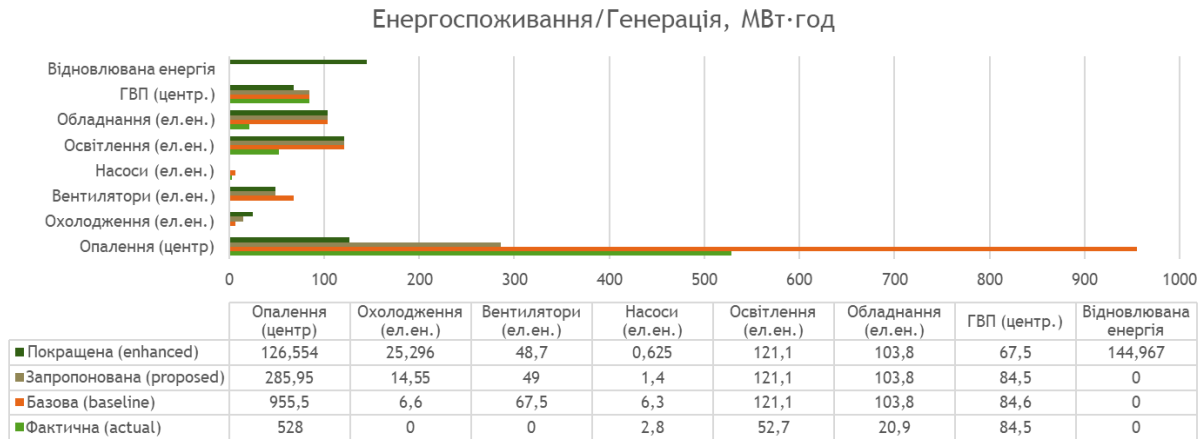


Рисунок 2 – Результати моделювання: енергоспоживання та генерація

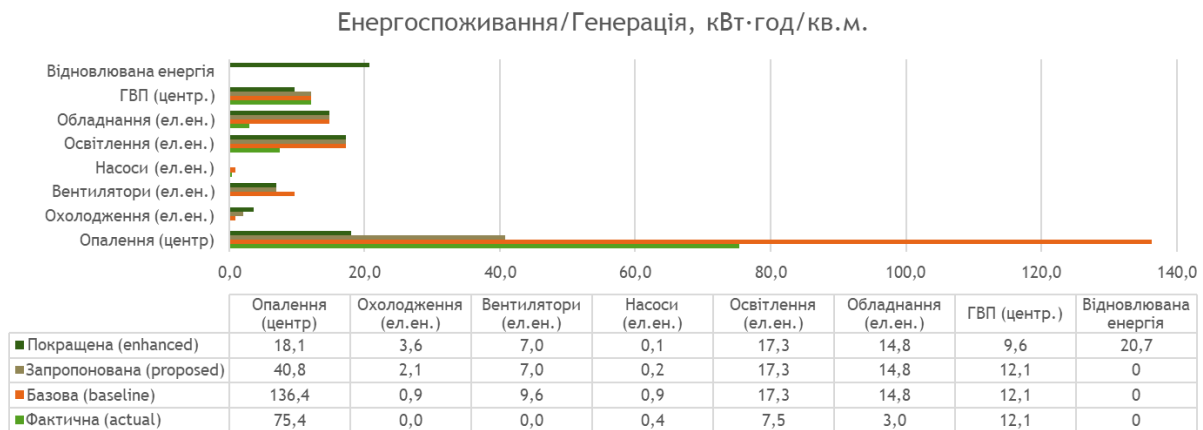


Рисунок 3 – Результати моделювання: питоме енергоспоживання та генерація

Базова будівля споживає більше енергії ніж фактична за рахунок впровадження механічної вентиляції з доведенням повітрообміну до нормативної величини, наявність системи охолодження та нормативних температур на опалення та охолодження приміщень. Покращення опорів ОК та впровадження системи вентиляції з теплоутилізацією для запропонованої будівлі дозволяє знизити загальне енергоспоживання будівлі на рівні 50% відносно базової будівлі. Покращена запропонована будівля збільшує цей показник до 63% без врахування ВДЕ.

Використовуючи фактори первинної енергії та коефіцієнти викидів CO₂ було розраховано питоме споживання первинної енергії (рис. 5) та питомі викиди CO₂ (рис. 6) для відповідних сценаріїв моделювання.

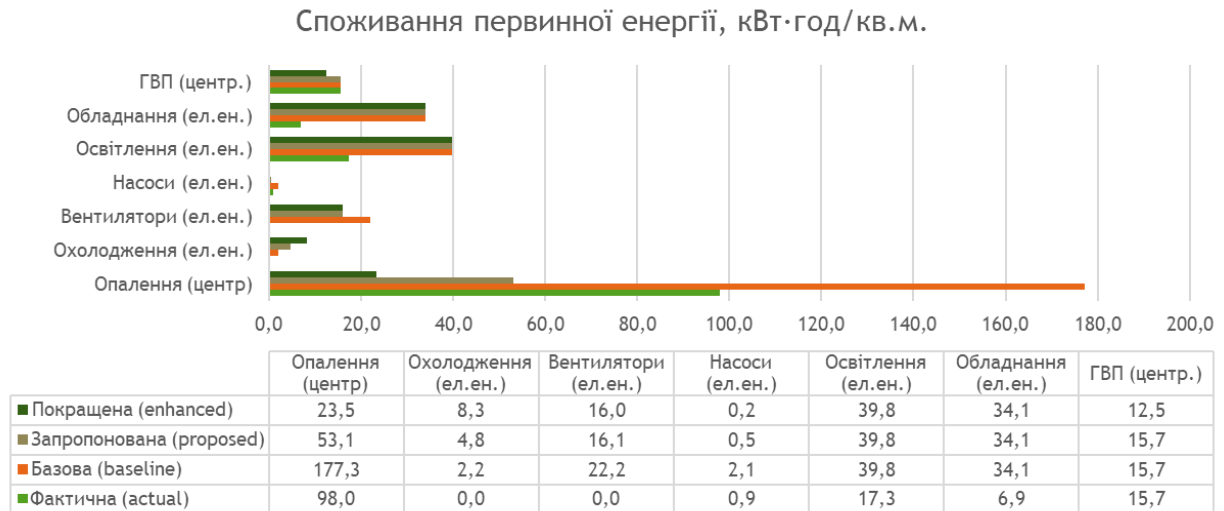


Рисунок 4 – Результати моделювання: питоме споживання первинної енергії

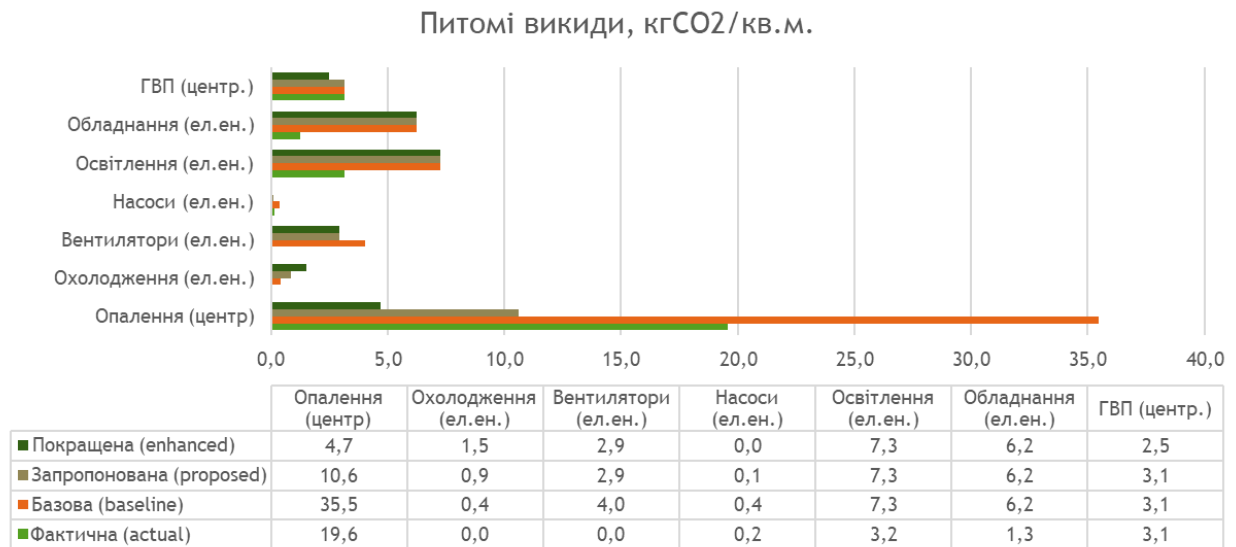


Рисунок 5 – Результати моделювання: питомі викиди CO₂

Для сонячної електростанції (рис. 6) аналізувалася як загальна та питома генерація, так і частка енергії, що споживається об'єктом (64%) та віддається в мережу (36%).

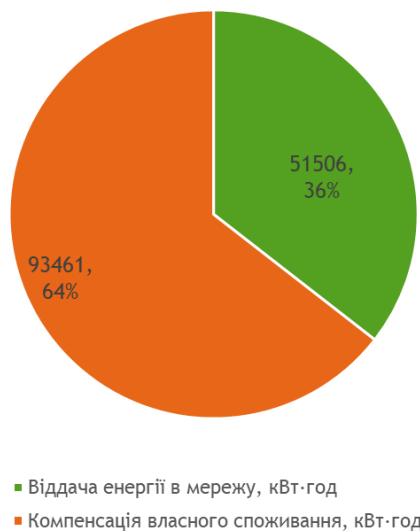


Рисунок 6 – Результати моделювання: генерація енергії даховою сонячною електростанцією

Висновки

За результатами моделювання можемо зробити наступні висновки:

- Неможливість порівнювати результати енергетичного моделювання з нормативними вимогами щодо NZEB за рахунок відмінностей у методології та кліматичних даних;
- Зручність деталізованого моделювання ВДЕ з профілем споживання енергії будівлею при використанні DesignBuilder/EnergyPlus – показники споживання будівлею та віддача в мережу;
- Для громадських будівель не врегульоване питання з віддачею енергії в мережу, це може бути вирішено при впровадженні підходу «met metering» / «net billing»;
- Питоме споживання первинної енергії на опалення та охолодження – 32 кВт·год/кв.м. без врахування ВДЕ;
- Генерація енергії від сонячної електростанції: до 50% від електроспоживання або до 30% від загального споживання електричної та теплової енергії.

Список використаної літератури

1. ДБН В.2.6- 31:2016 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. К.: Мінбуд України, 2016. 64с.
2. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» - <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>
3. Директива Європейського Парламенту і Ради 2010/31/ЄС від 19 травня 2010 року про енергетичні характеристики будівель - https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011-10#Text
4. Національний план збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії - <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/88-2020-%D1%80#Text>
5. Проект наказу Мінрегіону “Про затвердження Вимог до будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії” - <https://www.minregion.gov.ua/base->

law/grom-convers/elektronni-konsultatsiyi-z-gromadskistyuu/proekt-nakazu-minregionu-pro-zatverdzhennya-vymog-do-budivel-z-blyzkym-do-nulovogo-rivnem-spozhyvannya-energiyi/

6. Кліматичні дані IWEC для м. Києва - https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR/UKR_Kiev.333450_IWEC

7. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія». К., 2011. 135с.

**СЕКЦІЯ 3.
ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ.
МЕХАТРОНІКА ЕНЕРГОЄМНИХ
ВИРОБНИЦТВ**

УДК 62-505

Боднарук О.Ю.

Кафедра автоматизації електротехнічних і мехатронних комплексів

НЕЛІНІЙНЕ КЕРУВАННЯ НАСОСНОЮ СТАНЦІЄЮ У РЕЖИМІ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТИСКУ

Анотація. У даній роботі пропонується розробка системи автоматичного керування насосної установки у режимі стабілізації тиску. Здійснений розрахунок керуючих впливів керування тиском у системі, це дозволило зробити систему ефективнішою. Згідно методу динамічного програмування обираємо мінімізували похибки у підтримці рівня тиску системи. Для реалізації самої процедури синтезу схеми перейшли від структурної схеми до системи лінеаризованих диференціальних рівнянь. За допомогою методу цифрового моделювання було виконано дослідження каскадної системи із синтезованим регулятором. При використанні синтезованого регулятора квадратична похибка при відпрацюванні значно зменшилась. На базі даних розрахунків у подальшому успішно розроблено алгоритм роботи системи керування насосними агрегатами та перевірено його працездатність шляхом комп'ютерного моделювання. Для покращення якості перехідного процесу в умовах змін параметрів об'єкта керування, які неможливо контролювати, розроблено алгоритм налаштування ПІД-регулятора з використанням системи, що володіє перевагами нечіткої логіки. Вказано на ефективність розробленого алгоритму при дії на об'єкт керування, на підставі чого можна зробити висновок, що реалізація адаптивних нечітких ПІД-регуляторів дасть змогу покращити показники якості функції передачі системи автоматичного регулювання потужності на валі двигуна насосу, який функціонує в умовах постійних змінних навантажень. Розроблений алгоритм не потребує спеціальних методів ідентифікації параметрів насосу, а його реалізація за допомогою сучасних мікроконтролерів є достатньо простою та доступною.

Ключові слова: ПІД-регулятор, насосна станція, ідентифікація

Abstract. This article describes the development of an automatic control system for a pumping plant in a pressure stabilization mode. The calculation of control influences on the pressure management in the system made it possible to make the system more efficient. According to the dynamic programming method, we select minimized errors in maintaining the system pressure level. To implement the synthesis procedure itself, the scheme was improved from a structural design to a system of linearized differential equations. A cascade system with a synthesized regulator was investigated using digital simulation. With the use of the synthesized regulator, the quadratic error during exercise has been significantly reduced. On the basis of calculation data, the algorithm of operation of the system of control pumping units was successfully developed and its operability was tested by computer simulation. To improve the quality of the transition process under the conditions of changes in the parameters of the control object, which is impossible to control, an algorithm for setting the PID-controller is developed using a system with the advantages of fuzzy logic. The efficiency of the developed algorithm is indicated when the control object is affected, on the basis of which it can be concluded that the implementation of adaptive fuzzy PID-The regulators will improve the transmission performance of the automatic power control system on the pump engine shaft operating under constant variable loads. The developed algorithm does not require special methods of identification of pump parameters, and its implementation with the help of modern

microcontrollers is quite simple and accessible.

Key words: *PID-regulator, pumping station, identification*

Вступ. Системи насосних установок є одним з найважливіших об'єктів автоматизації промисловості Їх надійна та безвідмовна робота значною мірою визначає продуктивність об'єкту, безпека роботи персоналу. Відповідно до цього, алгоритми управління такими системами мають забезпечувати своєчасне включення насосів системи насосної установки, а також виключення можливих перевантажень двигунів та гідравлічної мережі в цілому. З раціональним управлінням швидкістю асинхронних двигунів, що використовуються в насосах систем водовідливу, успішно справляються перетворювачі частоти на базі IGBT – транзисторів [1]. Вони забезпечують плавність вимірювання швидкості, а відповідно, та продуктивності насосів, виключають перевантаження двигунів під час пуску. За відсутності суттєвих обмежень у бюджеті підприємства, використання таких перетворювачів доцільно до роботи з кожним насосом окремо. Для великих потужностей електродвигунів установка кількох перетворювачів частоти у систему насосної установки стає неможливою саме через фінансових міркувань та у сучасних насосних установках використовується каскадне керування. При такому управлінні лише один із насосів живиться від перетворювача частоти, а інші запускаються від мережі за допомогою контактора, або в кращому випадку від пристрою плавного пуску лінійним наростанням напруги. І тут у перетворювачі частоти програмно включений ПІД – регулятор тиску у вивідному трубопроводі або рівня води. При прямому запуску додаткових насосів регулятор технологічного параметра в перетворювачі частоти не встигає у повній мірою компенсувати збільшення тиску та в системі водовідливу відбувається гідравлічний удар, який часто призводить до прориву труб та зупинки всього комплексу.

Мета та завдання. В сучасних системах водопостачання все частіше використовується каскадне керування декількома насосами, замість регулювання продуктивності одного великої потужності. Це дозволяє суттєво підвищити енергоефективність обладнання, особливо протягом добової зміни споживання води. Особливості регулятора тиску, що керує регульованим насосом, двигун якого живиться від перетворювача частоти є те, він налаштовується не враховуючі існуючі додаткові насоси. А особливістю роботи такої каскадної системи керування є те, що регулювання тиску здійснюється основним регульованим насосом, а в разі необхідності підключається ще й додатковий нерегульований. Тобто, у сучасних каскадних системах керування тиском керуючих вплив на регульований насос не містить змінних, що відповідають релейному перемикаючому нерегульованих насосів, тобто алгоритм керування є лінійною функцією від різниці заданого та поточного тиску. У більшості випадків для стабілізації тиску в системі використовується ПІД – регулятор, який забезпечує у більшості випадки достатню точність регулювання. Основним недоліком такого регулятора є те, що він не враховує вмикання нерегульованих насосів і фактично визначає їх як збурення для існуючого контуру.

Матеріал і результати досліджень. У той же час раціональним було б врахування керуючих впливів від некерованих насосів як складову функції керування тиском на виході гідравлічної системи, детальніше:

$$U = f(P_{\text{set}} - P_{\text{act}}) + \sum_{i=1}^n Q_i \cdot \theta(P_{\text{set}} - P_{\text{act}}) \quad (1)$$

де: Q_i – продуктивність окремого некерованого насосу; θ – функція Гевісайда; n – кількість некерованих насосів, що в нашій структурній схемі дорівнює одиниці; $P_{\text{set}} - P_{\text{act}}$ – різниця між заданим та поточним значенням; $f(P_{\text{set}} - P_{\text{act}})$ – безперервна

функція зміни вихідного сигналу регулятора.

Щодо реалізації такого алгоритму керування, яка містить, як аналогову, так і дискретні складові доцільно привести їх до одного типу, це і дозволить використовувати для синтезу регулятора відомі методики. Використаємо заміну нелінійної залежності в функції Гевісайда лінійною залежністю із коефіцієнтом, що залежить від аргументу. При використанні такої процедури «миттєвої» лінеаризації, нелінійна залежність замінюється на лінійну:

$$\theta(P_{\text{set}} - P_{\text{act}}) = K(P_{\text{set}} - P_{\text{act}}) * (P_{\text{set}} - P_{\text{act}}), \quad (2)$$

де
$$K(P_{\text{set}} - P_{\text{act}}) = \begin{cases} \frac{1}{P_{\text{set}} - P_{\text{act}}}, & P_{\text{set}} - P_{\text{act}} \geq P_{\text{пад}} \\ 0, & P_{\text{set}} - P_{\text{act}} < P_{\text{пад}} \end{cases}$$
 - коефіцієнт лінеаризації,

перераховується в режимі реального часу при кожній зміні аргументу функції; $P_{\text{пад}}$ – падіння тиску відносно заданого значення, при якому вмикається додатковий насос. Структурна схема системи керування тиском із представленням керування некерованими насосами як одного із керуючих впливів має вигляд:

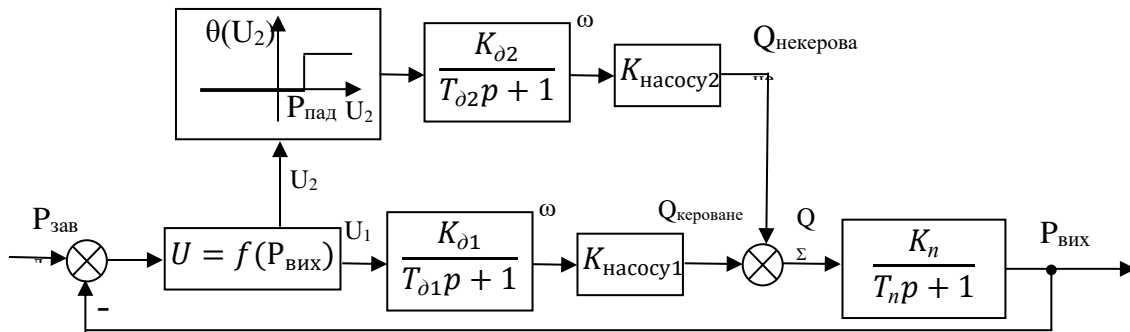


Рисунок 1. Структурна схема контуру регулювання тиску з урахуванням зміни продуктивності некерованих насосів у вигляді керуючого впливу.

Позначення на рисунку 1: $P_{\text{завд}}$ – задане значення тиску, $P_{\text{вих}}$ – вихідне або поточне значення тиску, ω – поточна швидкість керованого насосу, Q – поточна продуктивність керованого насосу, $Q_{\text{некероване}}$ – поточна сумарна продуктивність некерованого насосу, Q_{Σ} – сумарна продуктивність насосної станції, $K_{\text{д1}}, T_{\text{д1}}, K_{\text{д2}}, T_{\text{д2}}$ – коефіцієнт підсилення та стала часу двигуна керованого та некерованого насосу, $K_{\text{насосу1}}, K_{\text{насосу2}}$ – коефіцієнт продуктивності керованого та некерованого насосу; $K_{\text{п}}, T_{\text{п}}$ – коефіцієнт підсилення і стала часу технологічного процесу; $\theta(U_2)$ – функція Гевісайда, в залежності від функції керування некерованим насосом; U_1, U_2 – функції керування на виході системи управління.

Таким чином отримуємо структурну схему третього порядку із двома керуючими впливами та однією суттєвою нелінійністю. Для такої системи доцільно синтезувати квазіоптимальний нелінійний регулятор методом динамічного програмування з використанням концепції методу Пірсона [2], шляхом лінеаризації нелінійності методом «січних» [3].

Для реалізації процедури синтезу необхідно перейти від структурної схеми до системи лінеаризованих диференціальних рівнянь (3):

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -a_1 x_1 + a_2 (x_2 + x_3); \\ \dot{x}_2 = -a_3 x_2 + b_1 U_1; \\ \dot{x}_3 = -a_4 x_3 + b_2 U_2; \end{cases} \quad (3)$$

де $x_1 = P_{\text{вих}}; x_2 = Q_{\text{кероване}}; x_3 = Q_{\text{некероване}}; a_1 = \frac{1}{T_{\text{п}}}; a_2 = \frac{K_{\text{п}}}{T_{\text{п}}}; a_3 = \frac{K_{\text{насосу1}}}{T_{\text{д1}}}; a_4 =$

$\frac{K_{\text{насосу2}}}{T_{\text{д2}}}$; $b_1 = \frac{K_{\text{насосу1}}K_{\text{д1}}}{T_{\text{д1}}}$; $b_2 = \frac{K_{\text{насосу2}}K_{\text{д2}}K(P_{\text{вих}})}{T_{\text{д2}}}$; $K(P_{\text{вих}})$ – коефіцієнт лінеаризації методом «січних».

Згідно методу динамічного програмування обираємо функціонал якості, який необхідно мінімізувати. Оскільки в першу чергу для системи керування першочергово ставиться вимога високої точності по підтримки рівня тиску, вибираємо квадратичний функціонал якості з обмеженням на середньоквадратичну похибку. Для виключення частих перемикань контактора доцільно мінімізувати керуючі впливи в синтезованій системі, тоді квадратичний функціонал якості матиме вигляд [4]:

$$\min_{U_1, U_2} J = \int_0^{\infty} [q_1 x_1^2 + q_2 x_2^2 + q_3 x_3^2 + r_1 U_1^2 + r_2 U_2^2 + U_{1\text{опт}}^2 + U_{2\text{опт}}^2] dt, \quad (4)$$

де $U_{1\text{опт}}$, $U_{2\text{опт}}$ – оптимальні впливи за відповідними каналами; $q_1 = \frac{1}{x_{1\text{max}}^2}$; $q_2 = \frac{1}{x_{2\text{max}}^2}$; $q_3 = \frac{1}{x_{3\text{max}}^2}$; $r_1 = \frac{1}{U_{1\text{max}}^2}$; $r_2 = \frac{1}{x_{2\text{max}}^2}$ – вагові коефіцієнти, що визначають обмеження на максимальні відхилення змінних стану та керуючих впливів.

Останні дві складові функціоналу якості формують додаткові обмеження на оптимальне керування, це не призводить до якісної зміни алгоритму керування, та дає можливість вирішувати а лінійну алгебраїчну систему рівнянь замість системи квадратичних рівнянь. Для системи лінеаризованих диференційних рівнянь та вибраного функціоналу якості складаємо функціональне рівняння Белмана:

$$\min_{U_1, U_2} J = q_1 x_1^2 + q_2 x_2^2 + q_3 x_3^2 + r_1 U_1^2 + r_2 U_2^2 + \frac{\partial S}{\partial x_1} (-a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_2 x_3) + \frac{\partial S}{\partial x_2} (-a_3 x_2 + b_1 U_1) + \frac{\partial S}{\partial x_3} (-a_4 x_3 + b_2 U_2) = 0, \quad (5)$$

де S – квадратична функція Белмана.

Виконуємо пошук мінімуму функції за керуючими впливами U_1 , U_2 . При цьому беремо похідну за цими ж керуючими впливами, і в результаті отримуємо керування в явному вигляді:

$$U_1 = -\frac{b_1}{2r_1} \frac{\partial S}{\partial x_2}; U_2 = -\frac{b_2}{2r_2} \frac{\partial S}{\partial x_3}. \quad (6)$$

Дані вирази підставляємо у функціональне рівняння і отримуємо модифіковане рівняння Гамільтона – Якобі – Белмана (замкненій формі):

$$q_1 x_1^2 + q_2 x_2^2 + q_3 x_3^2 + \frac{\partial S}{\partial x_1} (-a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_2 x_3) - a_3 \frac{\partial S}{\partial x_2} x_2 - a_4 \frac{\partial S}{\partial x_3} x_3 = 0 \quad (7)$$

Рішенням цього рівняння є функція S , що для лінеаризованої системи диференційних рівнянь та квадратичного функціоналу визначається у вигляді квадратичної форми, тобто $S = \sum_{ij=1}^3 K_{ij} x_i x_j$, $K_{ij} = K_{ji}$.

Вирази для похідних підставляємо в рівняння Гамільтона – Якобі – Белмана, отримуємо:

$$q_1 x_1^2 + q_2 x_2^2 + q_3 x_3^2 + (2K_{11}x_1 + 2K_{12}x_2 + 2K_{13}x_3)(-a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_2 x_3) - a_3(2K_{12}x_1 + 2K_{22}x_2 + 2K_{23}x_3)x_2 - a_4(2K_{13}x_1 + 2K_{23}x_2 + 2K_{33}x_3)x_3 = 0 \quad (8)$$

Знаходимо коефіцієнти квадратичної форми та підставляємо їх в алгоритми керування, вирішуючи систему рівнянь:

$$U_1 = -\frac{b_1}{r_1} \left(\frac{\frac{q_1}{2a_1} a_2}{a_3 + a_1} x_1 + \frac{q_1 + 2 \frac{q_1}{2a_1} a_2}{2a_3} x_2 + \frac{\frac{q_1}{2a_1} a_2 + \frac{q_1}{2a_1} a_2}{a_3 + a_4} x_3 \right)$$

$$U_2 = -\frac{b_2}{r_2} \left(\frac{\frac{q_1}{2a_1} a_2}{2a_4 + a_1} x_1 + \frac{\frac{q_1}{2a_1} a_2 + \frac{q_1}{2a_1} a_2}{a_3 + a_4} x_2 + \frac{q_3 + 2 \frac{q_1}{2a_1} a_2}{2a_4} x_3 \right). \quad (9)$$

Графіки перехідних процесів при використанні класичного (ПД – регулятора) та синтезованого регулятора представлені на рисунку 2. Дослідження каскадної системи із синтезованим регулятором проведено методом цифрового моделювання. Варто уточнити, що при використанні синтезованого регулятора квадратична похибка при відпрацюванні завдання значно зменшується.

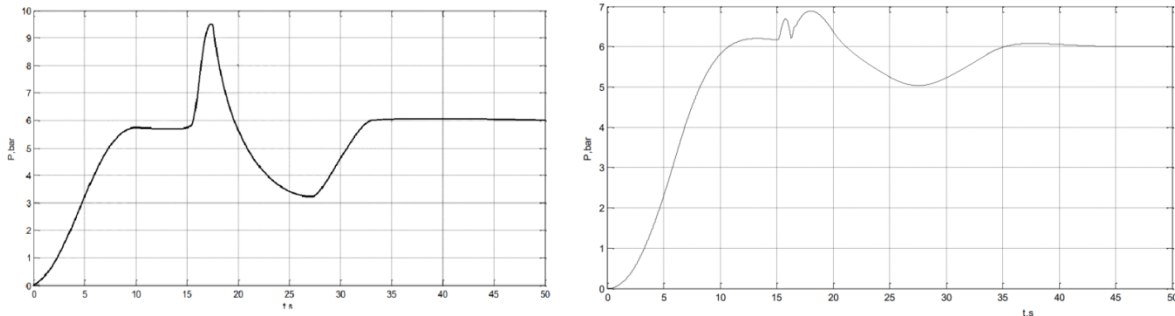


Рисунок 2. Графіки перехідних процесів при використанні ПД – регулятора (зліва) та синтезованого регулятора (справа).

Висновки. Дана система керування технологічним процесом і насосом безпосередньо забезпечує безаварійну роботу об'єкту керування та досягнення мети, яка була встановлена на початку розробки всієї системи. В ході виконання даної роботи дана тема розглядається з точки зору ефективності. Перспектива щодо покращення розглянутої системи відкрита, так як основним недоліком ПД-регулятора регулятора є те, що він не враховує вмикання нерегульованих насосів і фактично визначає їх як збурення для існуючого контуру, дана система може бути покращена, що і було вирішено у цій роботі.

Список використаних джерел

1. Чермалих А.В. «Вибір раціональних систем автоматизованого управління компресорних станцій теплового насосу/ А.В. Чермалих, В.М. Чермалих, І.Я. Майданський//Вісник НТУ «ХП», Серія «Нові рішення в сучасних технологіях», 2012, №50 (956), с.107–116.
2. Pearson J. D. Approximation Methods in optimal control. Sub-optimal control. // Electronics and control. . 1962., No. 20 Vol. 13. P. 453-467.
3. Гельднер К. , Кубик С. Нелинейные системы управления . Москва: Мир, 1987. 368 с.
4. Справочник по теории автоматического управления / под ред. Красовского А.А. М: Наука, 1987. 712 с.

Робота виконана під керівництвом доц. Торопова А.В.

УДК 621.316

Барсукова К.І.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ОБЛАДНАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Анотація: Стаття присвячена дослідженню діагностування стану системи сонячних панелей шляхом використання тепловізійних камер. Був виконаний підбір тепловізійного обладнання, наведені його особливості, переваги та недоліки.

Ключові слова: діагностування, сонячні панелі, тепловізор, сонячна енергетика.

Abstract: The article is devoted to the study of diagnosing the state of the solar panel system through the use of thermal imaging cameras. The selection of thermal imaging equipment was performed, its features, advantages and disadvantages were given.

Key words: diagnostics, solarpanels, thermalimager, solarenergy.

Вступ. Для ефективного використання сонячних електростанцій, які в даний час стають все більш популярними, та для отримання прибутку від інвестицій в сонячну енергетику є кілька необхідних умов, таких як тривалий час безвідмовної роботи панелей і обладнання та їх висока якість. Для забезпечення безаварійної роботи сонячної електростанції необхідно мати ефективну систему діагностування панелей вже після їх монтажу. Одним з оптимальних методів такої діагностики є використання тепловізорів, які можуть уловити локальні перегріву ділянок системи і не потребують демонтажу системи, що є значною перевагою.

Мета та завдання. Створити систему діагностування для сонячної електростанції з використанням тепловізорів, описати особливості, переваги та недоліки її використання.

Матеріал та результати досліджень. ККД сонячних панелей, а разом з ним і вихідна потужність сонячної електростанції, залежить від багатьох факторів, такі як погодні умови, місце розташування панелей, кут падіння сонячних променів і т.д. Одним з важливих параметрів, що впливають на ККД сонячних панелей являється їх температура.

При збільшенні температури сонячної панелі помітно знижується їх ефективність вироблення електроенергії. Це відбувається через те, що при підвищенні температури опір фотоелементу збільшується, а отже сила струму та напруга зменшуються. І, в результаті, знижується сумарна потужність. Підвищена температура окремих ділянок сонячної панелі може свідчити про дефект або потенційну проблему, тому є необхідність її контролю. Для діагностування стану сонячних панелей по температурі пропонується встановити тепловізори, що вловлюють випромінювання різної довжини хвиль і відображають це певним кольором у діапазоні від чорного до білого в вигляді термограм.

Сонячні панелі, в випадку неякісних фотомодулів можуть мати ефект локального перегріву окремих ділянок, за рахунок чого стає можливим оцінювати якість сонячної панелі за допомогою тепловізора. Вибір саме цього методу діагностики сонячної панелі є найоптимальнішим і має кілька переваг. На тепловізійному зображенні добре помітні дефекти фотомодулів і, на відміну від більшості інших методів, тепловізори можуть використовуватись для діагностування вже встановлених сонячних панелей прямо під час роботи сонячної електростанції. Таким чином, за допомогою цього методу дефекти панелей і їх потенційні проблеми можна виявити до відмови всієї системи.

Тепловізійне діагностування дозволить виявити дефекти не тільки в самих

сонячних панелях, а й в інших елементах системи. Так як елементи системи сонячної електростанції піддаються впливу зовнішніх чинників через те, що в більшості випадків розміщуються на відкритому просторі, в них з більшою імовірністю можуть виникнути несправності пов'язані з механічним зносом, ржавінням контактів, осипанням та випаровуванням матеріалу під час руху, часте перемикання контактів. Також, важливим чинником є те, що елементи цієї системи знаходяться віддалено від доступу людини, тому проводити фізичний огляд та планові ремонтні роботи незручно. Проте, відслідковуючи та використавши такі параметри як допустима температура нагріву, перевищення температурного діапазону, коефіцієнт дефектності, надлишкова тепловіддача дозволяють виявити дефекти порівнявши ці параметри з робочим зразком. Цей метод аналізу має відносно низьку вартість в порівнянні з альтернативними методами, а також його перевагами є висока оперативність, дистанційний аналіз та можливість проводити аналіз не зупиняючи обладнання і не демонтуючи його. [1]



Рисунок 1 – Приклад термограми тепловізійного обстеження електрообладнання

Обирати тепловізійні камери потрібно ретельно, адже не всі їх види підходять для даної діагностики. Також існують певні правила для ефективного проведення діагностики. Для точно виділення температурних градієнтів потрібно, щоб тепловізійна камера мала чутливість $\leq 0,08$ К, роздільну здатність не менше ніж 320×240 пікселів. Також є бажаною наявність ручних регулювань рівня і діапазону [2].

Як об'єкт діагностування була обрана сонячна електростанція (рис.2, рис.3), що складається з сонячних панелей TrinaSolar TSM-DE17M з номінальною потужністю $P_W = 450$ Вт [3], трекеру двохосового AS Sunflower 20, акумуляторних батарей типу Luxeon LiFePO₄, контролеру заряду-розряду акумуляторних батарей та трьохфазного інвертора MultiPlus 48/9 – 380.

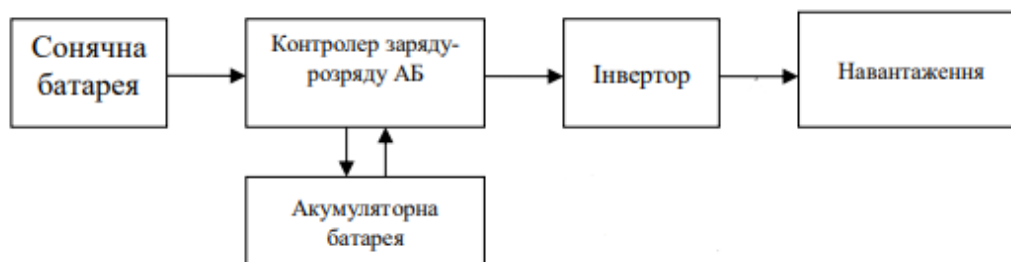


Рисунок 2 – Загальна функціональна схема сонячної електростанції

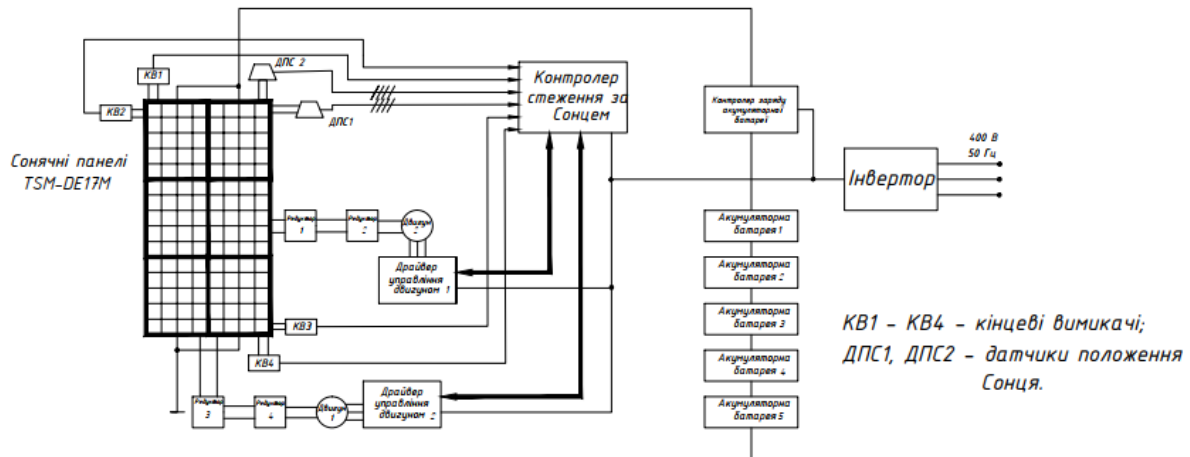


Рисунок 3 – Повна функціональна схема двокоординатної системи наведення сонячних панелей

Сонячна електростанція має шість великих сонячних панелей по 144 фотоелемента в кожній, пропонується встановити шість тепловізійних камер Hikvision DS-2TD2235D-50, по одній для кожної панелі. Інформація з тепловізійних камер будуть передаватись прямо до людини-оператора, що має слідкувати за параметрами та станом сонячної електростанції. У випадку виявлення підвищеної температури місцево або на всіх панелях одночасно, оператор має приймати рішення щодо перевірки та заміни окремих модулів у першому випадку, або, за необхідністю, охолодження панелей у другому випадку.

Процес діагностування необхідно проводити при рівні сонячної інсоляції не менше 500 Вт/м^2 для гарантії, що тепловий контраст буде достатнім для точних вимірювань. Важливим є кут огляду тепловізійної камери відносно площини сонячної панелі, рекомендований кут $5-60^\circ$ (зелений сектор на рис. 4).



Рисунок 4 – Рекомендований кут огляду для тепловізійної камери

Якщо сонячні панелі були встановлені так, що наявний доступ до її зворотньої сторони, то рекомендується проводити термографію нижньої поверхні фотомодулів. В такому випадку мінімізуються помилкові відображення на склі від хмар і сонця, до того ж через те що, сонячний елемент буде контролюватись безпосередньо, а не через поверхню скла, контраст температур буде вищим. Також, розташування тепловізійного обладнання з зворотньої сторони панелей дозволяє проводити контроль не тільки панелей, а й модулів та приводних двигунів сонячного трекера.

Діагностика панелей може проводитись під навантаженням, але для отримання додаткової інформації про стан панелей практикується проведення перевірки без

навантаження або при короткому замиканні. Якщо буде виявлено, що певна частина сонячної панелі має вищу температуру ніж інші, це може вказувати на ряд певних несправностей, в залежності від того, яке розташування і форму мають «гарячі плями». У випадку, коли виявиться, що весь модуль більш нагрітий, ніж зазвичай, то це потребує перевірки правильності підключення, а коли ж гарячими проявляються окремі клітинки або ряд клітинок, утворюючи так званий «гарячий клаптевий малюнок» це може свідчити, як правило, про дефектні діоди або про внутрішні короткі замикання (тріщини) фотокристалів.

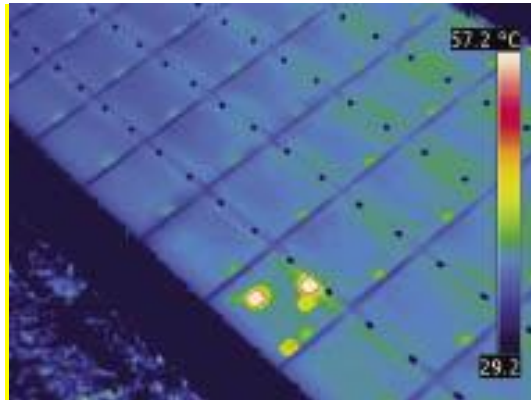


Рисунок 5 - Приклад «клаптикового» дефекту сонячної панелі

Висновки. Проведення діагностування стану обладнання сонячної електростанції методом використання тепловізійних камер дає можливість якомога швидше виявити дефекти на рівні окремих фотоелементів, електричних з'єднань або всієї панелі. Перевагами є те, що контроль температури може проводитись при різних умовах експлуатації в робочому стані сонячної електростанції. Перевірки систем сонячної електростанції за допомогою тепловізійних камер від контролю якості на етапі монтажу і до періодичних оглядів під час роботи дозволяють забезпечити повний і простий моніторинг стану системи, що дозволяє отримати максимальну ефективність від електростанції та її максимальний термін експлуатації.

Список використаних джерел.

1. Теплоаудит електричних установок. Електронний ресурс: <https://akvilonpro.ua/ua/energoberezhenie/teplovizionnoye-obsledovaniye-kiev/teploaudit-elektrostanovok.html>.

2. Тепловізійне обстеження сонячних панелей. Електронний ресурс: <https://doszt.gov.ua/uk/teploviziynе-obstezhennya-sonyachnih-paneley/>.

3. Каталог продукції фірми «ECO TECH UKRAINE». Електронний ресурс: [URL:https://eco-tech.com.ua/](https://eco-tech.com.ua/).

Науковий керівник ст. викладач Дубовик В.Г.

УДК 532.5

Івчук В.А.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ЯВИЩЕ КАВІТАЦІЇ У РОБОТІ ВІБРОКАВІТАЦІЙНОГО БУРА

***Анотація.** Розглядається робота віброкавітаційного бура за впливу на нього явища кавітації. При розробці бура були додані певні елементи. Такі як шарошки і трубка Вентурі.*

***Ключові слова:** віброкавітаційний бур, кавітація, зрошення.*

***Abstract.** The work of the vibrocavitation drill under the influence of the cavitation phenomenon is considered. Certain elements were added during the development of the drill. Such as cones and venturi.*

***Key words:** vibrocavitation drill, cavitation, irrigation.*

Вступ. Кавітація – фізичний процес, який характеризується утворенням бульбашок чи каверн в рідких середовищах, з подальшим їх спаданням і вивільненням великої кількості енергії [1].

Цей процес характеризується виникненням шумів і гідравлічних ударів. Бульбашки кавітацій містять у собі розріджені пари. Явище кавітації супроводжуються виникненням в результаті місцевих знижень тисків в рідині, які відбуваються при збільшенні її швидкості, наприклад за гребним гвинтом судна, називають гідродинамічною кавітацією, або при проходженні акустичних хвиль підвищеної інтенсивності під час напівперіоду розрідження, називають акустичною кавітацією.

Основними причинами виникнення кавітації в результаті зовнішніх фізичних впливів. Кавітаційні бульбашки, які переміщуються з потоком до області з високими тисками, або під час напівперіоду стискання, бульбашки схлопуваються, створюючи при цьому ударні хвилі.

Кавітація з'являється при рухомих деталях – при лопатках турбін нафтових свердловин.

При проектуванні нафтових бурових машин враховується наступні параметри:

1. Кавітаційна стійкість матеріалів обладнання, які контактують з потоком рідин, та мають здатність протистояти руйнуванням під дією гідравлічних мікроударів, в наслідок кавітацій змін гідродинамічних умов в потоках. Мірою кавітаційної стійкості визначається як втрата маси або об'єму матеріалів за одиницю часу.

2. Кавітаційне зношування характеризується зношуванням за умови руху твердого тіла в рідині, під час якого бульбашка газу руйнується поруч з поверхнею, та призводить до створення локального високого удару високої температури. Кавітаційні руйнування характеризуються локальним утворенням місцевих заглибин і каверн [2].

Кавітаційне зношування характеризується наступним чином: під дією удару поверхня корпусу бурильної установки деформується та піддається наклепу; з'являються лінії зсуву. Багаторазові повторювані удари викликають послаблення матеріалів та окремих мікроділянок та супроводжується появою тріщин [3].

Мета та завдання. Основною метою данної роботи є розробка віброкавітаційного бура, з удосконаленням її конструкції шляхом встановлення сопел, трубки вентурі та дифузору.

Матеріал та результати дослідження. Розроблена конструкція віброкавітаційного буру наведена на рисунку 1.

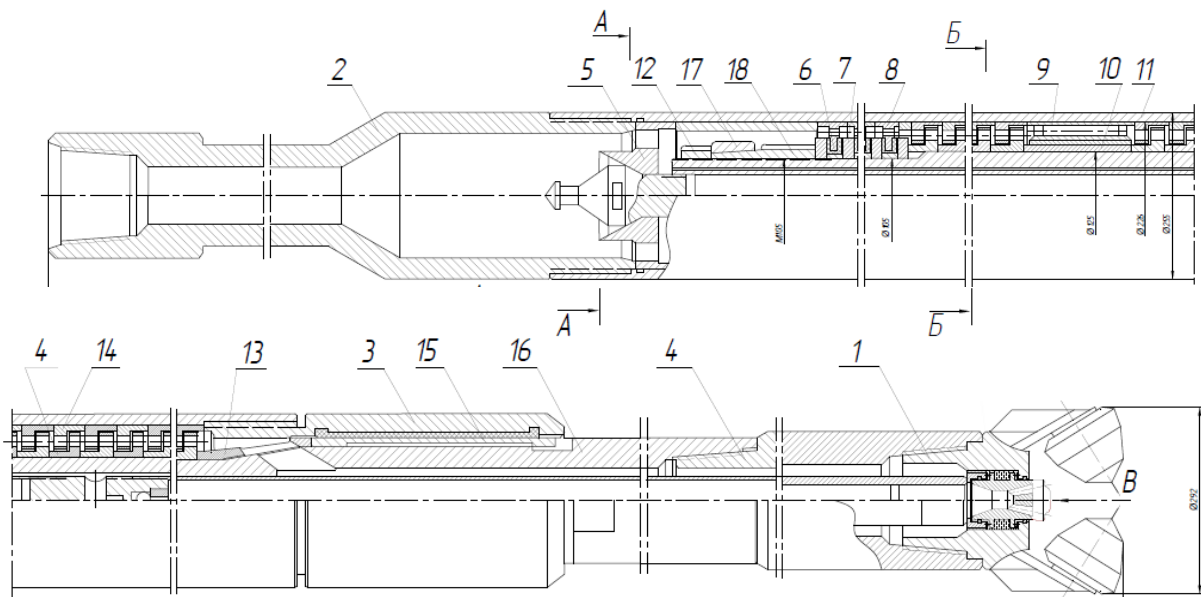


Рисунок 1 – Віброкавітаційний бур, де 1 – Бурильне долото з обертовими шарошками. 2 – Трубка вентури. 3 – Перехідник. 4 – Фіксатор бурильного долота. 5 – Дифузор. 6 – Кільце п'яти. 7 – Диск п'яти. 8 – Підпятник. 9 – Сопло. 10 – Ущільнювач. 11 – Колона. 12 – Контргайка. 13 – Упор. 14 – Втулка. 15 – Проміжна труба. 16 – Труба. 17 – Кільце. 18 – Патрон.

Особливістю конструкції розробленого віброкавітаційного буру є те, що сопла, які встановлені в конструкції бура, та за рахунок реактивної тяги, здійснюють розкручення тим самим ведуть очистку бурових головок (виконавчих органів), та підвищувати дію на привибійну зону нафтового пласта, а саме при бурінні, по трубі йде рідкий розчин. Він розкручує турбіну. Наконечники бура - шарошки. Вони обертаються навколо осі і роздавлюють породу в свердловині, ці шарошки намивають ґрунт, який розчином вимивається між стовбуром конструкторії бурової системи та ґрунтом.

Шарошки роздавлюють породу, а буровий розчин виносить на поверхню. На поверхні вони потрапляють в трубу. Трубку Вентури, яку встановлено в внутрішній частині бурильної машини, створивши реактивний момент, кавітація отримає ефект кручення, і дія на гірську породу посилюється.

При проектуванні елементів конструкції віброкавітаційного буру важливо зазначити, що кожна деталь буру підлягає перевірці, або розрахунку на міцність перед введенням в експлуатацію, враховуючи умови експлуатації, робити обладнань під високим тиском та взаємодія буру з кавітаційними явищами [4].

Висновки. В даній роботі проведено аналіз існуючих методів буріння та сучасних технологій буріння та дії на привибійну зону нафтового пласта, проведена розробка віброкавітаційного бура, з удосконаленням її конструкції шляхом встановлення сопел, трубки вентури та дифузору. Особливістю конструкції розробленого віброкавітаційного буру є те, що сопла, які встановлені в конструкції бура, та за рахунок реактивної тяги, здійснюють розкручення тим самим ведуть очистку бурових головок (виконавчих органів), та підвищувати дію на привибійну зону нафтового пласта, а саме при бурінні, по трубі йде рідкий розчин. Він розкручує турбіну. Наконечники бура - шарошки. Вони обертаються навколо осі і роздавлюють породу в свердловині, ці шарошки намивають ґрунт, який розчином вимивається між стовбуром конструкторії бурової системи та

грунтом.

Шарошки роздавлюють породу, а буровий розчин виносить на поверхню. На поверхні вони потрапляють в трубу. Окремо проведено розрахунок основних параметрів розробленого обладнання 3,15 м³/с – продуктивність створеного буру, приріст робочого тиску 421,5 МПа. Проведено розрахунок на міцність яке становить 85,9 МПа та допустиме напруження 0,149 МПа. З дотриманням умови стійкості.

Список використаних джерел.

1. Федоткин І. М., Гулий І.С. Кавітація, кавітаційна техніка та технологія, їх використання в промисловості (теорія, розрахунки та конструкції кавітаційних апаратів). Ч.1. - К.: Поліграфкнига, 1997. - 940 с.

2. Ред. В. С. Білецького. — Д.: Східний видавничий дім, 2004. — Т. 3. — 752 с. — ISBN 966-7804-78-X.

3. Пат. 251800 UA, МПК E21B10/18 Пристрій для буріння свердловин [Текст] /Паневник О.В., Яремійчук Р.С.: № 97031449; заявл. 27.03.1997; опубл. 30.10.1998.

4. Пат. 2239040 C1 RU, МПК E22B10/12 Пристрій для буріння горизонтальних свердловин вібраційно-обертвовим способом [Текст] / Габрахимов М.С., Хузина Л.Б.: № 9334568; заявл. 10.05.2005; опубл. 21.06.2006.

Науковий керівник д.т.н., Шевчук С.П.

УДК 621.8

Кизима С.М.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ДИСКОВОГО ГАЛЬМА ТЕЛЬФЕРА

Анотація: В даному дослідженні описуються загальні відомості про електропривод тельфера, розглянута будова дискового гальма. Наведені конкретні конструктивні рішення у вигляді патентів, та зразків, що серійно випускаються.

Розроблено нову гальмівну систему для тельфера, особливістю якої є вища можливість витримувати перевантаження, ніж звичайні гальма. Запропоноване конструктивне рішення гальм збільшить їх термін служби, а також в декілька разів зменшити час на гальмування.

Ключові слова: дискові гальма, фрикційний матеріал, розроблена гальмівна система, можливість витримувати перевантаження.

Abstract: This study describes general information about the electric drive of the telfer, the structure of the disc brake is considered. Specific design solutions in the form of patents and serially produced samples are given. A new brake system for the telfer has been developed, a feature of which is a higher ability to withstand overload than conventional brakes. The proposed design solution of the brakes will increase their service life, as well as several times reduce the braking time.

Keywords: disc brakes, friction material, developed braking system, the ability to withstand overload.

Вступ. За останні роки дискові гальма отримали досить широке поширення в самих різних галузях промисловості в слідстві ряду їх безперечних переваг, до яких слід віднести наступні:

Можливість отримання в дисковому гальмі значно більшої поверхні тертя, ніж в колодкових гальмах, при однакових габаритах, що дозволяє використовувати гальмо при меншій величині тиску між третювими поверхнями, а отже, при більш високій їх зносостійкості. Це дозволяє виробляти більш рідкісне регулювання гальмівних пристроїв.

Відносна легкість захисту дискових гальм від пилу, бруду, вологи і навіть створення їх повної герметизації.

Врівноваженість гальма через відсутність сил, діючих перпендикулярно осі обертання.

Температурне розширення третювих елементів дискового гальма відбувається в напрямку перпендикулярному до переміщення третювих поверхонь і не впливає на якість прилягання гальмівні накладки.

Значно більша ефективність дискового гальма в порівнянні з іншими типами гальм при збереженні габаритних розмірів і незалежно величини гальмівного моменту від напрямку обертання дисків.

В конструкції дискових гальм з підсилювачами забезпечується постійно посилюючий ефект гальма незалежно від ступеня зносу фрикційного матеріалу [1].

Опираючись на патент [2], в якому поставлена задача удосконалення способу створення фрикційних властивостей дискового гальма шляхом того, що як фрикційний матеріал накладок одночасно використовують декілька фрикційних матеріалів з різними властивостями. Спосіб створення фрикційних властивостей дискового гальма, при якому роботу сил тертя при гальмуванні реалізують за допомогою фрикційної пари, складеної з гальмівного диска і накладок, які закріплені на гальмівних черевиках дискового гальма.

Як фрикційний матеріал накладок одночасно використовують декілька фрикційних матеріалів з різними властивостями та закріплюють їх на гальмівних черевиках таким чином, щоб кожен з фрикційних матеріалів мав можливість індивідуального навантаження та притиску до гальмівного диска. На рисунку 1 зображено загальний вид дискового гальма.

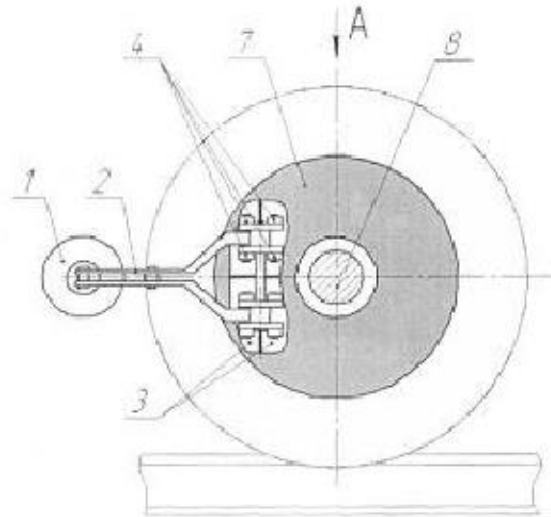


Рисунок 1– Загальний вид дискового гальма

Мета та завдання. Збільшення продуктивності тельфера, шляхом дослідження та вдосконалення електроприводу з дисковим гальмом.

Не випадково в останні роки багато дослідників надають особливого значення вивченню динамічних процесів, що відбуваються в елементах гальмівної системи та субординації в режимах гальмування.

Результати досліджень. Нова розробка раціональної схеми гальмівного пристрою підйомної машини, що забезпечує збільшення мінімального терміну служби гальмівного пристрою приблизно на 30%.

Застосування дискових гальм на бурових лебідках було викликано недостатньою ефективністю застосовуваних стрічкових гальм, нестабільністю гальмівного моменту, заміна колодок стрічкового гальма також є трудомістким процесом [3].

У деяких пристроях, для використання елементів управління машини, використовують електромагнітні дискові гальма електродвигуна. Електромагнітний гальмівний пристрій встановлюється безпосередньо в двигуні або на двигуні, і по суті є допоміжним двигуном або приводним вузлом, який має всі необхідні положення для розташування агрегату, так і з точки зору безпечної його експлуатації. Він включається пружинами і відпускається за допомогою електромагніту.

Конструкція гальмівного пристрою складається з: електромагніт, якір і диск. Електромагніт виготовлений у вигляді набору котушок, що розташовані в спеціальному корпусі. Якір є виконавчим елементом гальма, і являє собою антифрикційну поверхню, яка взаємодіє з гальмівним диском. Сам диск, з нанесеним на нього фрикційним матеріалом, рухається по зубцям втулки на валу двигуна. Гальмо розчіплюється шляхом подачі струму до електромагніту. Розчеплення гальма виконується, коли електромагніт відсуває гальмівну накладку від гальмівної поверхні обертаючої частини тельфера з протидією штовхаючому зусиллю, що створюється пружинами. Під час роботи тельфера електромагніт залишається в стані джерела живлення, так що гальмо знаходиться в розчепленому стані і тельфер може переміщатися вгору або вниз.

При зменшенні струму, що проходить через електромагніт, зусилля, що прикладається пружиною, зрештою перевищує силу тяжіння електромагніту і гальмо приводиться в дію. Загальмування забезпечується у вільному стані, коли пружини натискають на якір і він впливає на гальмівний диск, викликаючи тим самим зупинку валу. Загальний вигляд електромагнітного пружинного гальма з диском зображено на рис. 2.



Рисунок 2 – Загальний вигляд електромагнітного пружинного гальма з диском

Гальма такого типу знаходять широке застосування в системах з електричним приводом. На випадок аварійного відсутності живлення гальмівного пристрою, може бути передбачена можливість зняти гальмо вручну.

Висновки. Значення ефективності гальмівних пристроїв зростає в зв'язку з інтенсифікацією виробництва, збільшенням рухомих мас, швидкостей руху і частоти гальмування. В сучасних підйомно-транспортних машинах гальма протягом короткого періоду часу повинні перетворювати в теплову енергію значну кількість механічної енергії і передавати її в навколишнє середовище без зниження працездатності гальм і машини в цілому.

На основі всебічного аналізу переваг і порівнянь гальмівних пристроїв різних типів і виконання експертним методом для сучасної підйомної машини – тельфера, вибрано дисковий пристрій з електромагнітним пружинним гальмом. Дана розробка є дуже ефективною у використанні; має просту і високу надійність конструкції; витримує більші перевантаження; достатній гальмівний момент для заданих параметрів роботи; плавність та зменшення часу гальмування; мінімальні габарити та масу; виробляє температуру поверхні тертя, в процесі роботи не перевищує граничну, встановлену для даного типу гальм при цьому фрикційному матеріалі.

Список використаних джерел.

1. Д-р техн. наук, проф. М.П. Александров. «Тормозные устройства в машиностроении». Издательство «Машиностроение», Москва, 1965.

2. Патент 99995 Україна, МПК: В60Т 1/00. Спосіб створення фрикційних властивостей дискового гальма [текст] / Соснов Ігор Ігорович, Осенін Юрій Юрійович, Сергієнко Оксана Вікторівна, Погребнова Наталія Євгенівна. Опубл. 25.06.2015

3. Д-р техн. наук, проф. Александров М.П. «Тормозные устройства: справочник» / – Москва: 1984.

Науковий керівник проф. Зайченко С.В.

УДК: 644.1

Докшина С.Ю., аспірант

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

КЛАСТЕРИЗАЦІЯ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ ЗА ХАРАКТЕРОМ ОПАЛЕННЯ ДОМОГОСПОДАРСТВ

Робота присвячена покращенню рівня енергоефективності України шляхом визначення регіональних особливостей споживання побутового сектору на опалення. У роботі розглянуто тепло-, газо- та електроспоживання у побутовому секторі, а також характер оснащення пристроями опалення. Визначено споживання газу, тепла та електроенергії на опалення у розрахунку на житло. Наведено значення середніх температур за місяці опалювального періоду. Для проведення аналізу застосовано агломеративну кластеризацію регіонів. В результаті отримано дендрограми відстаней регіонів та характеристики центроїдів кожного кластеру. Виявлено, що електроспоживання на опалення є енергоефективнішим при опаленні від електричних котлів.

Ключові слова: енергоефективність, кластеризація регіонів, споживання на опалення.

This article is devoted to improving the level of energy efficiency of Ukraine by determining the regional characteristics of household consumption for heating. The paper considers heat, gas and electricity consumption in the household sector, as well as the nature of heating equipment. Consumption of heat gas and electricity for heating per dwelling is determined. The values of average temperatures for the months of the heating period are given. Agglomerative clustering of regions was used for the analysis. As a result, dendrograms of regional distances and characteristics of centroids of each cluster were obtained. It was found that electricity consumption for heating is more energy efficient when heated by electric boilers.

Key words: energy efficiency, clustering of regions, heating consumption.

Вступ. З утворенням у 2014 році «Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України» [1], наша країна почала активно працювати над підвищенням рівня енергоефективності шляхом розроблення та впровадження енергетичних стратегій.

Однак, розроблення стратегій підвищення рівня енергоефективності на рівні країни та утворення загальних рейтингів енергоефективності серед регіонів не дозволяє врахувати деякі особливості останніх. Ці стратегії можуть бути покращені за допомогою дослідження особливостей регіональної специфіки. Для даної задачі добре підходить метод кластерного аналізу. Авторами [2-4] підкреслюється необхідність виділення регіональної специфіки задля аналізу та виявлення стратегій підвищення енергоефективності країни.

В Україні стрімкіше за все кластеризація почала свій розвиток серед підприємств. Так, за останні роки такому розвитку підприємств сприяє програма European Cluster Collaboration Platform (ЕССР) та наразі, в Україні зареєстровано 30 організацій, що представляють такі сфери: ІТ – 31%; АПК (агропромисловий комплекс) – 16%; деревообробна та меблева промисловість – 13%; енергетика – 10%; аерокосмічна галузь – 6% та ін. [5]. Стосовно розвитку енергетичного сектору, з 2016 року в Україні діє програма EU4Energy, що сприяє розвитку енергетики [6].

Слово «кластер» означає групу об'єктів, що об'єднані спільними ознаками. Поняття кластеризація дозволяє виділити загальні риси серед досліджуваних об'єктів та

їх подальше групування. Так, концепція об'єднання у кластери серед підприємств відображає ідею виявлення підприємств із схожими ознаками, їх об'єднання, та розробка стратегій їх розвитку вже виходячи зі специфіки визначеного кластеру.

Оскільки кінцеве споживання побутового сектору складає приблизно 30% від загального кінцевого споживання енергії [7], а інтенсивніше споживання припадає на опалювальний період, **метою даної роботи** є виявлення регіонального характеру опалення побутового сектору.

Задля досягнення даної мети були поставлені наступні **задачі**:

1. Пошук даних стосовно тепло-, газо- та електроспоживання за регіонами та характеристик домогосподарств. Пошук даних середніх температур за місяці опалювального періоду. Пошук даних за відсотками споживання енергії на опалення.

2. Проведення розрахунку середніх температур за місяці опалювального періоду. Проведення розрахунку тепло-, газо- та електроспоживання опалення у розрахунку на житло.

3. Проведення кластерного аналізу регіонів.

4. Формування висновків та подальших рекомендацій на основі проведеного аналізу.

Матеріали та результати досліджень. Алгоритм оцінки споживання побутового сектору на опалення для регіонів України наступний:

1. За даними енергоспоживання регіонів [8-11] та загальним кінцевим споживанням побутового сектору [8-11] знаходимо відсоток споживання побутовим сектором (формула 1) та перераховуємо енергоспоживання за регіонами (формула 2).

$$E_{\%} = \frac{E_{\text{пс}} \cdot 100\%}{\sum_{r=1}^k E_r} \quad (1)$$

де: $E_{\%}$ – відсоток споживання енергії побутовим сектором (%); $E_{\text{пс}}$ – кінцеве споживання енергії побутовим сектором (млн мЗ; млн кВт*год; тис. Гкал); $\sum_{r=1}^k E_r$ – сума споживання енергії r -тих регіонів, де $r \in [1 \dots k]$ (млн мЗ; млн кВт*год; тис. Гкал).

$$E_{\text{поб}}^r = \frac{E_r \cdot E_{\%}}{100\%} \quad (2)$$

де: $E_{\text{поб}}^r$ – споживання енергії побутовим сектором r -го регіону (млн мЗ; млн кВт*год; тис. Гкал); E_r – споживання енергії r -м регіоном (млн мЗ; млн кВт*год; тис. Гкал); $E_{\%}$ – відсоток споживання енергії побутовим сектором (%).

2. За даними кінцевого споживання домогосподарствами за цілями призначення [12] вираховуємо кількість споживання енергії на опалення (формула 3).

$$E_{\text{оп}}^r = \frac{E_{\text{поб}}^r \cdot \text{ОП}_{\%}}{100\%}, \quad (3)$$

де: $E_{\text{оп}}^r$ – енергоспоживання на опалення r -го регіону (млн мЗ; млн кВт*год; тис. Гкал); $E_{\text{поб}}^r$ – споживання енергії побутовим сектором r -го регіону (млн мЗ; млн кВт*год; тис. Гкал); $\text{ОП}_{\%}$ – відсоток, що витрачений на опалення за окремим видом енергії, % [12].

3. Далі виконуємо перерахунок споживання опалення на житло (формули 4,5) за допомогою отриманих значень у пункті 2 та значень з [14-18].

$$E_{\text{ж}}^r = \frac{E_{\text{роп}}^r}{n_{\text{ж}}}, \quad (4)$$

де: $E_{ж}^r$ – споживання побутовим сектором на одиницю житла (м3; кВт*год; Гкал);
 $E_{оп}^r$ – споживання енергії на опалення побутовим сектором r-го регіону, (м3; кВт*год;
 Гкал); $n_{ж}$ – кількість домогосподарств, що приймають дані послуги з центрального
 постачання (одиниць);

$$n_{ж} = \frac{n_{ж}^{rзаг} \cdot КЦП\%}{100\%}, \quad (5)$$

де: $n_{ж}^{rзаг}$ – загальна кількість домогосподарств r-го регіону (одиниць); КЦП% –
 коефіцієнт центрального постачання тепла або газу (%).

4. За даними середніх температур за місяці опалювального періоду (з жовтня по квітень) [13] розраховуємо середню температуру за опалювальний період (формула б).

$$t_{сеп}^r = \frac{\sum_{i=1}^{n_m} t_{ісеп}^r}{n_m}, \quad (6)$$

де: $t_{сеп}^r$ – середня температура опалювального періоду r-го регіону (°C); $\sum_{i=1}^{n_m} t_{ісеп}^r$ –
 сума середніх температур r-го регіону за місяці опалювального періоду $i \in [1 \dots n_m]$ (°C);
 n_m – кількість місяців опалювального періоду (одиниць).

5. За даними характеристик домогосподарств [14-18], даних отриманих у пункті 3 та середніх температур, що розраховані у пункті 4, виконуємо кластерний поділ регіонів.

Розрахунки проведено у середовищах Excel та Python (Jupyter Notebook). Побудовані дендрограми регіонів за характером опалення наведені на рисунках 1-5.

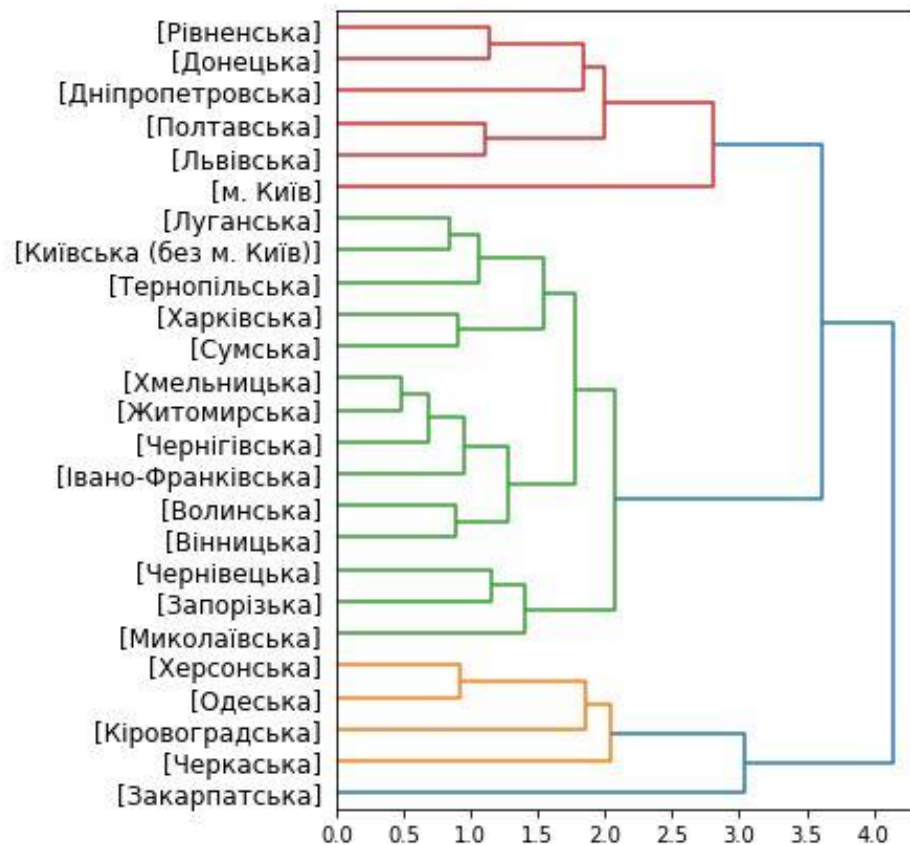


Рисунок 1 – Дендрограма регіонів за характером опалення в 2016 році

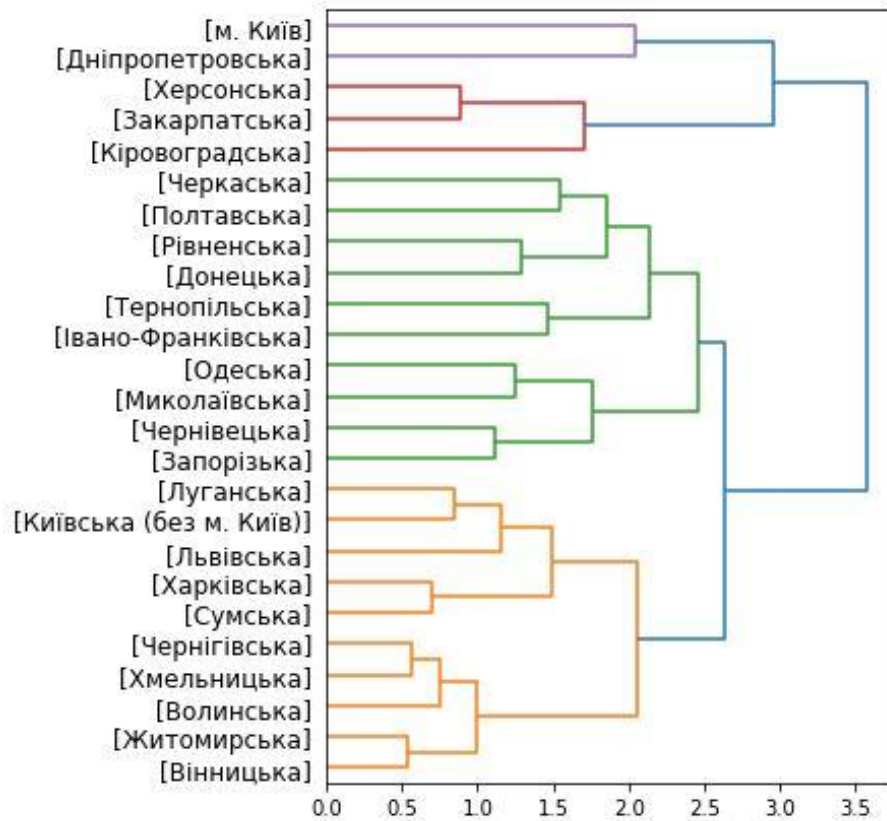


Рисунок 2 – Дендрограма регіонів за характером опалення в 2017 році

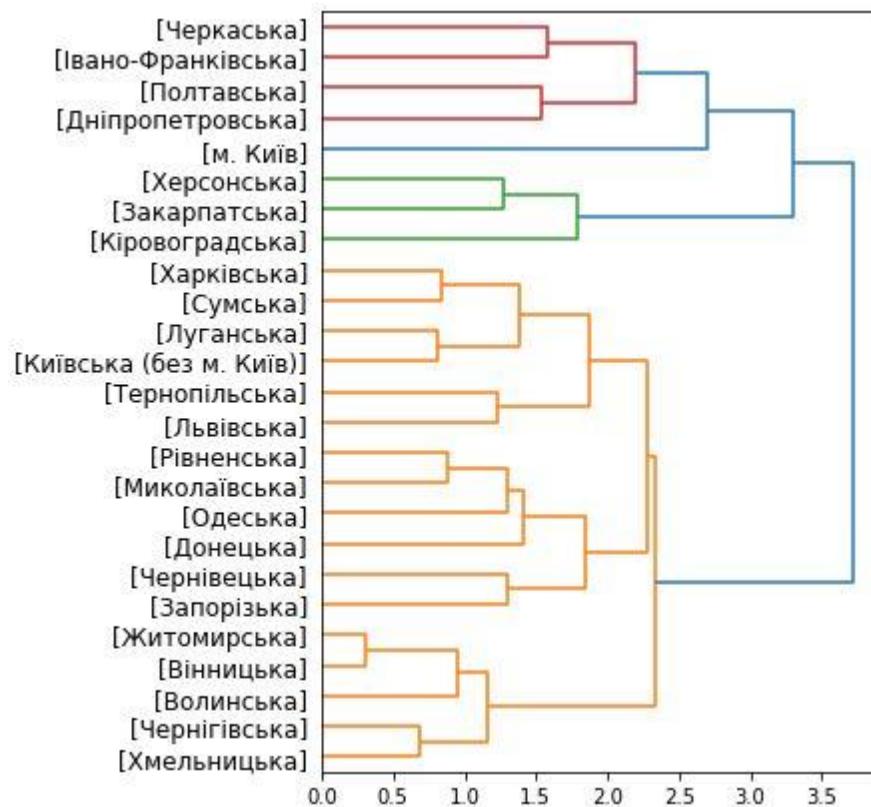


Рисунок 3 – Дендрограма регіонів за характером опалення в 2018 році

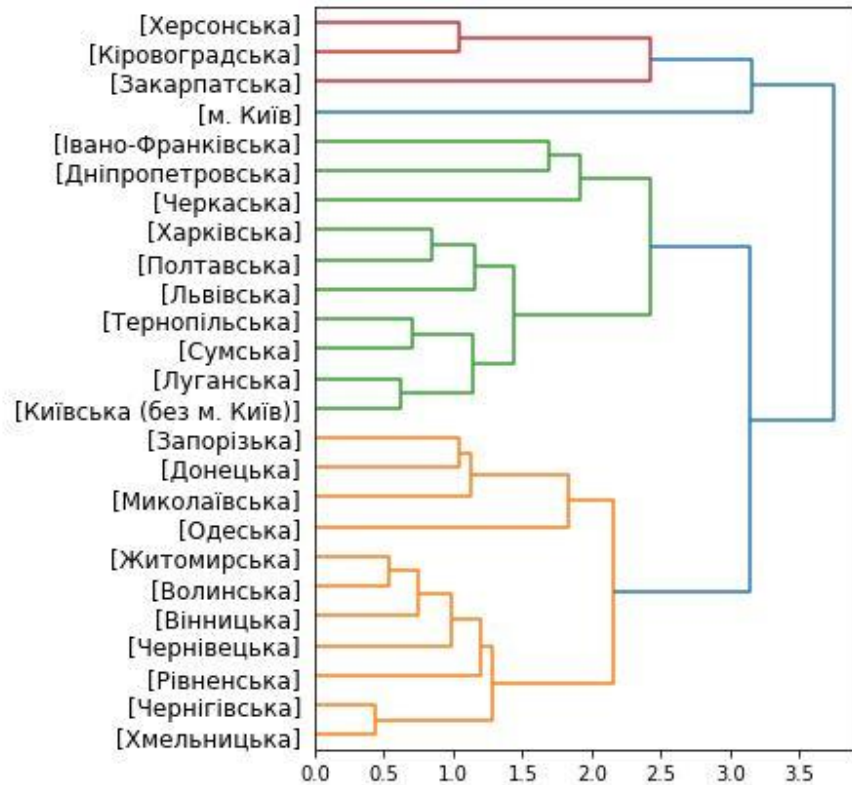


Рисунок 4 – Дендрограма регіонів за характером опалення в 2019 році

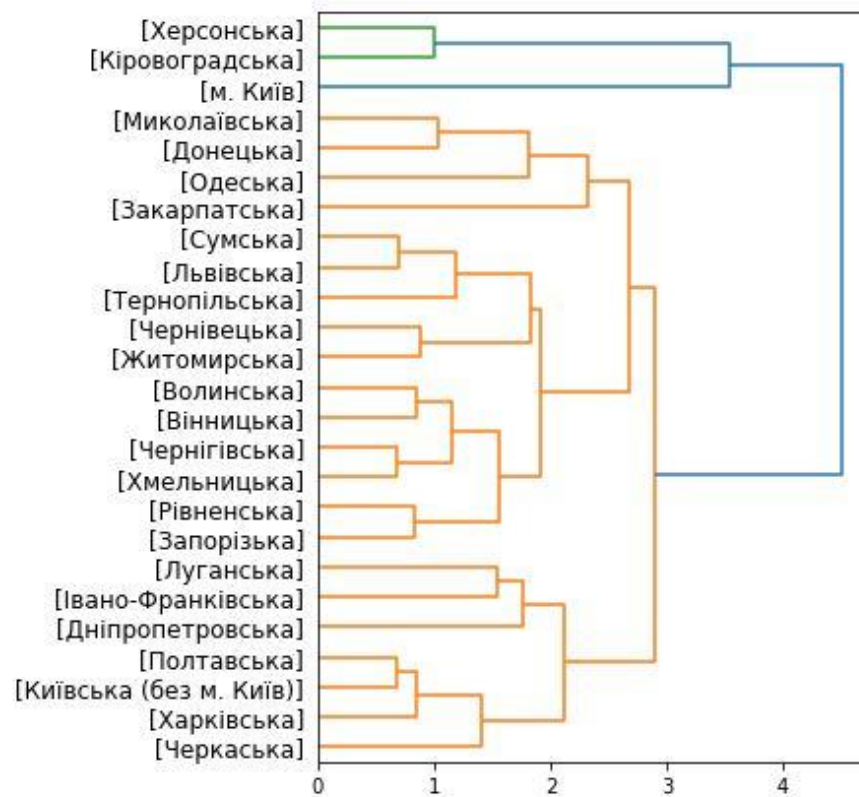


Рисунок 5 – Дендрограма регіонів за характером опалення в 2020 році

За допомогою дендрограми кластерів можливо проаналізувати наскільки кожен регіон близький один до одного. Чим коротше горизонтальна відстань між гілками, тим найбільш схожими виявляються ці регіони.

Для того, щоб охарактеризувати кожен кластер, розглянемо їх центроїди (Таблиця 1 – 5). Для зручності, найменше значення виділено блакитним, середнє – зеленим, а найбільше виділено червоним. У таблиці 6 наведені кластерні зміни серед регіонів впродовж 5 років.

Таблиця 1 – Кластерні центроїди 2016 року

Номер кластера	Наявність центрального опалення, %	Індивідуальна система опалення, %	Наявність газової колонки, %	Наявність централізованого газопостачання, %	Наявність балонного газу, %	Середня t опал. періоду, оС	Споживання газу природного на житло, м ³	Використання теплоенергії на житло, Гкал	Використання електроенергії на житло, кВт*год
1	26,86	53,39	13,25	80,61	11,50	2,67	489,76	6,59	35,07
2	21,40	55,52	7,20	63,20	26,96	3,78	629,29	22,62	25,56
3	48,55	33,90	26,68	80,55	5,62	2,65	675,05	5,76	63,52

Таблиця 2 – Кластерні центроїди 2017 року

Номер кластера	Наявність центрального опалення, %	Індивідуальна система опалення, %	Наявність газової колонки, %	Наявність централізованого газопостачання, %	Наявність балонного газу, %	Середня t опал. періоду, оС	Споживання газу природного на житло, м ³	Використання теплоенергії на житло, Гкал	Використання електроенергії на житло, кВт*год
1	29,04	49,31	16,19	78,56	12,15	3,08	530,51	6,72	76,32
2	12,27	55,33	5,30	58,40	33,30	3,96	388,57	3,50	49,39
3	75,15	21,95	9,85	84,1	1,9	3,12	609,81	4,26	168,95

Таблиця 3 – Кластерні центроїди 2018 року

Номер кластера	Наявність центрального опалення, %	Індивідуальна система опалення, %	Наявність газової колонки, %	Наявність централізованого газопостачання, %	Наявність балонного газу, %	Середня t опал. періоду, оС	Споживання газу природного на житло, м ³	Використання теплоенергії на житло, Гкал	Використання електроенергії на житло, кВт*год
1	30,23	49,93	17,15	78,07	12,37	2,34	457,63	5,51	61,95
2	11,13	58,23	3,73	59,63	31,80	4,05	354,73	4,09	47,13
3	45,40	39,42	12,14	82,14	7,42	2,06	760,04	9,11	107,00

Таблиця 4 – Кластерні центроїди 2019 року

Номер кластера	Наявність центрального опалення, %	Індивідуальна система опалення, %	Наявність газової колонки, %	Наявність централізованого опалення, %	Наявність балонного газу, %	Середня t опал. періоду, оС	Споживання газу природного на житло, м ³	Використання теплоенергії на житло, Гкал	Використання електроенергії на житло, кВт*год
1	29,66	49,42	12,00	78,98	11,18	7,08	415,61	6,78	24,91
2	11,87	58,10	14,47	63,33	31,03	8,23	267,70	3,81	14,96
3	99,40	0,30	2,30	79,80	0,30	7,25	498,63	1,16	25,26

Таблиця 5 – Кластерні центроїди 2020 року

Номер кластера	Наявність центрального опалення, %	Індивідуальна система опалення, %	Наявність газової колонки, %	Наявність централізованого опалення, %	Наявність балонного газу, %	Середня t опал. періоду, оС	Споживання газу природного на житло, м ³	Використання теплоенергії на житло, Гкал	Використання електроенергії на житло, кВт*год
1	27,03	53,58	11,35	81,32	10,12	4,82	365,20	5,78	63,53
2	19,00	53,15	6,25	53,30	40,05	5,44	241,36	5,41	52,17
3	100,00	0,00	3,20	79,90	0,00	5,07	669,09	1,04	64,80

Кластер 1. Кластер 1 характеризується переважно найменшим показником середньої температури опалювального періоду серед інших кластерів. У 2016 та 2018 році цей показник на середньому рівні, але практично однаковий із кластером 3.

Характер сектору теплопостачання: середнє значення наявності центрального теплопостачання та переважно найбільше (окрім 2016 та 2018 – середнє) споживання теплоенергії на житло.

Характер газового сектору: переважно середній відсоток домівок із центральним газопостачанням (окрім 2016 та 2020 років – найбільший відсоток, але дуже близький із кластером 3), а також середній рівень газоспоживання на житло (окрім 2016 року – найменший). При цьому, переважно найбільший відсоток розповсюдження газових колонок (окрім 2016 та 2019 років – середній), та середній відсоток наявності балонного газу.

Характер сектору електроенергетики: кластер характеризується середнім споживанням електроенергії.

До даного кластеру відноситься найбільша кількість регіонів.

Незмінними представниками першого кластеру впродовж 5 років є наступні області: Вінницька, Волинська, Житомирська, Запорізька, Київська (без м. Київ), Луганська, Сумська, Тернопільська, Харківська, Хмельницька, Чернівецька, Чернігівська та Миколаївська.

Таблиця 6 – Кластерні зміни регіонів впродовж 5 років

Регіони	2016	2017	2018	2019	2020
	Номер кластера				
Вінницька	1	1	1	1	1
Волинська	1	1	1	1	1
Дніпропетровська	3	3	3	1	1
Донецька	3	1	1	1	1
Житомирська	1	1	1	1	1
Закарпатська	2	2	2	2	1
Запорізька	1	1	1	1	1
Івано-Франківська	1	1	3	1	1
Київська (без м. Київ)	1	1	1	1	1
Кіровоградська	2	2	2	2	2
Луганська	1	1	1	1	1
Львівська	3	1	1	1	1
Миколаївська	1	1	1	1	1
Одеська	2	1	1	1	1
Полтавська	3	1	3	1	1
Рівненська	3	1	1	1	1
Сумська	1	1	1	1	1
Тернопільська	1	1	1	1	1
Харківська	1	1	1	1	1
Херсонська	2	2	2	2	2
Хмельницька	1	1	1	1	1
Черкаська	2	1	3	1	1
Чернівецька	1	1	1	1	1
Чернігівська	1	1	1	1	1
м. Київ	3	3	3	3	3

Кластер 2. Кластер 2 характеризується найвищим показником середньої температури опалювального періоду серед інших кластерів.

Характер сектору теплопостачання: найменше значення наявності центрального теплопостачання, а споживання теплоенергії на житло різниться впродовж років: у 2016 році воно найбільше серед інших кластерів, в 2017 та 2018 роках – найменше, а в 2019 та 2020 роках – на середньому рівні.

Характер газового сектору: найменший відсоток домівок із центральним газопостачанням, а також переважно найменший рівень газоспоживання на житло (окрім 2016 року – середній). При цьому, переважно найменший відсоток розповсюдження газових колонок (окрім 2019 та 2020 років – найбільший та середній рівні відповідно), та найбільший відсоток наявності балонного газу.

Характер сектору електроенергетики: кластер характеризується найменшим споживанням електроенергії.

Незмінними представниками другого кластеру є Кіровоградська та Херсонська області.

Кластер 3. Кластер 3 характеризується здебільшого, середнім показником середньої температури опалювального періоду серед інших кластерів (окрім 2016 та 2018 рр. – найменша, але ці значення дуже близькі із кластером 1).

Характер сектору теплопостачання: найбільше значення наявності центрального теплопостачання, а також переважно найменше споживання теплоенергії на житло (окрім 2017 – середнє значення, та 2018 р. – найбільше).

Характер газового сектору: найбільший відсоток домівок із центральним газопостачанням (2016, 2020 – середній), а також найбільший рівень газоспоживання на житло. Відсоток розповсюдження газових колонок різниться впродовж років. У 2016 році відсоток розповсюдження газових колонок на високому рівні, в 2017 та 2018 рр. – середній рівень, а в 2019 та 2020 рр. – низький рівень. Найменший відсоток наявності балонного газу.

Характер сектору електроенергетики: кластер характеризується найбільшим споживанням електроенергії.

Для кластера 3 найяскравіший представник це місто Київ.

Оскільки дані з оснащення різними типами котлів та бойлерами наявні тільки за 2019 та 2020 роки, проведемо додатковий кластерний аналіз за ці роки (Таблиці 7, 8).

Таблиця 7 – Кластерні центроїди регіонів в 2019 році

Номер кластеру	Наявність центрального опалення, %	Індивідуальна система опалення, %	Наявність котла електричного, %	Наяв. котла газового двохоконтурного, %	Наяв. котла твердопаливного, %	Наяв. бойлера електричного, %	Наяв. газової колонки, %	Наяв. централізованого газопостач., %	Наявність балонного газу, %
1	31,37	46,02	1,08	19,61	8,15	29,91	12,83	77,23	12,08
2	20,89	57,99	1,84	29,20	10,82	38,49	11,46	76,68	16,29
3	99,40	0,30	0,00	0,30	0,20	14,70	2,30	79,80	0,30

Номер кластеру	Середня t опал. періоду, оС	Слож. газу природного на житло, м3	Викор. теплоенергії на житло, Гкал	Викор. електроенергії на житло, кВт*год
1	7,04	381,12	5,62	24,08
2	7,53	423,79	7,72	22,98
3	7,25	498,63	1,16	25,26

Таблиця 8 – Кластерні центроїди регіонів в 2020 році

Номер кластеру	Наявність центрального опалення, %	Індивідуальна система опалення, %	Наявність котла електричного, %	Наявність котла газового двохоконтурного, %	Наявність котла твердопаливного, %	Наявність бойлера електричного, %	Наявність газової колонки, %	Наявність централізованого газопостачання, %	Наявність балонного газу, %
1	28,04	53,10	1,25	25,83	9,32	34,60	10,97	81,67	9,56
2	17,95	55,80	3,53	29,10	16,38	46,40	10,70	65,60	27,90
3	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,70	3,20	79,90	0,00
Номер кластеру	Середня t опал. періоду, оС	Споживання газу природного на житло, м3	Використання теплоенергії на житло, Гкал	Використання електроенергії на житло, кВт*Год					
1	4,63	366,56	6,25	67,33					
2	6,06	296,51	3,26	38,81					
3	5,07	669,09	1,04	64,80					

Охарактеризуємо додатково кластери за характером газового сектору та сектору електроенергетики.

Кластер 1.

Характер газового сектору: середній відсоток домівок із центральним газопостачанням у 2019 році, а у 2020 р. – найбільший, а також найменший рівень газоспоживання на житло у 2019 році, а у 2020 – середній. При цьому, найбільший відсоток розповсюдження газових колонок, та середній відсоток наявності балонного газу. Середній відсоток розповсюдження газових котлів.

Характер сектору електроенергетики: кластер характеризується середнім споживанням електроенергії на житло у 2019 році, а у 2020 році – найбільшим. Відсоток розповсюдження котлів електричних та бойлерів на середньому рівні.

Відсоток розповсюдження твердопаливних котлів середній.

Кластер 2.

Характер газового сектору: найменший відсоток домівок із центральним газопостачанням, а також середній рівень газоспоживання на житло у 2019 році, а у 2020 – найменший. При цьому, середній відсоток розповсюдження газових колонок, та найбільший відсоток наявності балонного газу. Найбільший відсоток розповсюдження газових котлів.

Характер сектору електроенергетики: кластер характеризується найменшим споживанням електроенергії на житло. Відсоток розповсюдження котлів електричних та бойлерів найбільший серед інших регіонів.

Відсоток розповсюдження твердопаливних котлів найбільший серед інших регіонів.

Кластер 3.

Характер газового сектору: найбільший відсоток домівок із центральним газопостачанням у 2019 році, а у 2020 р. – середній, а також найбільший рівень газоспоживання на житло. При цьому, найменший відсоток розповсюдження газових колонок та балонного газу. Найменший відсоток розповсюдження газових котлів.

Характер сектору електроенергетики: кластер характеризується найбільшим споживанням електроенергії на житло у 2019 році, а у 2020 році – середній рівень електроспоживання. Відсоток розповсюдження котлів електричних та бойлерів на найменшому рівні серед інших регіонів. Можна навіть заявити про їх практичну відсутність. Це й не дивно, тому що даний кластер має найбільший відсоток центрального тепlopостачання.

Відсоток розповсюдження твердопаливних котлів також найменший серед інших регіонів, практично відсутні.

Висновки та рекомендації. Завдяки проведеному аналізу виділено особливості характеру опалення трьох кластерних груп серед регіонів впродовж 5 років. Виявлено регіони-представники серед кожного кластеру, що залишалися в межах одного кластеру впродовж 5 років. Для кластеру 1 це Вінницька, Волинська, Житомирська, Запорізька, Київська (без м. Київ), Луганська, Сумська, Тернопільська, Харківська, Хмельницька, Чернівецька, Чернігівська та Миколаївська області. Для кластеру 2 – Кіровоградська та Херсонська області. Для кластеру 3 незмінним представником є місто Київ.

Під час аналізу кластерних центрів, виявлено, що електроспоживання на опалення є енергоефективнішим при опаленні від електричних котлів. Характерним розмежуванням кластерів є середня температура опалювального періоду. Так, до кластеру 2 відносяться регіони з найтеплішим кліматом. Доцільно для даного кластеру дослідити стан відновлювальних джерел енергії, адже для цих регіонів сприятливим є встановлення сонячних батарей та геліоколекторів.

Для детальнішого аналізу варто врахувати також інші електропристрої на опалення, а також доцільно врахувати кількість днів опалювального періоду в кожному регіоні. Для оцінювання впливів параметрів опалення на кластерне розмежування, доцільно провести дискримінантний аналіз.

Список використаних джерел.

1. Про затвердження Положення про Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України: Постанова Кабінету Міністрів України від 26.11.2014 р. № 676. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/676-2014-п#Text> (дата звернення: 16.04.2022).

2. Т. І. Биркович Особливості формування енергетичних кластерів: зарубіжний та вітчизняний досвід. *Економіка та держава*. 2012. №10. С. 96-98.

3. Калініна В. В. Кластерний аналіз состояния промисленности регионов РФ *Региональная экономика*. 2016 р. С. 259-269.

4. В. О. Бараннік Енергоефективність регіонів України: проблеми оцінки та наявний стан. *Регіональний філіал у м. Дніпро, Інститут стратегічних досліджень*. 2017. URL: <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2017-08/energoefekt-5cecc.pdf> (дата звернення: 16.04.2022).

5. Що необхідно для розвитку кластерів в Україні *GMK Center* : веб-сайт. URL: <https://gmk.center/ua/opinion/shho-neobhidno-dlya-rozvitku-klasteriv-v-ukraini/> (дата звернення: 16.04.2022).
6. *EU4Energy International Energy Agency*: веб-сайт. URL: <https://www.iea.org/programmes/eu4energy> (дата звернення: 16.04.2022).
7. Огляд енергетичного сектору України: інституції управління та політичні засади. *Organisation for Economic Co-operation and Development*. 2019. URL: <https://www.oecd.org/eurasia/competitiveness-programme/eastern-partners/Monitoring-the-energy-strategy-Ukraine-2035-UKR.pdf> (дата звернення: 16.04.2022).
8. Паливно-енергетичні ресурси України: Статистичний збірник/Державна служба статистики України. – Київ, 2018. – 194 с.
9. Паливно-енергетичні ресурси України: Статистичний збірник/Державна служба статистики України. – Київ, 2019. – 194 с.
10. Паливно-енергетичні ресурси України: Статистичний збірник/Державна служба статистики України. – Київ, 2020. – 194 с.
11. Паливно-енергетичні ресурси України: Статистичний збірник/Державна служба статистики України. – Київ, 2021. – 177 с.
12. Структура кінцевого споживання енергії домогосподарствами за цілями призначення *Державна служба статистики України*: веб-сайт. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2019/energ/st_kn_sposh_energ_dom/arch_st_kn_sposh_energ_dom_u.h Середня t опал. періоду, oC (дата звернення: 16.04.2022).
13. Климатический монитор *Погода и климат*: веб-сайт. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php> (дата звернення: 23.02.2022).
14. Соціально-демографічні характеристики домогосподарств України у 2016 році: Статистичний збірник /Державна служба статистики України. – Київ, 2016. – 87 с.
15. Соціально-демографічні характеристики домогосподарств України у 2017 році: Статистичний збірник /Державна служба статистики України. – Київ, 2017. – 86 с.
16. Соціально-демографічні характеристики домогосподарств України у 2018 році: Статистичний збірник /Державна служба статистики України. – Київ, 2018. – 86 с.
17. Соціально-демографічні характеристики домогосподарств України у 2019 році: Статистичний збірник /Державна служба статистики України. – Київ, 2019. – 88 с.
18. Соціально-демографічні характеристики домогосподарств України у 2020 році: Статистичний збірник /Державна служба статистики України. – Київ, 2020. – 88 с.

Науковий керівник д.т.н., Розен В.П.

UDK 62-242.2

Liubov Marchuk postgraduate,

Department of Automation of Electrical and Mechatronic Complexes,

THE VALUE OF THE ENERGY OF THE PNEUMATIC ACCUMULATOR FOR DIFFERENT POLYTROPIC PROCESSES

Abstract: *The paper presents the results of the analysis of the energy percussion device with a pneumatic accumulator and establishes a correlation between the energy value and the parameters of the accumulator as volume and pressure. Mathematical models are used to determine the efficient charge energy of the pneumatic accumulator during the installation of a striker for polytropic processes (isothermal, isochoric, isobaric and isentropic). The results show that the energy value increases with increasing pressure during the isothermal process more sharply than during the isentropic process, and the energy value decreases with increasing volume in the isobaric process. Studies of the thermodynamic conditions of the pneumatic accumulator can be used to choose the design of a percussion device to optimize the energy performance of devices for the destruction of hard and frozen rocks.*

Keywords: *percussion device, polytropic processes, destruction of rocks, charging energy.*

Анотація: *У роботі наведено результати аналізу функціонування енергетичного ударного пристрою з пневмоакумулятором та встановлено кореляцію між значенням енергії та параметрами акумулятора, а саме - об'ємом та тиском. За допомогою математичних моделей визначено раціональну енергію зарядки пневмоакумулятора для політропних процесів (ізотермічних, ізохорних, ізобарних та ізотропічних). Результати дослідження показують, що енергетична ефективність зростає із збільшенням тиску під час ізотермічного процесу більш швидко, ніж під час ізотропічного процесу, а також енергетична ефективність зменшується зі збільшенням об'єму в ізобарному процесі. Дослідження термодинамічних умов пневмоакумулятора можуть бути використані при виборі конструкції корпусу ударного пристрою для оптимізації енергетичних характеристик при руйнуванні твердих і мерзлих гірських порід.*

Ключові слова: *ударний пристрій, політропні процеси, руйнування гірських порід, енергія зарядки.*

Introduction. The underground building has received much attention in the last years [1-4]. Percussive destruction of hard and frozen rocks destruction has a pivotal role in underground buildings such as metro build and tunnel buildings. A considerable amount of literature [5-9] has been published on this rock destruction. A percussion device with a pneumatic accumulator is among the most widely used types of rock destruction device.

The energy of the pneumatic accumulator is analysed in order to find a way for improving performers of percussion devices. This paper takes a new look at the energy of the pneumatic accumulator for polycrotic processes including isochoric, isobaric, isothermal, and isentropic processes. Also, we study the dependence of charging energy on pressure and volume.

In the literature, there are few examples of studying the thermodynamics of the pneumatic accumulator in different fields. In [10], the authors analysed the impact of the thermal process on the energy storage capacity of the hydro-pneumatic accumulator for the automotive industry and compared isothermal and adiabatic energy storage. Wang. Hu. et al. [11] developed a new isobaric compressed air storage device and concluded that could decrease energy consumption by 18%. Buhagiar, Daniel, and Tonio Sant [12] created a thermodynamic model of the gas compression process for observing temperature and pressure fluctuations. In

[13], the authors analysed the influence of the initial parameters such as volume and pressure on the speed and energy consumption of the pneumatic accumulator. Characteristics of a hydro-pneumatic type accumulator have been widely investigated [14] by creating a simulation model of the physical system. Unfortunately, most research has tended to focus on pneumatic energy storage rather than pneumatic accumulator in a device. Thus, this paper focuses on polytropic processes in the pneumatic accumulator.

Purpose and objectives of the research.

The objective of the paper is to analyze the influence of thermodynamic conditions on the charging energy of the pneumatic accumulator and examines the dependence of charging energy on pressure and volume for different types of polytropic processes.

Research materials and results.

Calculation of the charging energy of the pneumatic accumulator. The method of creating a mathematical model for calculating necessary parameters was applied. Mathematical models that cover almost any part of engineered objects are commonly used [15][16][17].

In the engineering sciences, the method is frequently used to modelling complex systems that can help to increase the effectiveness of current manufacturing processes.

The modelling object was a percussion device with a pneumatic accumulator

$$L(x) = \frac{P_0 \cdot V_0}{n-1} \left[e(x)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (1)$$

Mathematical models from Eqs. (1) used for the calculation of the charging energy of the pneumatic accumulator during the putting up of the striker in general. [18]

The input values were:

- volume $V_0 = 6.74 \cdot 10^{-4} m^3, V_1 = 5.49 \cdot 10^{-4} \dots 5.54 \cdot 10^{-4} \dots 6.74 \cdot 10^{-4} m^3,$
- pressure $P_0 = 5 \cdot 10^5 Pa, P_1 = 5 \cdot 10^5 \dots 5.0510^5 \dots 6.25 \cdot 10^5 Pa,$
- value of striker position $x,$
- measure of gas compression in the pneumatic accumulator $e(x),$ and
- polytropic index $n = 1.3$ (for the adiabatic process).

The output value was the charging energy and graphs of the dependence of charging energy on pressure and volume.

The polytropic index n and the value of gas compression $e(x)$ are variable and depend on the type of polytropic process.

The polytropic index can be calculated using the value of heat capacity of gas:

$$n = \frac{C - C_p}{C - C_v}, \quad (2)$$

where C — the heat capacity of gas in this process,

C_p і C_v — the heat capacity of the same gas, respectively, at constant pressure and volume. These indicate the quantity of heat that can increase the temperature of unit mass by 1°C. [19].

The measure of gas compression is given by

$$e(x) = \frac{P(x)}{P_0}, \quad (3)$$

where $P(x)$ – the current value of the pressure during the putting up of the striker.

Isochoric process

For the isochoric process, the volume of the closed system remains constant ($V = const$) - polytropic index is equal to infinity $n_v = \infty$, as $C_v = const$ and respectively $C = C_v$. In this case, the impact energy, which corresponds to the charging energy of the pneumatic accumulator, is independent of the pressure and equals zero.

Isobaric process

Pressure of the system for isobaric process remains constant ($P = const$) polytropic index is equal to zero $n_p = 0$, as $C_p = const$ respectively $C = C_p$. The measure of gas compression equals $e_p(x) = 1$, because $P = P_0$.

Then the charging energy determines [20]:

$$L_p(x) = P \cdot (V(x) - V_0), \quad (4)$$

Isothermal process (constant-temperature)

For the isothermal process temperature of the system is constant ($T = const$) polytropic index is equal to one $n_t = 1$ [6], and the charging energy determines:

$$L_t(x) = P_0 \cdot V_0 \cdot \ln \frac{P_0}{P(x)}, \quad (5)$$

Isentropic process (constant - entropy)

For the isentropic process (type of an adiabatic process where the transfer of heat not matter), polytropic index n is equal to adiabatic index γ , which is calculated as the ratio of heat:

$$n = \gamma = \frac{C_p}{C_v}, \quad (6)$$

In this case measure of gas, compression is determined by Eqs. (3) and the energy is calculated by Eqs. (1).

The Matlab software program is used to provide the calculation and built graph dependence of the impact energy of compression index.

The dependence of charging energy on pressure and volume for different types of polytropic processes

The dependence of charging energy on pressure.

The value of the charging pressure of the pneumatic accumulator is set in the specified range. As a result of calculations in Mathcad, a graph of the dependence of charging energy on pressure for isochoric L_v , isothermal L_t , and isentropic L_{pv} processes was obtained (Fig. 1).

As is shown by the graph:

- for the isochoric process, the energy was fixed, equal to zero, and was not dependent on pressure,
- for the isothermal process, the value of energy grew together with pressure, and
- for the isentropic process, the energy value is less climbed than during the isothermal process.

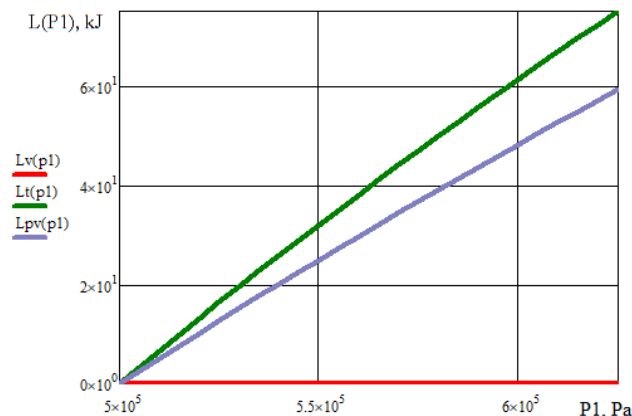


Fig. 1 – Graphs of the dependence of charging energy on pressure.

The dependence of charging energy on volume.

The value of the volume of the pneumatic accumulator chamber is set in the specified range. As a result, graphs of energy dependence on the volume of the pneumatic accumulator chamber for isochoric L_v and isobaric L_p processes were obtained (Fig. 2).

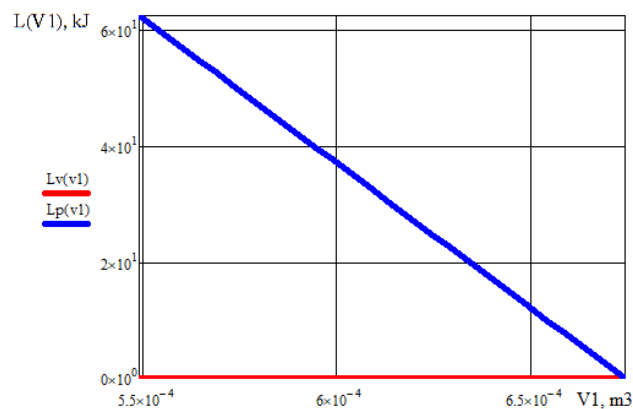


Fig. 2 – Graphs of energy dependence on the volume of the pneumatic accumulator chamber.

From the graph it is shown:

- for the isochoric process, the energy was fixed, equal to zero, and was not dependent on volume, and
- for the isobaric process, the energy decreases when the value of volume rose.

Influence of thermodynamic conditions on the charging energy of the pneumatic accumulator. While not all of the results were significant, the overall direction of results showed the trends that could be helpful in learning the influence of polytropic processes (isochoric, isobaric isothermal, and isentropic) on the value of energy parameters. And how to increase the performance of rock destruction by percussion instruments with a pneumatic accumulator.

Our experiments confirm previous experimental results [21] which show that the maximum pressure in the pneumatic accumulator, the higher the growth of energy value.

Other research [22] proposes the method to detect impact energy of pneumatic drill with stress wave technology, which is used widely. However, their system referred to this system

that could only collect the stress wave efficiently and calculate the values of impact energy, and our method can also be used for the prediction of energy value, which would thus seem to be acceptable, too.

As expected, the result of our research demonstrates the impact of volume and pressure value on the energy of the percussion accumulator for isochoric, isobaric, isothermal, and adiabatic processes.

Given that our findings are based on a calculation process for an ideal gas, the results from such analyses should thus be treated with the utmost caution.

Our study was useless in the study of the energy for the isochoric process because during this process the value of energy equals zero and was not dependent on pressure and volume.

Since the focus of the study was on pneumatic accumulators which can contain a not large gas volume, there is a possibility that dissimilar evaluations would have arisen if the focus had been on the accumulator which had a bigger volume.

We believe this method could be also used in the engineering of internal combustion engines where polytropic processes are very important for their thermodynamic cycles such as the Otto and the Diesel cycle. Also, there is a good probability that studies of polytropic processes could help to find a way to increase the impact of energy.

Conclusion. The paper has investigated the energy of the pneumatic accumulator and the dependence of this energy on parameters pressure and volume for polycrotic processes such as isothermal, isochoric, isobaric, and adiabatic processes:

- In the course of an isochoric process, the energy is zero regardless of the pressure and volume values,
- In the course of an isobaric process, as the volume increases, the value of energy decreases,
- In the course of an isothermal process, with increasing pressure, the value of energy increases, and
- In the course of an isentropic process, with increasing pressure, the energy increases less rapidly than in the isothermal process.

This study has gone some way towards enhancing our understanding of the thermodynamics process in a pneumatic accumulator. Future work will focus on finding a probabilistic approach to determine the dependencies of different types of polytropic processes. We hope that our research can serve as a basis for future studies on the increasing working energy of the pneumatic accumulator.

References.

1. Alkaff, Saqaff A., et al. "A review of underground building towards thermal energy efficiency and sustainable development." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 60 (2016): 692-713.
2. Kimani, Thomas, et al. "Urban Underground Future: The Potential of Subsurface Utilization in Nairobi, Kenya." *Collaboration and Integration in Technology*. Springer, Cham, 2021. 123-128.
3. Shan, Ming, Bon-gang Hwang, and Kristie Sze Ni Wong. "A preliminary investigation of underground residential buildings: advantages, disadvantages, and critical risks." *Tunnelling and Underground Space Technology* 70 (2017): 19-29.
4. Mukhtar, A., et al. "The potential influence of building optimization and passive design strategies on natural ventilation systems in underground buildings: The state of the art." *Tunnelling and Underground Space Technology* 92 (2019): 103065.
5. Zedgenizov, V.G., et al. "Mathematical modeling of the percussion mechanism with

a single impact energy increase." IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Vol. 1061. No. 1. IOP Publishing, 2021.

6. Lundberg, B. "Energy transfer in percussive rock destruction—I: Comparison of percussive methods." International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts. Vol. 10. No. 5. Pergamon, 1973.

7. Kahraman, S., N. Bilgin, and C. Feridunoglu. "Dominant rock properties affecting the penetration rate of percussive drills." International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 40.5 (2003): 711-723.

8. Shadrina, Anastasija, and Lev Saruev. "Exploration and determination of the principles of rotary-percussive underground slimhole drilling." *International Journal of Mining Science and Technology* 24.2 (2014): 245-249.

9. Song, Hengyu, et al. "Three-Dimensional Numerical Simulation of Energy Transfer Efficiency and Rock Damage in Percussive Drilling With Multiple-Button Bit." Journal of Energy Resources Technology 143.2 (2021): 024501.

10. Wasbari, F., et al. "Pre-charge pressure effects on isothermal and adiabatic energy storage capacity for dual hybrid hydro-pneumatic passenger car driveline." Proceedings of Mechanical Engineering Research Day 2017 (2017): 3-4.

11. Wang, Hu, et al. "Design and energy saving analysis of a novel isobaric compressed air storage device in pneumatic systems." Journal of Energy Storage 38 (2021): 102614.

12. Buhagiar, Daniel, and Tonio Sant. "Modelling of a novel hydro-pneumatic accumulator for large-scale offshore energy storage applications." Journal of Energy Storage 14 (2017): 283-294.

13. Sirotenko, Andrey, and Svetlana Partko. "The influence of initial parameters of pneumatic accumulator on the dynamic characteristics of the actuator during braking back pressure." Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1399. No. 4. IOP Publishing, 2019.

14. Kumar, Ajit, et al. Performance Investigation of a Hydro-pneumatic type Accumulator used in a Hydrostatic Drive System of Off-road Vehicles. Universitätsbibliothek der RWTH Aachen, 2018.

15. Hazelrigg, G. A. "On the Role and Use of Mathematical Models in Engineering Design." ASME. J. Mech. Des. September 1999; 121(3): 336-341.

16. E. Castillo, et al. Building and Solving Mathematical Programming Models in Engineering and Science: Wiley, 2011.

17. Alfio Quarteroni, "Mathematical Models in Science and Engineering," Notices of the AMS, Volume 56, Number 1, Jan. 2009.

18. Slidenko V.M. Dynamichnyy hasnyk kolyvan' korpusu hidromolota navisnoho na manipulyator hirnychoyi mashyny/Nauka, osvita i praktyka. Naukove vydannya. – Kremenchuk. KrNU, 2018. – Vyp. 5/2018. S. 17 – 19.

19. Heat Capacities of an Ideal Gas. OpenStax CNX, 5 Nov. 2020 <https://phys.libretexts.org/@go/page/4362>.

20. Venher YE.F. Osnovy statystychnoyi fizyky i termodynamiky. Navch. posib./YE.F. Venher, V.M. Hryban', O.V. Mel'nychuk.- K.: Vyshcha shk. 2004.- 255 s

21. Glazov A. N. Influence of operational parameters on characteristics of pneumatic hammers / A. N. Glazov // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. — 2007. — Vol. 310, № 2. — [P. 57-60].

22. Sulu, Zheng, et al. "Research on the detection system for impact energy of pneumatic drill based on stress wave technique." 2015 12th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI). Vol. 3. IEEE, 2015.

Research Supervisor Doctor of Technical Sciences Slidenko V.M.

Корнух В.О.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

РОЗРОБКА НАНОГЕНЕРАТОРА У ДЕПРЕСІЙНОМУ ГЕНЕРАТОРІ ІМПУЛЬСІВ

***Анотація.** На розгляді депресійний генератор імпульсів. При розробці наногенератора були замінені п'єзо-керамічні елементи.*

***Ключові слова:** депресійний генератор імпульсів, наногенератор.*

***Abstract.** Depressed pulse generator under consideration. During the development of the nanogenerator peso-ceramic elements were replaced.*

***Keywords:** depression pulse generator, nanogenerator .*

Вступ. Наногенератор – це пристрій який з будь-яких мікроколивачь генерує струм.

Завдяки винаходу наногенератору, людство зробило крок уперед у еру дешевої та всім доступної електроенергії, адже цей пристрій може з будь-яких мікроколивачь створювати енергію. Треба лиш трохи деформувати наногенератор [1] і ви отримаєте струм. Сьогодні існує наногенератор, який конвертує енергію в людському тілі. В 2011 році розробили наногенератор розміром у чверть поштової марки, який виробляв струм в один мікроампер та мав напругу 3 V. Ці генератори застосовують для підживлювання екранів калькулятора та для передачі бездротових сигналів.

У роботі наногенератор генерує струм при взаємному різькому механічному навантаженні п'єзоелементів. При цьому з'являються заряди різних знаків на протилежних гранях елементів і спричиняє електризацію рідини, що тече через сопла. У цей же час виникає Магнітопружний ефект і через це створюється магнітне поле механічної деформації елементів п'єзокераміки. Внаслідок цього виникають 2 ситуації:

1. Електризація рідини з подальшою кавітацією різько збільшує ефект кавітації;
2. При намагнічуванні різько покращується ефективність впливу поверхнево-активних речовин.

Потрапляючи в порові канали колектора, каверни кавітаційних струменів охоплюються з утворенням імпульсів високого тиску і з урахуванням великої кількості каверен виникненням високочастотного спектра коливачь з довжинами хвиль, порівнянними з нанорозмірами порових каналів. При періодичному характері поширення нанохвиль в капілярах здійснюється відрив налиплого частинок і кольматанта від стінок порових каналів з подальшим їх зв'язуванням намагніченою рідиною і видаленням їх з порових каналів при свабірованія.

Мета та завдання. Основною метою цієї роботи – це розробка депресійного генератора імпульсів, з встановлення наногенератора.

Матеріал та результати дослідження. Для дослідження застосовувався депресійного генератора імпульсів зображений на рис. 1.

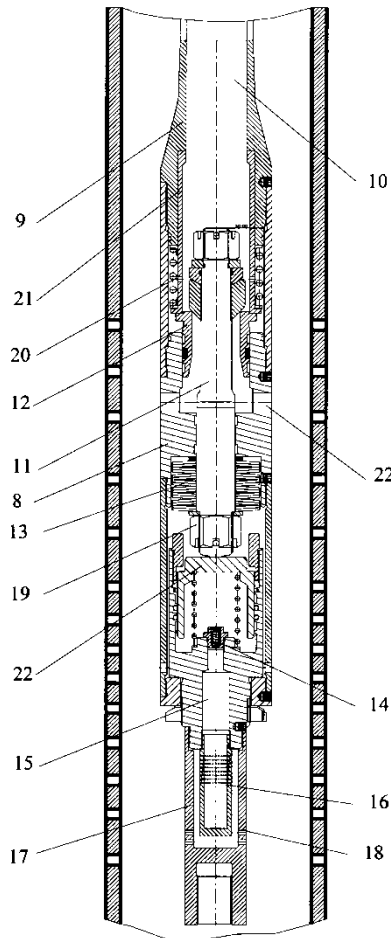


Рисунок 1 - Депресійний генератор імпульсів

При роботі нафтовидобувних та газоконденсатних свердловин відбувається поступове зниження їх продукції, а при роботі нагнітаючих свердловин - зниження їх прийнятності за рахунок погіршення колекторських властивостей плати в призабійній зоні.

У запропонованому способі використання наногенератора імпульсів завдання підвищення продуктивності та збільшення прийнятності свердловину вирішується наступним чином.

Вибирають свердловину для обробки та проводять [1] її глушення водних розчинів комплексних ПАВ, нафтовими рідинами, не обмежуючих колекторських властивостей ПЗП.

Потім в свердловину пропускають комплекс технологічного обладнання, в який входить колонна насосно-компресорних труб, зміцнених на ній пакер і через набір НКТ депресійний генератор імпульсів, над яким встановлюється мультиплікатор тиску з наногенератором.

На першому етапі здійснюється гідродинамічне вплив на ПЗП рідин глушень, поступово змінюється її на цільові хімічні реагенти та максимально сприятливі виникнення високо-амплітудних коліс у сквері. При цьому пакет знаходиться в транспортному стані, не забезпечуючи ударного навантаження на живлення на ПЗП, а аналог рідин здійснюється через затвор, ДГІ та НКТ.

На другому після заміни рідини глушень на композиції рідких хімічних реагентів здійснюють підсадку пакетів і завдання рідини в пласт через нанохвильовий генератор. При цьому подача робочої рідини до наногенератора здійснюється від

насосного агрегату через НКТ та мультиплікатор тиску, у склад якого входить наногенератор. Далі здійснюється технологічна витримка протягом 12-24 годин для руйнування АСПО та диспергування твердих кілець.

Особливістю конструкції обраного мультиплікатора з наногенератором є те, що сопла при різкому механічному навантаженні п'єзоелементів виникає п'єзоелектричний ефект, через це з'являються заряди різних знаків на протилежних гранях елемента. При цьому виникає ефект магнітопружності. ПАВ попадають в макрометрові порові канали колектора, за рахунок цього відбувається відрив наливних частинок кільманатів від стінок, з метою зв'язування намагніченою рідиною та видаленням їх с каналів.

Висновки. Проведено розрахунки тарілчастої пружини у залежності від дії тиску дроселювання. Змінюючи подачу рідини, відбувається деформація пружини, як наслідок виникає удар об сопла та виникає п'єзо ефект та внаслідок цього магнітопружний ефект.

Список використаних джерел.

1. Мельничук А.І. Методи підвищення дебіту нафтової свердловини Проблеми вдосконалення машин та обладнання електромеханічних та мехатронних систем Перша міжнародна науково-методична конференція.- Київ:2010р.-4с

2. Пат. 2376454С2, Росія, МПК [E21В 28/00](#). Мультиплікатор тиску с наногенератором [Текст] / Сліденко, Лістовщик, Козлов - №2376454С2; заявл. 07.08.2007; опубл. 20.12.2009.

УДК 681.5

Коровушкін В.О.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ ДЛЯ СТАЛОГО БУДІВНИЦТВА

***Анотація.** В роботі сформульовано принципи використання елементів сонячної електроенергетики в «зеленому» будівництві.*

***Ключові слова:** сонячна енергія, зелене будівництво, енергоефективність.*

***Annotation.** The paper formulates the principles of implementation photovoltaic systems for sustainable construction.*

***Keywords:** solar energy, sustainable construction, energy efficiency.*

Вступ. Традиційні викопні джерела енергії – нафта, вугілля, природний газ – є, як правило, зосередженими родовищами природних ресурсів, що накопичили енергію протягом дуже тривалого періоду часу, чим обумовлена їх висока ефективність, з одного боку, та вичерпність ресурсу – з іншого. Проблеми енергетичної та сировинної кризи змусили розпочати пошук альтернативних невичерпних та відновлюваних джерел енергії. Серед основних джерел знаходяться енергія вітру, сонця, тепла землі, біомаси та енергія руху води.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є розгляд питання інтеграції до архітектури об'єктів сонячної електроенергетики.

Матеріал і результати досліджень. До особливостей альтернативної енергії відносяться її низька інтенсивність та велика розсіяність у просторі із щільністю менше 300 Вт/м², що потребує розміщення великої кількості відносно малопотужних установок. У зв'язку з цим можна зробити висновок про доцільність розміщення об'єктів альтернативної енергетики у структурі будівель та прилеглих ділянках для збільшення площі енергетичної інфраструктури та підвищення загальної продуктивності енергосистеми. Таке рішення дозволить отримувати енергію практично з усієї території, включаючи площу забудови. Скорочення протяжності інженерних комунікацій у цьому випадку допоможе значно знизити витрати на будівництво та експлуатацію інженерних мереж, що пов'язують між собою численні установки з будівлями-споживачами, а також зменшити втрати при передачі виробленої енергії, які значно зростають у міру збільшення протяжності та зниження питомої потужності енергомереж. В той же час використання нових елементів у архітектурі може стати засобом формування нового підходу до проектування нових будівель. Використання відновлюваних джерел енергії для України є особливо актуальним, оскільки клімат вимагає великих енерговитрат на опалення та утримання будівель. На житлово-комунальне господарство припадає майже 30% енергоспоживання в Україні. Знос основних фондів у житлово-комунальному господарстві становить приблизно 83%, у зв'язку з чим гостро постає питання модернізації об'єктів житлового сектору [1].

Вирішення питання про доцільність застосування сонячних технологій можливе лише за наявності даних про енергетичну ефективність (вироблення електроенергії) сонячних фотоелектричних модулів (ФЕМ), та фотоелектричних систем (ФЕС) на їх основі. Кількість електроенергії, що виробляється ФЕМ, безпосередньо залежить від надходження сонячного випромінювання в обраних географічних умовах

експлуатації та визначається формулою (1):

$$E_{уст} = E_{інс} \cdot S \cdot \cos(\theta) \cdot \eta, \quad (1)$$

де $E_{уст}$ – енергія, яку виробляє установка, кВт·год; $E_{інс}$ – енергія, сонячних променів, що падають на поверхню, кВт·год/м²; S – площа фотоелементів; $\cos(\theta)$ – коефіцієнт положення, θ – кут між напрямом випромінювання до довільно зорієнтованої поверхні та нормаллю до цієї поверхні; η – ККД фотоелементів.

Кут падіння сонячних променів $\cos(\theta)$ на довільно зорієнтовану поверхню можна знайти з формули (2) [2]:

$$\cos(\theta) = \sin(\delta)\sin(\varphi)\cos(\beta) - \sin(\delta)\cos(\varphi)\sin(\beta)\sin(\gamma) + \cos(\delta)\cos(\varphi)\cos(\beta)\cos(\tau) + \cos(\delta)\sin(\varphi)\sin(\beta)\cos(\gamma)\cos(\tau) + \cos(\delta)\sin(\beta)\sin(\gamma)\sin(\tau) \quad (2)$$

де β – кут нахилу поверхні ФЕМ до горизонтальної площини, град; δ – схилення Сонця, град; φ – географічна широта місцевості, де встановлений ФЕМ; τ – годинний кут Сонця; γ – азимутальний кут площини відносно півдня, град.

Сонячна панель – об'єднання фотоелектричних елементів, що напрому перетворюють сонячну енергію в енергію постійного струму. Схематичне зображення принципу роботи наведено на рис. 1.

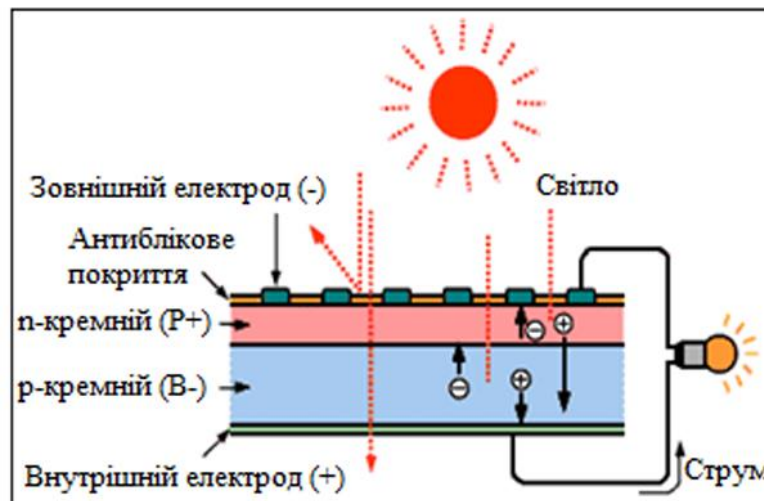


Рисунок 1– Принцип дії фотоелектричного перетворювача

Усі сонячні панелі можна умовно розділити на декілька груп:

- 1) кремнієві, які в свою чергу поділяються на
 - монокристалічні;
 - полікристалічні;
 - аморфні;
- 2) на основі інших сполук:
 - на основі телуриду кадмію (CdTe);
 - на основі арсеніду галію (AsGa);
 - на основі міді-індію-галію-селеніду (CIGS);
 - перовскітні;
 - полімерні;
 - багатошарові;

Кремнієві сонячні панелі – відносно стара і найбільш досконала технологія. Переважна більшість наземних СЕС будуються із застосуванням таких ФЕМ. Найбільш поширені моделі мають ефективність 15-22%.

Усі тонкоплівкові сонячні панелі мають незначне, відносно кремнієвих, зниження ККД при частковому затемненні. ФЕМ, виготовлені за технологією CIGS мають відносно невелике зниження ККД в хмарну погоду. Окрім того, вони легкі та гнучкі, що значно збільшує перелік поверхонь, на які можна встановити такі панелі. Під час лабораторних тестів CIGS-панелі показують 22% ККД, арсенід-галієві ФЕМ до 29%, перовскітні - до 22%, кадмій-телуrowі, найбільш тонкі з них, - до 22%.

Багатошарові ФЕМ – найбільш перспективна технологія, що дозволяє збільшити ККД до 46% і з кожним роком цей показник збільшуватиметься і надалі. Однак, через високу вартість і складність виготовлення та розробки, такі панелі використовуються лише у космічних апаратах, таких, як супутники чи марсоходи.

Існуючі типи ФЕМ та тенденції розвитку зображено на рис. 2:

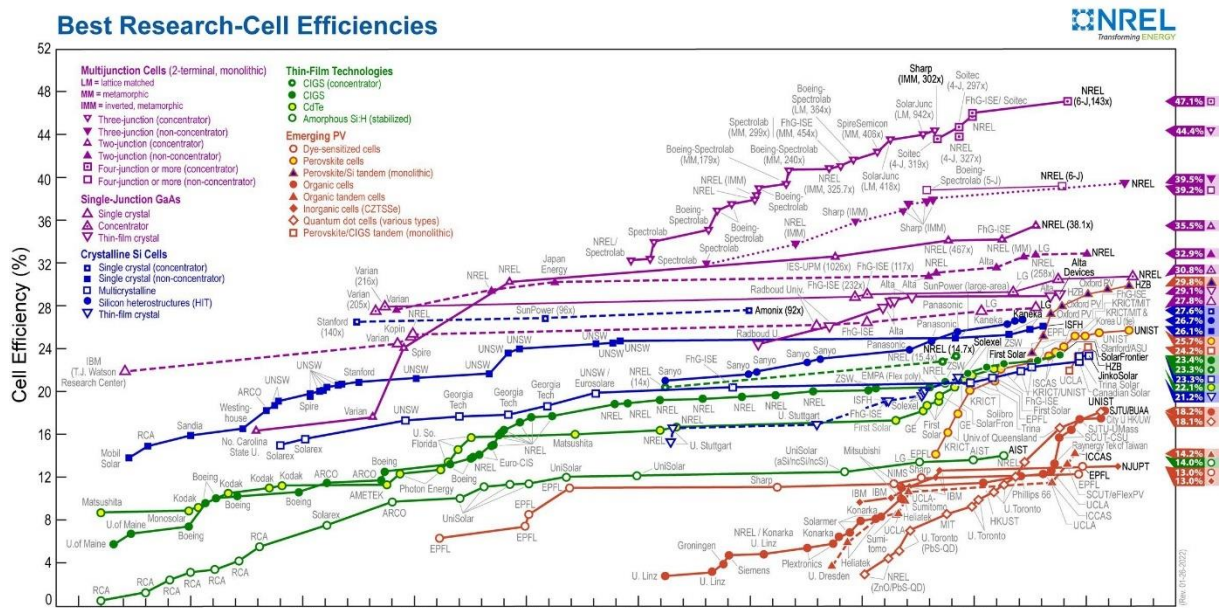


Рисунок 2– Графік розвитку сонячних панелей (найкращі досягнення) [3]

Фотоелектрична система – сукупність спеціальних елементів, за допомогою яких відбувається перетворення потоку сонячного випромінювання в електричну енергію - зазвичай складається з наступних елементів:

- сонячні батареї;
- інвертор;
- пристрій автоматичного введення резерву;
- електролічильник сонячної електростанції;
- акумулятор;

Існує три типи ФЕС:

- автономна;
- резервна (гібридна);
- з'єднана з мережею

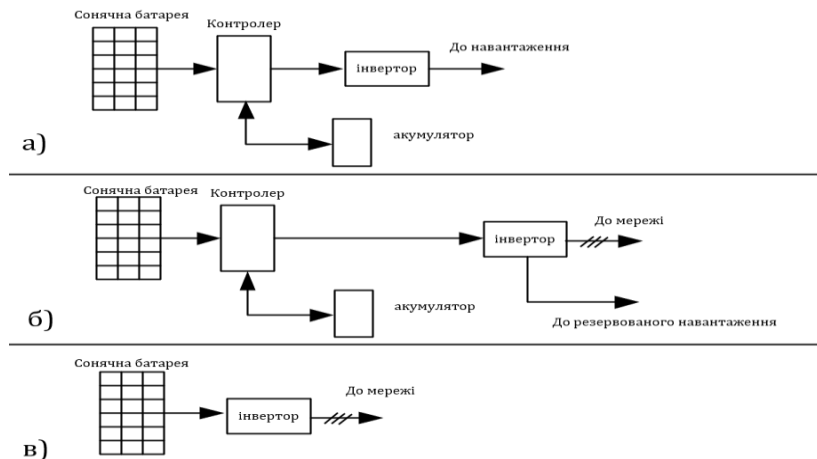


Рисунок 3– Типи ФЕС: а – автономна, б – резервна (гібридна), в – з'єднана з мережею

Автономні ФЕС використовуються там, де ускладнений, або неможливий доступ до централізованого електропостачання. Для забезпечення електроенергією вночі чи в умовах повного затемнення сонячної батареї використовують додатковий генератор.

З'єднані з мережею ФЕС, головним чином, використовуються для продажу надлишків електроенергії за «зеленим тарифом», однак, за потреби, можуть бути використані як додаткове джерело при збільшенні власного електроспоживання.

Резервна (гібридна) ФЕС робить споживача незалежним через наявність певної автономії, тобто запасу енергії в акумуляторах; але при цьому споживач користується і мережею, беручи з неї енергію, що бракує і продаючи надлишкову. Як правило, акумулятори ставляться на гібридні об'єкти потужністю до 30 кВт. Може використовуватись у випадках, коли є ризик відключення централізованого електропостачання. Так, до системи підключаються, перш за все, чергове освітлення, сервери, засоби зв'язку і передачі даних. Потужні системи можуть також забезпечувати енергією інших споживачів під час відключення від мережі.

ФЕС мають значний потенціал до поєднання з об'єктами цивільного будівництва. Можна виділити два способи класифікації інтегрованих ФЕС. Перший класифікує можливості інтеграції за архітектурними концепціями, які розглядають будівлю як формальне ціле. У цьому випадку ФЕС може бути описана щодо ролі, яку вона відіграє в композиції фасаду.

Другий категоризує можливості інтеграції відповідно до технологічного виконання. Так, ФЕМ можуть бути закріплені на поверхні будівлі (BAPV-Building Added Photovoltaics) або інтегровані в конструктивний комплекс фасаду (BIPV-Building Integrated Photovoltaics). Зрозуміло, що BAPV потребує додаткових систем кріплення, в той час BIPV є спеціально розробленими елементами, які задовольняють всі вимоги до фасаду будівлі (механічна стійкість, теплоізоляція тощо). Різноманітні спеціальні PV компоненти активно розробляються останнім часом і вже широко доступні на ринку [4].

З огляду на ці два способи класифікації можна встановити топологічно-технологічний підхід, коли основу цієї категоризації забезпечує розміщення фотоелектричної системи на поверхні будівлі, а потім спосіб її технологічної інтеграції (BAPV або BIPV).

На рис. 4 зображені деякі типи інтеграції фотоелектричних систем.

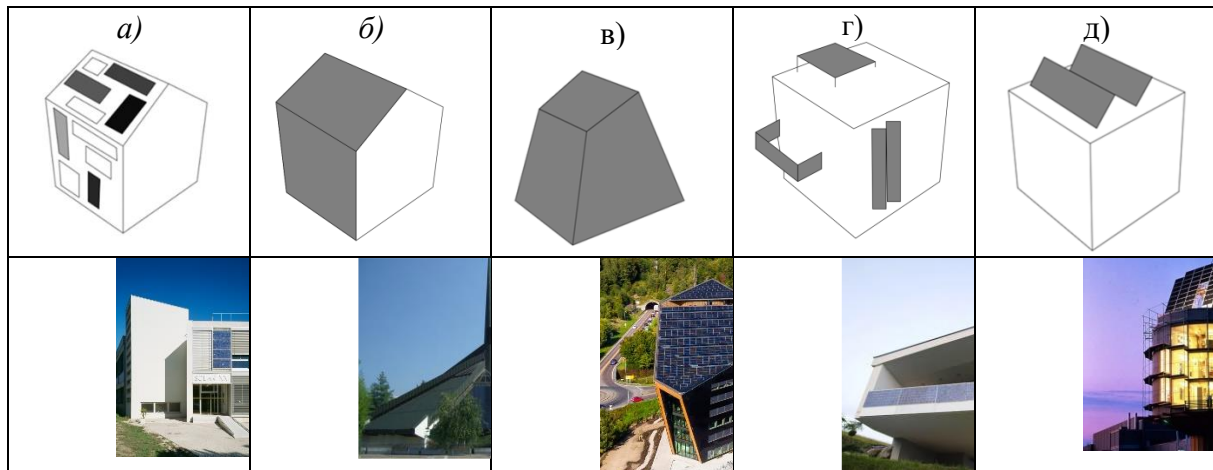


Рисунок 4 – Типи інтеграції фотоелектричних систем: а – складова частина поверхні (Solar XXI, Португалія); б – повністю покритий фасад (Milland Church, Італія); в – оптимізована форма будівлі (Powerhouse Telemark, Норвегія); г – багатofункціональний елемент (Single Family House, Büro Kaltenegger, Австрія); д – надбудований елемент (Heliotrope, Німеччина)

При проєктуванні важливо переконатися, що збірка фотоелектричної системи відповідає всім будівельним стандартам:

- Навантаження збірки має бути правильно передано на несучу конструкцію шляхом відповідної фіксації;
- Кріплення не повинно погіршувати теплоізоляцію будівлі;
- Конструкція повинна дозволити стіні правильно висихати та уникати утворення шарів конденсату;
- Збірка повинна протистояти вітровому навантаженню та випадковим ударам;
- Матеріали фасаду, що контактують із сонячними модулями, повинні бути вогнетривкими та витримувати високі показники робочої температури;
- Необхідно враховувати питання безпеки для збірок, які знаходяться в межах досяжності користувачів, щоб уникнути небезпеки ураження струмом (перший поверх, вікно, балкон)

Окрім того, важливо враховувати естетичні аспекти. Використання об'єктів альтернативної енергетики в архітектурі засновані на принципі стилістичної єдності, що передбачає вирішення низки завдань, пов'язаних з дизайном інженерного обладнання та прийомами його інтеграції в структуру будівель та генерального плану з метою створення виразної стилістично цільної архітектурної композиції. У цьому плані можна назвати два основних підходи до проєктування – адаптація інтегрованих установок до характеру забудови і створення нових архітектурних рішень, що використовують об'єкти альтернативної енергетики як основний елемент образу. Як бачимо, у першому випадку дизайн і спосіб інтеграції засобів альтернативної енергетики підпорядковуються художньому рішенню будівлі, що вже склалося, у другому – є його визначальним елементом.

Висновки. Пошук і використання моделей модернізації архітектури енергоактивних будівель із використанням засобів сонячної електроенергетики є шляхом підвищення енергетичної ефективності об'єктів житлового сектору.

Список використаних джерел.

1. Подолець Р. Проблемы и перспективы создания благоприятного климата для повышения энергоэффективности и энергосбережения в Украине. URL:

https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/ee21/EE21_Subregional_projects/UkrainePo dolets-Rus02.pdf(дата звернення: 15.05.2022).

2. Староконь І. Методика оценки воздействия солнечного излучения на температурное состояние морских стационарных платформ. 2014.
3. Best Research-Cell Efficiency Chart. National Renewable Energy Laboratory (NREL) Home Page | NREL. URL: <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>(date of access: 15.05.2022).
4. BiPV modules. URL: <https://www.bipv.ch/index.php/en/products-en-top/bipv-modules> (date of access: 15.05.2022).
5. Solar Energy Systems in Architecture - Integration Criteria and Guidelines / F. Frontini et al. 2012.
6. Твайделл Дж., Уейр А. Возобновляемые источники энергии. Москва : Энергоатомиздат, 1990. 392 с.

Науковий керівник ст. викл. Володимир Дубовик

УДК 621.3, 621.225

Максименко Б.В.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ПРОТИДІЯ ПАРАФІНОВИМ ВІДКЛАДЕННЯМ В НКТ ЗА ДОПОМОГОЮ МОТОР-НАСОСА НАГРІВАЧА

***Анотація.** Досліджено можливості використання мотор-насосу нагрівача для запобігання парафіновим відкладенням, його гідравлічні характеристики, порівняння з іншими доступними аналогами.*

***Ключові слова:** НКТ, мотор-насос нагрівач, парафіни, відкладення, нафта, свердловина.*

***Abstract.** Possibilities of using the motor-pump of the heater for prevention of paraffin deposits, its hydraulic characteristics, comparison with other available analogues are investigated.*

***Key words:** Tubing, motor-pump heater, paraffin, deposits, oil, well.*

Вступ. На сьогоднішній день видобуток нафти є однією з найбільших галузей людства, і хоча період, розквіту цієї галузі, порівняно невеликий, попит та інтенсивність, з якими здійснюється видобуток, дуже великі. Сучасний підхід до розробки родовищ неминуче призводить до виснаження свердловиною. Також дебіт свердловин зменшується через важкі фракції нафти, такі як парафіни, асфальтени, що при відкачці осідають на стінках НКТ, можуть навіть повністю її перекрити. Це призводить до створення додаткового опору і зменшення продуктивності свердловини.

Для вирішення цієї проблеми люди створили багато різних пристроїв, але у всіх як свої переваги так і недоліки. Багато з них потребують зупинки роботи свердловини, і прочистки колони механічним способом, або використанням хімічних реагентів, і як можна зрозуміти дану процедуру потрібно повторювати через певні проміжки часу.

Але враховуючи основну причину відкладення парафінів – зниження температури при підйомі нафти, вище запропоновані методи не такі ефективні. Тому також використовують встановлення спеціальних нагрівачів, як в колоні так і за стінками.

Недоліками даних методів є створення гідравлічних опорів, та втрати тепла, що знижують ефективність пристроїв.

Альтернативою є використання пристрою що одночасно виконує функцію нагрівання та переміщення рідини.

Мета та завдання. Розрахунок ефективності застосування мотор-насосу нагрівача для протидії парафіновим відкладенням в НКТ нафтової свердловини.

Матеріал та результати дослідження.

Опис проблеми. Видобуток нафти супроводжується неминучою зміною термодинамічних умов та переходом нафти з пластових у поверхневі умови. При цьому тиск і температура знижуються. Порушується фазова рівновага окремих вуглеводнів у суміші, і їх виділення відбувається у вигляді вуглеводневих газів того чи іншого складу, з одного боку, і твердих або маслянистих важких фракцій у вигляді парафіну, смол та асфальтенів, на з іншого боку. Охолодження нафти під час підйому, вивільнення газоподібних фракцій і перепад тиску зменшує його розчинність щодо таких важких фракцій, як парафіни та смоли, які виділяються у вигляді кристалів парафіну, утворюючи нову тверду фазу.

Дрібні частинки парафіну можуть залишатися зваженими і переноситися потоком рідини. За певних умов вони злипаються, вивільняючи як смоли, так і асфальти, утворюючи липкі грудочки твердих вуглеводнів, які прилипають до шорстких стінок

труб, зменшуючи їх перетин.

Температура, при якій в нафті з'являються тверді частинки парафіну, називається температурою кристалізації парафіну. Вона різна для різного складу нафти і складу парафінових фракцій.

Для запобігання відкладення парафіну та забезпечення нормальної роботи свердловин застосовуються різні методи. Існують наступні основні способи видалення відкладень парафіну.

Механічні методи, які включають:

- використання пружинних скребоків, періодично спускаються в трубопроводи по сталевому дроті;
- періодичне видалення вощеної частини НКТ і очищення їх внутрішньої порожнини механічними скребками на поверхні;
- використання автоматичних так званих літаючих скребоків.

Теплові методи:

- нагрівання колони труби шляхом нагнітання перегрітої пари в затрубний простір;
- нагрівання труб відкачуванням гарячого масла;

Застосування труб з внутрішнім покриттям зі скляних, емалевих або епоксидних смол.

Застосування різних розчинників для парафінових відкладень.

Застосування хімічних добавок, що запобігають прилипанню парафіну до стінок труб.

Залежно від інтенсивності утворення парафінових відкладень, їх міцності, складу та інших особливостей застосовуються різні методи і часто їх комбінації.

Критерії порівняння. Основним в роботі нафтової свердловини є дебіт, енергозатрати на підйом нафти, час роботи свердловини між обслуговуваннями і час зупинки для обслуговування. За допомогою цих критеріїв можна порівняти наведені методи для протидії відкладенням парафінів. Також важливим критерієм є технічна складність і вартість реалізації проекту.

Так основна проблема механічних і хімічних методів – технічна складність, і регулярні зупинки роботи на проведення очищення.

Теплові методи мають низький ККД через розсіювання тепла в затрубний простір, а в разі встановлення в середину НКТ створюють додатковий гідравлічний опір.

Використання спеціальних покриттів на трубах НКТ дозволяє забезпечити ефект на певний термін, але потім необхідна заміна, що несе великі капіталовкладення.

Запропоноване рішення. З патенту [1] відома конструкція мотор насоса нагрівача (рис. 1) для боротьби з відкладеннями парафінів.

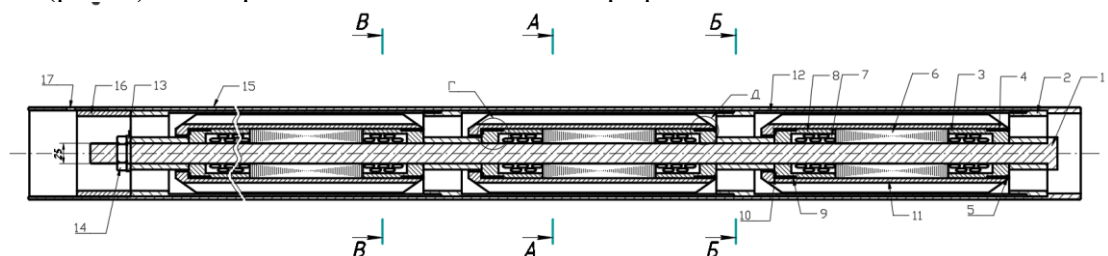


Рисунок 1 – Конструкція мотор насоса нагрівача

Основна відмінність запропонованого методу запобігання відкладенням парафінів від існуючих є нагрівання нафти з одночасним переміщенням оскільки пристрій являє собою електродвигун з зовнішнім ротором, на якому розміщується

робоче колесо осьового насосу, що компенсує гідравлічні втрати. Завдяки блочній конструкції пристрій має можливість масштабування, що збільшує діапазон можливого регулювання.

Нагрівання здійснюється завдяки втратам і двигуні і насосі, тому нормальний КПД для роботи насосу і двигуна 20-50% а втрати використовуються для нагрівання рідини що прокачується.

В патенті не описана конструкція лопаток робочого колеса, тому в середовищі SolidWorks було досліджено геометрію запропонованого насосу і можливу його ефективність з різними варіантами виконання лопаток (рис. 2). Найефективніше розміщення кількох рядів лопаток на одному робочому колесі, і розміщення направляючих після кожного ряду на зовнішньому корпусі.

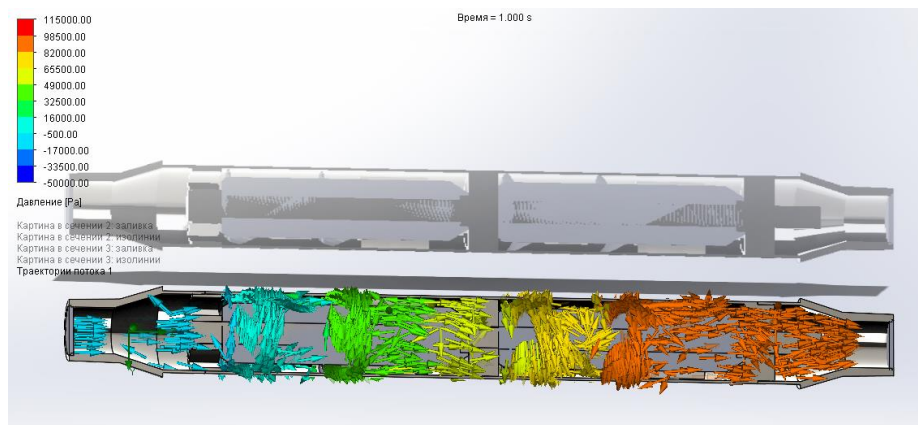


Рисунок 2 – Дослідження потоку при проходженні через пристрій запропонованої конструкції

На симуляції (рис. 2) загальний напір насосу за даної конструкції становить близько 90 кПа, що відповідно дорівнює 9 м водяного стовпа при швидкості обертання 1000 об/хв. Тобто запропонована конструкція компенсує створюваний нею гідравлічний опір.

Висновки. Досліджений мотор-насос нагрівач для запобігання парафіновим відкладенням в НКТ. Проведена симуляція в середовищі SolidWorks, що показує збільшення напору на виході з насосу на 9 метрів. Основні переваги запропонованого методу запобігання парафіновим відкладенням: простота конструкції; компенсація гідравлічних втрат; всі втрати в двигуні і насосі використовуються для нагрівання, тобто виконують корисну для нагрівача роботу; збільшення терміну між обслуговуваннями НКТ; великий діапазон регулювання зміни температури, і подачі за рахунок зміни кількості секцій і конструкції лопаток робочого колеса. Недоліки: ускладнення системи нафтовидобування встановленням нового елемента; недостатня дослідженість запропонованого методу.

Перелік посилань.

1. Пат. 77357 Україна, МПК H05B 6/10 (2006.01) Мотор-насос трансформаторно-асинхронної системи для транспортування та нагрівання рідини / Попович О.М. Вербовий А.П. Головань І.В. Заявник та патентовласник: інститут електродинаміки НАН України, у 2012 09396, опубл. 11.02.2013

2. Білецький В.С. «Мала гірнича енциклопедія 2 том» Вид. – Донецьк, «Донбас» 2007. – 652 с.

3. В. С. Білецький, В. М. Орловський, В.І. Дмитренко, А. М. Похилко «Основи нафтогазової справи» – Полтава : ПолтНТУ, Київ : ФОП Халіков Р.Х., 2017. – 312 с.

Науковий керівник д.т.н., доц. Попович О.М.

УДК 621.316

Маламан Д.О.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТАНУ

Анотація. У статті представлено результати досліджень режимів роботи обладнання та схеми управління процесами використання метану водневої енергетики, що дозволяє забезпечити максимальний рівень ККД опалення в побуті, також високу екологічність та економити використання природних ресурсів..

Ключові слова: воднева енергетика, схеми управління.

Annotation. The article presents the results of research on the modes of operation of equipment and control schemes for the use of methane in hydrogen energy, which allows to ensure the maximum level of heating efficiency in the home, as well as high environmental friendliness and save the use of natural resources.

Keywords: methane energy, control schemes.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є огляд актуальності водневої енергетики, виведення водню завдяки метану і прикладний розгляд експлуатації в енергетиці. Розгляд плюсів та мінусів.

Водень – це легкий газ, який при спалюванні дає тепло, що у кілька разів перевищує тепло від використання газу. Головною його перевагою при використанні в опалювальній системі є невелика температура горіння (всього 300°C). Це дозволяє використовувати газ у казані, виконаному з традиційних недорогих видів металу. Газ не має кольору та запаху, а при поєднанні з іншими хімічними компонентами він не утворює небезпечних токсинів, шкідливих для здоров'я людини. Охолоджений до рідкого стану водень займає 1/700 обсяг газоподібного стану. Водень при поєднанні з киснем має найвищий вміст енергії на одиницю маси: 120.7 ГДж/т.

Нині у світі більшість виробленого у промисловому масштабі водню виходить у процесі парової конверсії метану (ПКМ). Пар і теплова енергія при температурах 750-850°C потрібні, щоб відокремити водень від вуглецевої основи метану, що відбувається в хімічних парових реформерах на каталітичних поверхнях. Перший ступінь процесу ПКМ розщеплює метан та водяну пару на водень та монооксид вуглецю. Після цього на другому ступені «реакція зсуву» перетворює монооксид вуглецю та воду на діоксид вуглецю та водень. Ця реакція відбувається за температури 200-250°C.

Серед переваг, що дозволяють використовувати цей вид опалення в побуті, є такі показники:

- Абсолютна екологічність - продукти розпаду води (водень, кисень та пара, не впливають на стан здоров'я навіть у процесі горіння).
- Максимальний рівень ККД, що досягає 96%, це набагато вище від того ж вугілля, дизеля або природного газу.
- Використання водню як альтернативного джерела енергоресурсів дозволяє значно економити запаси природних ресурсів, що вичерпуються, знижуючи їх видобуток у кілька разів.
- Невисока вартість – для опалення житлових будинків вартість системи незначна, а простота роботи, що базується на примітивній хімічній реакції електролізу, дозволяє зібрати систему своїми руками.

З недоліків можна виділити лише два показники:

1. Необхідність щорічної заміни металевих пластин - це необхідно для того, щоб електроліз відбувався з максимально високим рівнем вироблення водню.
2. Дороге обладнання - купівля заводської установки обійдеться в середньому близько 15-20 тис гривень. Технічні характеристики водневих установок наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Технічні характеристики водневих установок

Параметр	Генератор водню GHS HyProvide	Генератор водню PIEL
Продуктивність	30/60/90 Нм ³ /год	1,10 Нм ³ /год
Тиск	До 35 бар	3,8 бар
Чистота водню	До 99,999%	До 99,995%
Витрата електроенергії	4,7 кВт/год м ³	6,2 кВт/ год м ³
Діапазон регулювання	25..100%	60..100%
Передача даних	Ethernet/Can-bus	ні
Контейнерне виконання	опція	опція

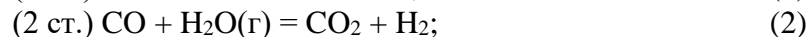
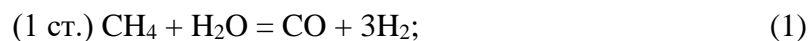
Охарактеризуємо властивості елемента водневих установок для його застосування:

- 1) Горіння водню - процес екологічно чистий, жодних шкідливих речовин не виділяється.
- 2) Завдяки хімічній активності газ у вільному вигляді Землі не зустрічається. У складі метану його запаси невичерпні.
- 3) Елемент видобувається у промисловому виробництві хімічним способом, наприклад, у процесі газифікації (піролізу) кам'яного вугілля. Найчастіше є побічним продуктом.
- 4) Інший спосіб одержання газоподібного водню з метану - взаємодія його з водяною парою.

Проведення реакції:

Процес відокремлення водню від вуглецевої основи в метані протікає у трубчастих печах (хімічних парових реформерах) при зовнішньому підведенні теплоти при температурах 750-850 оС через стінку труби на каталітичних поверхнях (нікель, корунд та ін.).

Основні реакції процесу,парової конверсії метану (технологія отримання Н₂):

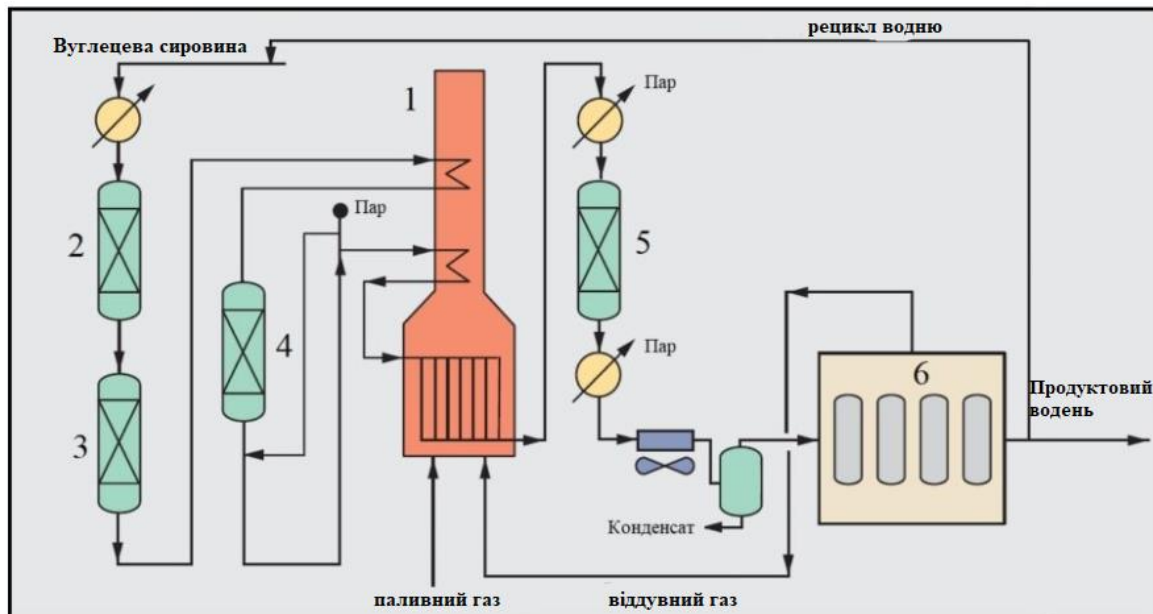


Перший крок реакції розщеплює метан та водяну пару на водень та монооксид вуглецю (синтез-газ). Після цього «реакція зсуву» перетворює монооксид вуглецю та воду в діоксид вуглецю та водень. Ця реакція відбувається при температурах 200-250°С.

Виробництво водню здійснюється в основному шляхом парової конверсії природного газу - метану. При цьому для реалізації ендотермічного процесу парової конверсії метану спалюється близько половини вихідного газу. Для економії природного газу та виключення викидів продуктів спалювання в навколишнє середовище пропонується технологія парової конверсії метану з підведенням тепла від високотемпературного газоохолоджувального реактора. Створення тандему

«високотемпературний газоохолодний реактор - парова конверсія метану» у вигляді атомного енерготехнологічного комплексу відкриває шлях великомасштабного екологічно чистого виробництва водню.

До особливостей високотемпературних газоохолоджуваних реакторів, стимулюючим їх застосування як енергоджерела при конверсії природного газу водень, відносять можливість генерації високотемпературного тепла, що передається в технологічний процес, модульну конструкцію реактора, високий рівень безпеки і маневреності, рис. 1.



Принципова схема установки виробництва водню методом парової конверсії
1 - піч риформінгу; 2 - реактор гідрообессерювання; 3- адсорбери; 4 - реактор предриформінгу;
5 - реактор конверсії CO; 6 - блок адсорбції (КЦА)

Рисунок 1 – Технологічна схема установки отримання водню

Атомна енерготехнологічна станція тепловою потужністю 2400 МВт, що складається з чотирьох модульних високотемпературних газоохолоджуваних реакторів по 600 МВт кожен, здатна забезпечити в процесі парової конверсії метану виробництво понад 0,8 млн т водню на рік з 2600 млн Нм³ природного газу.

Парова конверсія метану є сьогодні основним промислово освоєним і пристосованим для першого етапу впровадження технологій виробництва водню (разом з ВТГР) процесом.

На ньому засновано існуюче світове виробництво водню. Поєднання ВТГР та ПКМ дозволяє приблизно на 40% знизити споживання природного газу, а отже, і витрати, необхідні для виробництва водню. Економічна ефективність застосування ПКМ визначається ціною на газ та температурою споживаного тепла. Необхідна температура нагрівання парогазової суміші має бути не нижче 800 °С, причому подальше підвищення температури на ефективність процесу практично не впливає, рис. 2.

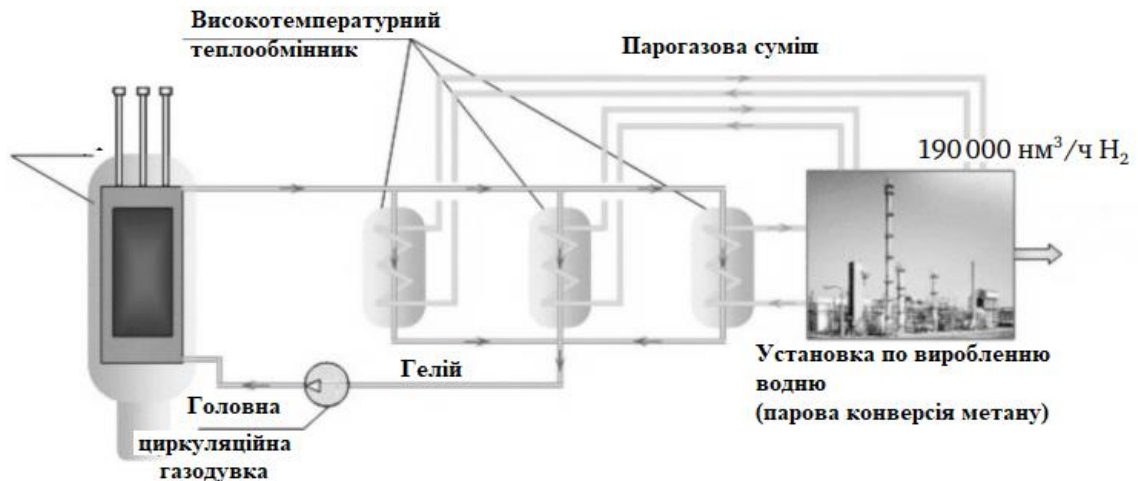


Рисунок 2 – Принципова схема реактора МГР-100 ПКМ

Теплова енергія відводиться від реактора до робочого середовища другого контуру (парогазової суміші) у високотемпературних теплообмінниках (СОТ), які є складовою частиною термоконверсійного апарату (ТКА). Реалізація конверсії метану ($\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} (\text{пар}) + \text{тепло} \rightarrow \text{CO}_2 + 4\text{H}_2$) відбувається у ТКА за тріступінчастою схемою. Парогазова суміш (пар - 83,5%, CH_4 - 16,5%) подається послідовно в три ступені

ТКА1, ТКА2 та ТКА3. Це визначає конфігурацію теплопередаючого блоку РУ.

Він складається з трьох окремих високотемпературних теплообмінників СОТ 1, СОТ 2, СОТ 3 (рис. 4), що представляють окремі шаблі (секції) блоку. Розташування секцій СОТ по ходу теплоносія першого контуру - паралельне, по ходу парогазової суміші - послідовне.

Після ТКА3 парогазова суміш (пар - 55%, CH_4 , H_2 , CO , CO_2 - 45%) з великою концентрацією водню послідовно проходить блок очищення від CO_2 і H_2O і прямує до блоку відділення водню. Поворотна фракція і природний газ змішуються з перегрітою парою і потім прямують до ТКА.

Циркуляція гелію у першому контурі здійснюється ГЦГ, парогазової суміші – компресорами.

Основні параметри установки наведено у табл. 5.4. Температура гелію на виході із реактора становить 950 °С. Залежно від типу компонування (петльової або блокової) основного обладнання РУ, конфігурація теплопередаючого блоку може бути різною. У блоковій компоновці основне обладнання РУ з'єднується за допомогою коротких патрубків типу «труба в трубі», до складу теплопередаючого блоку доцільно включити ГЦГ.

Ми отримуємо такі перспективи:

- підвищена безпека (у модульному виконанні (типу ГТ-МГР) вони витримують аварії із втратою теплоносія, оскільки кільцева конфігурація активної зони шляхом теплопровідності забезпечує пасивне відведення залишкового тепла у довілля без перевищення допустимих температур)

- гарантії нерозповсюдження (особливості конструкції палива, захищеного багаточаровими керамічними покриттями та використання як паливо урану низького збагачення (не більше 20%) сприяють захисту від поширення матеріалів, що діляться свіжого палива. Ризик поширення матеріалів, що діляться, з ВЯП практично зводиться до нуля завдяки дуже глибокому вигорянню вихідного матеріалу.)

При використанні парової конверсії метану у поєднанні з ВТГР необхідна теплова

потужність ВТГР становить 5 млн т водню близько 6,5 ГВт. У перспективі, коли вартість природного газу підвищуватиметься, частка водню, що виробляється з води, може бути доведена до 100% з допомогою замикання циклу відновлення метану з проміжного продукту — метанолу, з допомогою електроенергії.

Висновки. Безумовно, поки що частка водневої енергетики відносно невелика. Та й сам водень сьогодні не так паливо, як сировина для виробництва аміаку та метанолу. Проте стан речей змінюється і не виключено, що вже в середньостроковій перспективі водень зможе замінити природний газ.

Зокрема, у Японії вже розпочалося створення глобальної мережі виробництва водню для енергетичних установок. Причому його транспортування у рідкому вигляді країні знадобиться близько 80 танкерів. У 2019 році в австралійському місті Гастінгсі розпочато будівництво спеціального водневого терміналу.

Всі ці факти свідчать, що високий потенціал водневої енергетики свідчать як прогнози аналітиків, а й інвестиції великих корпорацій. А це означає, що традиційним енергоносіям рано чи пізно доведеться поступитися своїм місцем на п'єдесталі.

Список використаних джерел

1. Р. В. Радченко А. С. Мокрушин В. В. Тюльпа «Водород в энергетике» <https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/30843/1/978-5-7996-1316-7.pdf>
2. Г.Н. Волощенко, В.П. Пахомов, Н.Н. Пономарев – Степной <http://electricalschool.info/main/drugoe/147-vidy-jelektricheskoyj-zashhity.html>
3. Атомный энерготехнологический комплекс с высокотемпературными газоохлаждаемыми реакторами для масштабного экологически чистого производства водорода из воды и природного газа <https://cyberleninka.ru/article/n/atomnyy-energotehnologicheskij-kompleks-s-vysokotemperaturnymi-gazoohlazhdaemymi-reaktorami-dlya-masshtabnogo-ekologicheskij>
4. Водород и водородная энергетика <https://metallolome.ru/vodorod-i-vodorodnaya-energetika/>
5. Атомно-воднева енергетика – шляхи розвитку. https://www-rosteplo-ru.translate.goog/Tech_stat/stat_shablon.php?id=216&p=2&x_tr_sl=ru&x_tr_tl=uk&x_tr_hl=ru&x_tr_pto=wapp
6. Воднева енергетика, коли настане майбутнє? https://voltobzor-ru.translate.goog/poleznye-stati/plyusy-i-minusy-vodorodnoj-energetiki-kogda-nastupit-budushhee?x_tr_sl=ru&x_tr_tl=uk&x_tr_hl=ru&x_tr_pto=wapp#i-4

Науковий керівник ст. викладач Дубовик В.Г.

УДК 621.3

Горобець А.М.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ЧАСТОТНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПРИВОДУ СИСТЕМИ ЗВОРТНЬООСМОТИЧНОГО ОПРІСНЕННЯ ВОДИ

Анотація. В результаті проведених досліджень було змодельована систему автоматичного керування насосом високого тиску в системі зворотного осмосу, а також побудовані регулювальні характеристики, згідно яких слід зазначити ефективність частотного регулювання для установки опріснення води відносно способу використання декількох установок меншої потужності, які працюють при номінальних параметрах.

Ключові слова: автоматизована система керування, енергоефективність, частотне регулювання електроприводу, зворотній осмос.

Abstract. As a result of the research, the system of automatic control of the high-pressure pump in the reverse osmosis system was modeled, and the control characteristics were constructed, according to which the efficiency of frequency control for water desalination installation

Key words: automated control system, energy efficiency, frequency control of the electric drive, reverse osmosis.

Вступ. Однією з головних проблем Півдня України, зокрема зони сухого степу, де середньорічні норми опадів ледве перевищують 300 мм, є нестача прісної води високої якості. Ситуація погіршується тим, що сухий степ в прибережній зоні Чорного моря характеризується великими запасами підземних вод із високою загальною мінералізацією від 1 до 35 г/л [1].

Але до недавнього часу велика частина електроприводів зазначених механізмів були нерегульованими. Традиційні способи регулювання подачі на насосних установках полягають у дроселюванні напірних ліній і зміні загального числа працюючих агрегатів. Такі способи регулювання спрямовані на рішення технологічних задач і фактично не враховують енергетичних аспектів транспорту води.

Мета та завдання. Дослідження гідравлічних та електромеханічних характеристик системи зворотньоосмотичного опріснення води з частотнорегульованим приводом насоса високого тиску та оцінки енергоефективності роботи такої насосної установки.

Матеріал та результати дослідження. Центральним механізмом ЗО установки опріснювальної установки є відцентровий багатоступінчатий насос високого тиску [2].

При використанні дросельних елементів відбувається розподіл напору на елементах системи. Для підтримки заданого тиску в мережевому трубопроводі при зміні витрати рідини доводиться змінювати гідравлічний опір регулюючого елемента. При цьому загальна гідравлічна характеристика буде мати більш крутий вигляд. Величина втрат енергії з таким регулюванням неухильно збільшується. Таким чином, чим глибше проводиться дроселювання регулюючим елементом, тим більше енергетичних втрат має весь технологічний процес. Зміна частоти обертання робочого колеса насосної установки дозволяє здійснити безперервне регулювання продуктивності насоса із меншими витратами енергії, ніж у попередньому варіантах. Однак воно вимагає більших витрат на регулююче устаткування, особливо для установок з потужністю вище середньої, і приводить до погіршення електромагнітної сумісності з мережею живлення.

Для моделювання було обрано систему з насосом високого тиску CR 64-4-1 потужністю 22 кВт. В розглянутій системі для потрібної динаміки перехідних процесів і

потрібної жорсткості механічної характеристики замкнутої системи доречно приймати двоконтурну систему регулювання: контур частоти обертання і контур струму. В ланцюгах зворотних зв'язків передбачені датчики з гальванічною розв'язкою за частотою обертання (тахогенератор) і струмом (датчик струму).

В контурі струму встановлюємо ПІ-регулятор, який дозволить усунути статичну похибку регулювання струму. В контурі швидкості встановлюємо ПІ-регулятор, так як система не вимагає великої точності регулювання та вимог до швидкодії.

Розглянемо моделювання установки, цикл роботи якої включає в себе такі етапи: розгін до номінальної швидкості та її підтримання; гальмування до 80% від номінальної швидкості та робота при цій швидкості; гальмування до 20% ω_n та розгін номінальної швидкості; повна зупинка (рис 1).

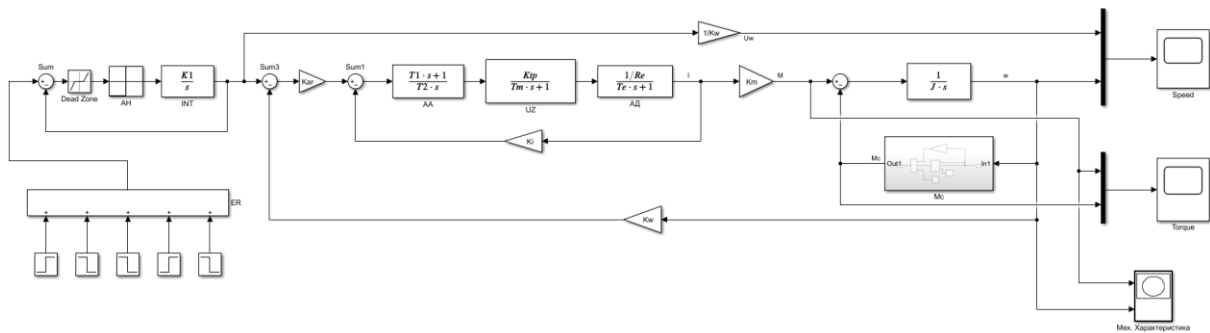


Рисунок 1 – Структурна схема системи ПЧ-АД-ВЦН з ПІ-регулятором швидкості та ПІ-регулятором струму в середовищі Matlab Simulink, де ER – задаючий пристрій; AH – датчик інтенсивності першого порядку; AH – пристрій для задання сигналу ривку; INT – інтегратор першого порядку, який формує сигнал пропорційний лінійному прискоренню; AR – регулятор швидкості (пропорційний); AA – регулятор струму (пропорційно-інтегруючий); UZ – тиристорний регулятор напруги з коефіцієнтом передачі K_{tr} і сталою часу T_{μ}

Параметри системи розраховувались за стандартною методикою розрахунку та вибору обладнання (рис. 2)

Name	Value	DataType	Dimensions	Complexity
J	0.145	double (auto)	[1 1]	real
K1	1.40276	double (auto)	[1 1]	real
Kar	59.9542	double (auto)	[1 1]	real
Ki	0.25316	double (auto)	[1 1]	real
Km	1.79747	double (auto)	[1 1]	real
Ktp	54	double (auto)	[1 1]	real
Kv	0.00106	double (auto)	[1 1]	real
Kw	0.03183	double (auto)	[1 1]	real
Mxx	7.1	double (auto)	[1 1]	real
Re	2.595	double (auto)	[1 1]	real
T1	0.00351	double (auto)	[1 1]	real
T2	0.05268	double (auto)	[1 1]	real
Te	0.00351	double (auto)	[1 1]	real
Tm	0.001	double (auto)	[1 1]	real

Рисунок 2 – m-файл параметрів блоків та елементів моделі ПЧ-АД-ВЦН в середовищі SIMULINK

Особливістю системи 30 є те, що її гідравлічний опір є змінною величиною від тиску та напору. Також при моделюванні було врахована характеристика статичного

моменту наближеної до реальної (рис 3). Статичний момент насосу визначається наступною залежністю:

$$M_c(\omega) = M_{xx} - k_{п.р.} \cdot \omega + \beta \cdot \omega^2 \quad (1)$$

де, β – в'язкість рідини, що перекачується (Кv). $k_{п.р.}$ – коефіцієнт, що характеризує нерівномірність потоку рідини; M_{xx} – момент холостого ходу, приймається в межах 5-10% від номінального.

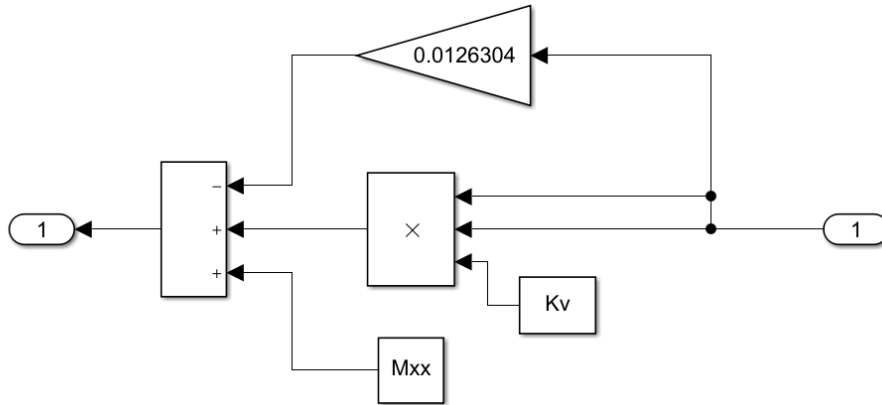


Рисунок 3 – Параметри підсистеми M_c

Результати моделювання показані на рис 4 та рис 5.

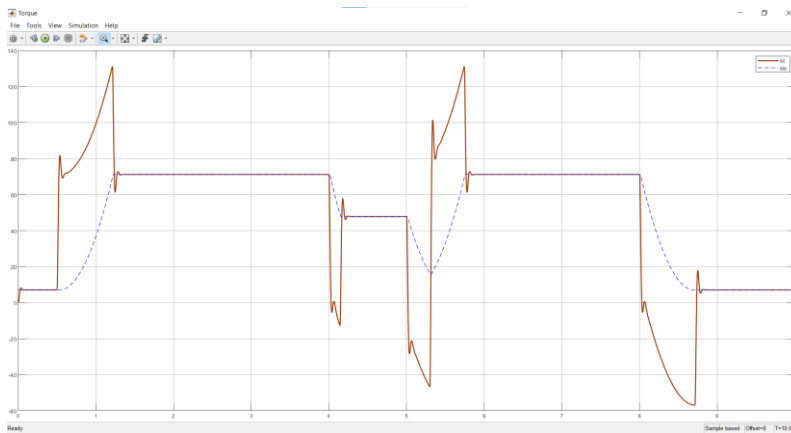


Рисунок 4 –Графік перехідних процесів по моменту на валу установки та статичного моменту

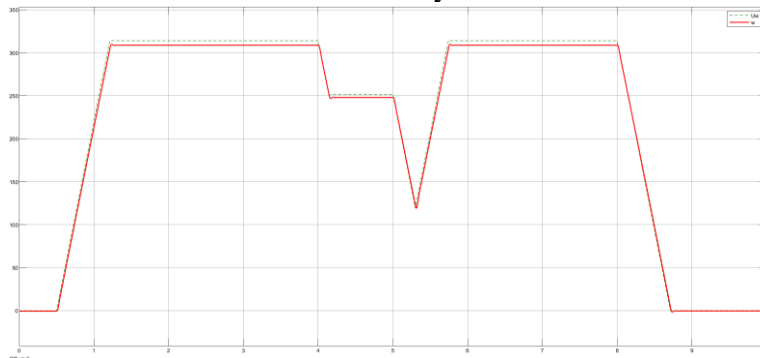


Рисунок 5 – Графік перехідних процесів по швидкості на валу установки та статичного моменту

Аналізуючи дані графіки можемо зробити наступні висновки: пуск і гальмування системи по швидкості відбувається плавно згідно заданої швидкості. По моментові з'являються пульсації (+0.03Нм) при постійному статичному моменту, а при пуску та гальмування відбуваються значні викиди динамічного моменту, але менші ніж максимально допустимий момент. Тому установка добре відпрацьовує заданий алгоритм при усталених режимах і перехідних процесах.

У разі відсутності впливу кавітації на роботу насоса зміна частоти обертання електродвигуна буде супроводжуватися зміною характеристик насоса відповідно до законів подібності: продуктивність Q пропорційна відношенню частоти обертання; манометричний тиск H пропорційний відношенню частоти обертання в квадраті; Потужність N пропорційна відношенню частоти обертання в кубі [3].

Вплив вхідного тиску на продуктивність установки: тиск вихідної води, яка подається на зворотньоосмотичні (ЗО) мембрани, впливає як на питомий потік пермеата, так і на відведення концентрату від мембран. Питомий потік пермеата через мембрану збільшується в прямо пропорційній залежності від підвищення тиску вихідної води. Зростання тиску вихідної води також призводить до підвищення солезатримки, але ця залежність нелінійна.

Вплив температури вихідної води: показники мембран виробники зазвичай приводять для стандартної температури 25°C (298°K). Продуктивність мембран дуже чутлива до змін температури вихідної води. Коли температура води збільшується, питомий потік пермеата збільшується майже лінійно, в основному через більш високої швидкості дифузії води через мембрану. Залежність швидкості питомої потоку пермеата від температури описується через поправочний коефіцієнт температури - TCF (Temperature Correction Factor) через такий вираз:

$$TCF = e^{(K \cdot (1 / (273 + t) - 1/298))} \quad (2)$$

де, K – характеристична постійна для матеріалу ЗО-мембрани, t – температура вихідної води в градусах Цельсія.

Для інженерних розрахунків можна використовувати наступну аксіому: на один градус зміни температури вихідної води зміна питомої швидкості потоку пермеата становить близько 3% від номінального значення. З іншого боку, здатність мембран витримувати підвищені температури збільшує область їх застосування, а також вона важлива під час операцій очищення, оскільки дозволяє використовувати більш жорсткі і швидкі процеси очищення.

Тобто зміна тиску, температури чи мінералізації вихідної води приведе до зміни продуктивності установки. Оскільки вихід пермеату майже незмінний і становить 75%, то витрата вхідної води також прямопропорційна виходу пермеату. При побудові напірних характеристик при знаходженні робочих точок слід врахувати, що зміна вихідних параметрів води призведе до зміни перепаду тиску на мембранному елементу і як наслідок зміни опору мережі трубопроводу.

Механічні характеристики (залежність швидкості на валу від моменту) частотнорегульованого електроприводу будуються за формулою:

$$M(n) = \frac{\sqrt{3} \cdot U_1^2 \cdot r_2'}{2\pi f_1 \cdot (60f_1 - n) \cdot \left(\left(r_1 + \frac{60f_1 \cdot r_2'}{60f_1 - n} \right)^2 + (2\pi f_1 L_e)^2 \right)} \quad (3)$$

Для скалярного управління турбомеханізмами було використано закон Костенка (рис. 6) - $U/f = \text{const}$. Розглянуто та побудовано характеристики при частотах 50, 40, 25 та 10 Гц., задаючись значеннями ковзання від 0 до 1 з кроком 0,01 в середовищі MathCAD.

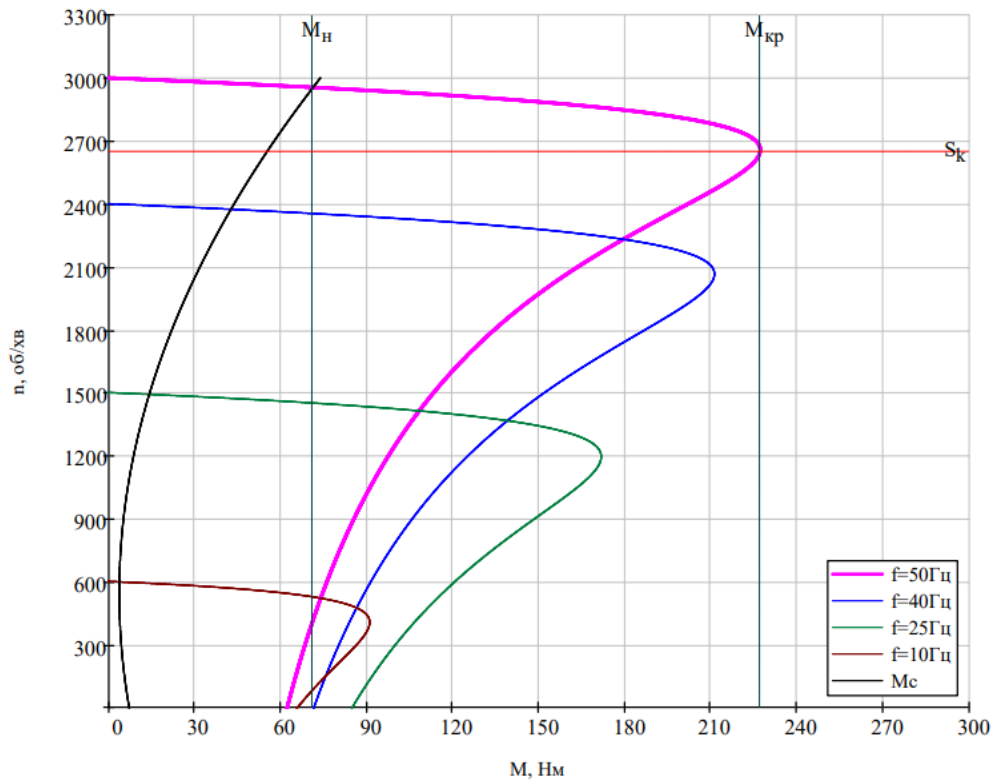


Рисунок 6 – Характеристики двигуна MG180 при одночасній зміні частоти мережі та напруги

Для побудови характеристика насоса необхідно задатись 8 точками при номінальній частоті з заводських графіків та враховуючи залежність подачі від напору (5) і використовуючи апроксимацію в середовищі MathCAD було отримано характеристику насосу CR64-4-1 при врахуванні вхідного в насос тиску 2 бар.

$$H(Q) = H_0 + a \cdot Q - b \cdot Q^2 \quad (5)$$

де, H_0 , a , b – коефіцієнти полінома.

Використовуючи теорію подібності та природню характеристику насосу було отримано формулу напірної характеристики для різних частот:

$$H_f(Q) = 20 + 105.4964 \cdot \frac{f^2}{f_1^2} + 0.1935 \cdot Q \cdot \frac{f}{f_1} - 8.5114 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2 \quad (6)$$

Згідно даних характеристик і характеристики мережі будуються напірні характеристики (рис.7) при частотному регулюванні. На характеристиці вказуються межі оптимального регулювання дроселюванням (отримуються з заводських графіків), адже одночасне використання цих двох методів регулювання дозволяє розширити діапазон регулювання. Також враховано, що мембранні елементи не будуть працювати

при тиску меншому ніж 1,58 бар при заданій температурі і мінералізації. Проте подача на вхід насосу води під тиском 2 бар нівелює цю границю.

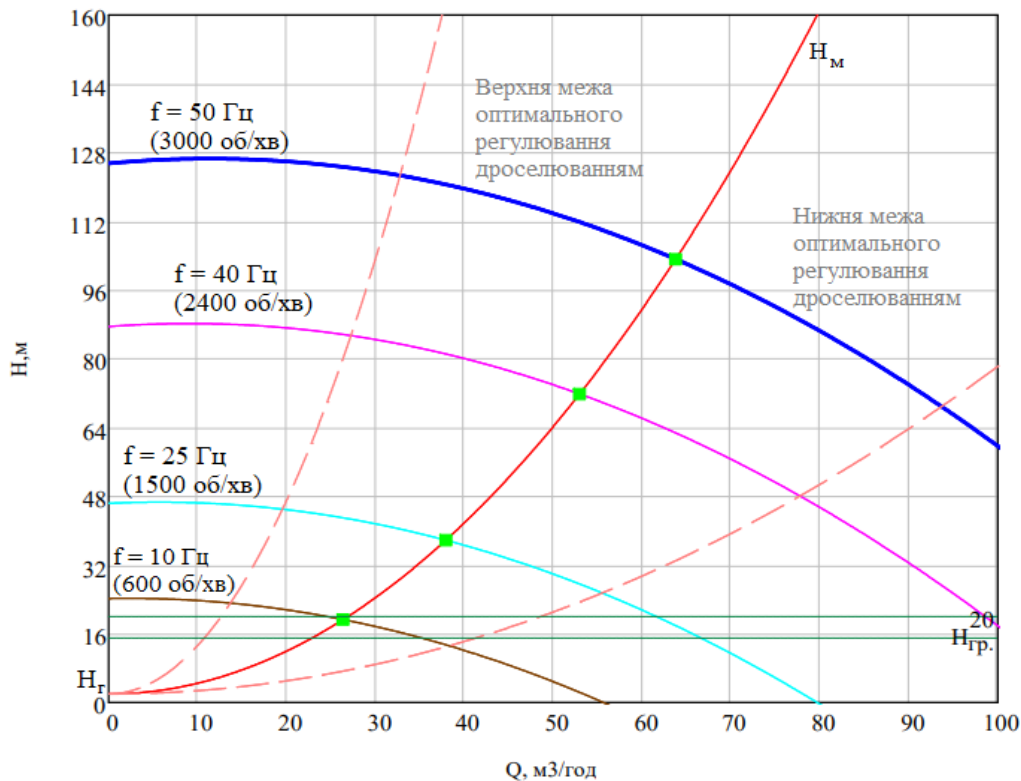


Рисунок 7– Напірні характеристики установки

Висновки. На основі структурної схеми досліджена система керування насосом високого тиску в системі зворотнього осмосу, а також побудовані регульовальні характеристики, згідно яких слід зазначити ефективність частотного регулювання для установки опріснення води відносно способу використання декількох установок меншої потужності, які працюють при номінальних параметрах. Але установка частотного перетворювача і відповідних регуляторів потребує значних вкладень, і є доцільним для установок середньої та великої потужностей (від 22 кВт).

Перелік посилань

1. Трус, І. М., Гомеля, М. Д., Воробйова, В. І., Іваненко, О. І., & Сенькова, К. С. (2020). Розробка технологій опріснення високомінералізованих вод. *Сучасний рух науки: тези доповідей X Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 2-3 квітня 2020 р., Том 2.*
2. Устименко, Д. В., & Никитенко, А. В. (2011). Ефективність впровадження систем з частотно-управляемими електроприводами насосів. *Наука і прогрес транспорту. Вестник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, (37), 116-119.*
3. Хованський, С. О. (2010). Підвищення ефективності експлуатації відцентрових насосів у системі водопостачання житлово-комунального господарства.

Науковий керівник: д.т.н. професор Розен В.П.

УДК 629.027

Новиков А. О.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

РЕКУПЕРАТИВНИЙ АМОРТИЗАТОР ВІБРАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Анотація. В даній статті розглянуто енергетичні параметри рекуперативного амортизатора, який використовується в транспортних засобах з використанням п'єзоефекту. Розглянута науково-технічна проблема, яка, полягає в визначенні характеру негативного впливу зовнішніх збурень різного виду на функціонування елементів конструкції транспортних засобів. Для зменшення негативного впливу збурень використовуються різноманітні амортизатори (демпфери) чи гасники коливань. В наведеній роботі розглядається використання рекуперативного амортизатора вібраційних навантажень з застосуванням п'єзогенератора, як перетворювача механічної енергії коливань в електричну енергію. Наведена оцінка ефективності рекуперації.

Ключові слова: амортизатор, коливання, вібрація, гасіння, навантаження, рекуперація.

Abstract. This article discusses the energy performance of a recuperative shock absorber used in piezoelectric vehicles. The scientific and technical problem is considered, which is to determine the nature of the negative impact of external disturbances of various kinds on the functioning of the structural elements of vehicles. Various shock absorbers (dampers) or vibration dampers are used to reduce the negative impact of perturbations. This paper considers the use of a recuperative vibration shock absorber using a piezoelectric generator as a converter of mechanical vibration energy into electrical energy. An assessment of the effectiveness of recovery is given.

Keywords: shock absorber, oscillations, vibration, damping, loading, recuperation.

Вступ. З розвитком автомобільної промисловості, на сьогодні, значний акцент зроблений на енергоспоживання автомобіля. Однак, через зростаючий дефіцит ресурсів у відповідь на нагальну потребу в енергозбереженні та скороченні викидів виникає важливе питання, як зменшити споживання енергії та реалізувати її заощадження [1]. Заощадження енергії в автомобілі може сприяти більш повному використанню відпрацьованої енергії та зменшенню викидів вуглецю для сталого розвитку. Зокрема, при застосуванні нових енергоносіїв, це відіграє значну роль у підвищенні витривалості та подовженні часу роботи акумуляторів. У зв'язку з цим, актуально досліджувати системи автоматичної акумуляції енергії безпосередньо при експлуатації транспортного засобу [2]. Як відомо, система амортизації сприяє кращому керуванню та гальмуванню транспорту для підвищення рівня безпеки, а також забезпечує комфортне керування, добре ізольоване від ударів, вібрацій тощо. Отже, стає важливим, щоб амортизатори були ефективними гасниками динамічних навантажень, довговічними та економічними.

На сьогодні відомі різноманітні технології зарядки акумуляторів під час експлуатації, які пов'язані з застосуванням традиційних автомобільних генераторів, а також нетрадиційних засобів, наприклад, встановлення сонячних панелей на корпусі авто, або прокладання дорожнього покриття чи застосування шин, що мають п'єзоелектричні властивості.

Крім того, зарядка акумуляторів автомобілів є вкрай актуальною з поширенням

експлуатації електротранспорту, що викликає у користувачів потребу в джерелі струму, для прискореної зарядки акумуляторів та їх довготривалої експлуатації в зарядженому стані.

Мета та задачі. Оцінка ефективності рекуперації механічної енергії в динамічному процесі функціонування транспортного засобу за рахунок застосування п'єзогенератора встановленого безпосередньо в амортизатор.

Задачами є: визначити раціональні параметри амортизатора; розрахувати та визначити параметри п'єзокерамічного перетворювача;

Матеріал і результати досліджень. В останні роки дистанційне електрообладнання стає повсюдно поширеним на транспортні інфраструктури, як, наприклад, застосування бездротових датчиків для підвищення безпеки, управління та безперебійної роботи транспортної системи [1,2]. В контексті застосування бездротових датчиків в транспортних системах, однією з ключових проблем є межа стійкої та надійної роботи джерела енергії. З великою кількістю вузлів чи мереж датчиків, просте підмикання їх до джерела електроенергії без можливості автономної роботи є неефективним. Тому стає та екологічно чисте джерело енергії актуальне для задоволення потреби транспортної галузі.

На основі транспортного засобу можлива реалізація системи рекуперації електричної енергії з використанням динамічних режимів. Потенційним способом акумуляування електричної є рекупераційні системи, які використовують динамічний процес гальмування транспортного засобу [3]. З фізичної точки зору підвіски транспортних засобів характеризуються своєю жорсткістю і амортизацією, що впливає на амплітуду коливань (рис. 1) [4].



Рисунок 1 – Діаграми коливань автівки для різних з'єднань підвіски

Амортизатори, які встановлені для гасіння коливань, споживають велику кількість механічної енергії, перетворюючи її в тепло, що розсіюється в атмосферу. Таку енергію, без зниження ефективності функціонування, можна корисно використовувати, шляхом використання п'єзогенератора, з застосуванням п'єзокераміки, для перетворення механічної енергії в електричну. П'єзокераміка за фізичними властивостями - це полікристалічний сегнетоелектрик, який є хімічною сполукою або твердим розчином (порошки) зерен (кристалітів) [5].

Основною перевагою п'єзоелектричних матеріалів для отримання енергії (порівняно з іншими механізмами перетворення) є велика питома потужність, яку можна отримати за їх допомогою, а також простота використання. Питома потужність генератора енергії може бути визначена як вихідна потужність, пов'язана з обсягом пристрою із заданим вхідним сигналом. Графік питомої потужності ($\text{мВт}/\text{см}^3$) для різних

значень вихідної напруги (В) для різних типів перетворювачів енергії показаний на рисунку 2 [6]. З графіка видно, що область застосування п'єзоелектричного отримання енергії за рівнем питомої потужності значно ширше, ніж решта видів перетворень.

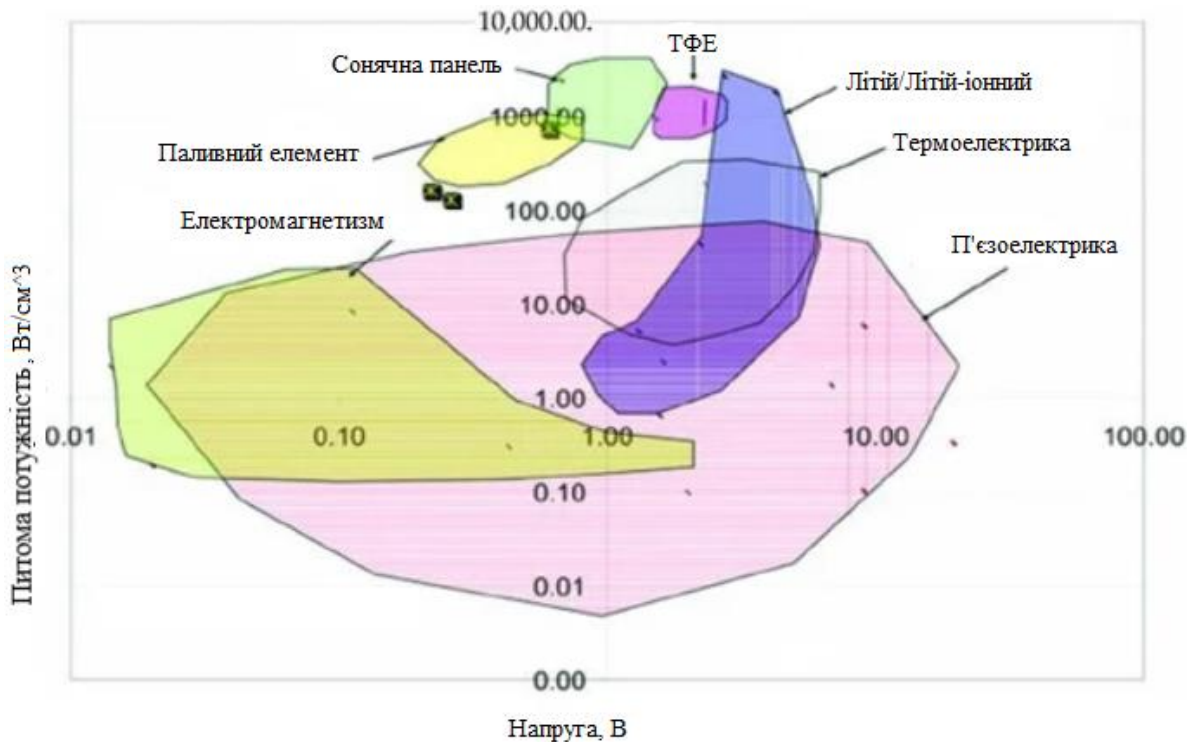


Рисунок 2 – Графік залежності питомої вихідної потужності від вихідної напруги

Пружина амортизатора застосовується, як елемент, що сприймає динамічні навантаження, які колеса шасі прагнуть передати на кузов транспортного засобу. З урахуванням різного дорожнього покриття різняться і навантаження, що діють на пружину. Частіше застосовуються виті пружини з дроту круглого перерізу. Такий пружний елемент має малі габарити, але значну енергоємність. Випускаються п'єзоелектричні матеріали на базі п'єзоелектричних керамічних матеріалів (далі ПКМ) вони є сегнетоелектричними з'єднаннями або їх твердими розчинами, отримані синтезом з суміші різних оксидів і солей [7].

Взаємозв'язок електричних та механічних властивостей кристалів, що демонструють п'єзоэффект, характеризується коефіцієнтом електромеханічного зв'язку $K_{зв}$. За прямого п'єзоэффекту підведена до кристала механічна енергія витрачається не тільки на пружну деформацію, призводячи не лише до накопичення пружної енергії $W_{пруж}$, але й до створення електричної поляризації, що обумовлює накопичення електричної енергії $W_{ел}$ [8]:

$$K_{зв} = \sqrt{\frac{W_{ел}}{W_{пруж} + W_{ел}}} \quad (1)$$

При роботі амортизатора його п'єзокерамічними вставками виробляється змінний струм. Параметри змінного струму i -го циклу спрацьовування п'єзогенератора, при русі штоку на стискання t_{i1} і витискання t_{i2} з поршня за сумарний період T_i , характеризуються відповідними дійсними позитивним і негативним $\pm I_{ді}$ значеннями. Проміжки часу t_i є

паузами між періодами T_i спрацьовування п'єзогенератора та їх величина залежить від частоти деформацій пружних елементів підвіски від впливу на колесо шасі нерівностей і дефектів дорожнього покриття.

Ефективність впровадження п'єзогенератора можна визначити через типовий розрахунок. Напругу, що виникає при одноразовому прикладенні навантаження, визначається за формулою [9]:

$$U_1 = \frac{d_{33} \cdot F}{C} = 2,566 \text{ В}, \quad (2)$$

де d_{33} – п'єзоелектричний модуль, для матеріалу PZT-8 $d_{33} = 280 \cdot 10^{-12} \text{ Кл/Н}$ [10];

F – сила, яка впливає на елемент конструкції із закріпленим перетворювачем, прийmemo $F = 1360 \text{ Н}$;

C – електрична ємність п'єзоелектричного перетворювача [11].

$$C = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S}{l} = 1,484 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}, \quad (3)$$

де ϵ – електрична стала, $\epsilon = 5000$;

ϵ_0 – діелектрична проникність матеріалу п'єзоелектричного перетворювача, для матеріалу PZT-8, $\epsilon_0 = 9,896 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$;

S – площа п'єзоелектричного перетворювача, прийmemo $S = 0,03 \text{ м}^2$;

l – товщина п'єзоелектричного перетворювача, прийmemo $l = 0,01 \text{ м}$.

Сила струму I , що виникає на електродах одного перетворювача при одноразовому прикладенні навантаження, становить $0,01 \text{ А}$. Тоді елемент конструкції машини або механізму, що піддається навантаженні з циклічністю до 50 впливів в хвилину, з чотирьохма приєднаними амортизаторами може виробляти електричну енергію потужністю [12]:

$$P = U_1 \cdot I \cdot n_1 \cdot n_2 = 30,792 \text{ Вт}, \quad (4)$$

де n_1 – циклічність прикладання навантаження, $n_1 = 50 \text{ впл/хв}$;

n_2 – кількість використовуваних перетворювачів, $n_2 = 4 \text{ шт}$.

При безперервній роботі за одну годину часу перетворювачі зможуть виробляти електричну енергію потужністю до $1847,52 \text{ Вт}$ (без обліку втрат).

Висновки.

1. Амортизатори, які встановлені для гасіння коливань, споживають велику кількість механічної енергії, перетворюючи її в тепло, що розсіюється в атмосферу. Таку енергію, без зниження ефективності функціонування, можна корисно використовувати, шляхом використання п'єзогенератора, з застосуванням п'єзокераміки, для перетворення механічної енергії в електричну.

2. Застосування рекуперативних амортизаторів дозволяє реалізувати додаткове джерело електричної енергії для живлення обладнання, що використовується в транспорті, наприклад, акумулятора. Для забезпечення функції рекуперативності, в конструкцію амортизатора доцільно монтувати п'єзоелектричні генератори, які забезпечують ефективну рекуперацію енергії. Згідно з розрахунків, можливо отримати рекуперативну потужність за годину експлуатації транспортного засобу величиною в $1847,52 \text{ Вт}$, за напруги, при одноразовому прикладенні навантаження, з одного генератора $U_1 = 2,566 \text{ В}$.

Список використаних джерел.

1. Global EV Outlook 2020. InternationalEnergyAgency. Червень 2020. URK: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>. (дата звернення 12.05.2022);
2. EnergyFloors. [Електронний ресурс]. URK: <https://energy-floors.com> (дата звернення 13.05.2022);
3. Поплавко Ю., Якименко Ю. П'єзоелектрики. Навчальний посібник. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. 327 с.;
4. Посметьев, В. И. Состояние и обоснование энергосбережения машин и оборудования способом аккумуляирования / В. И. Посметьев, М. В. Жилияков, Д. В. Шмитько // Перспективные технологии, транспортные средства и оборудование при производстве, эксплуатации, сервисе и ремонте: межвуз. сб. науч. тр. Вып. 3; Фед. агентство по образованию, ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2008. – С. 85-91;
5. Жуков С. О. О пьезокерамике и перспективах ее применения. *Рынок микроэлектроники*. 03.05.2017. URL: http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/01_01/stat-48.htm. (дата звернення 07.05.2022);
6. Бочкарьов Д. І., Пупачьов Д. С. Современное состояние и перспективы использования пьезопреобразователей в конструкциях мобильных машин. *Механика машин, механизмов и материалов*. 2019. №1(46). С. 13-18;
7. Сиротин Ю. И., Шаскольская М. П. Основы кристаллофизики. Москва: Наука, 1979. 640 с.;
8. Xuezheng Jiang, Jianchun Li, Yancheng Li. Piezoelectric energy harvesting from traffic-induced pavement vibrations. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*. 2018 ; 6, 043110-1;
9. Королюк А. П., Мацаков Л. Я., Васильченко В. В. Определение упругих и пьезокристаллических постоянных монокристаллов ниобата лития // Кристаллография. 1970. Т. 15, № 5. С. 1028–1032. 1
10. Довгяло В. А., Бочкарьов Д. І. Дорожно-строительные машины. Машины для земельных работ: учебное пособие. Гомель: Білоруський державний університет транспорту, 2010. 250 с.;
11. Богуш М. В. Пьезоэлектрическое приборостроение: сб. в 3 т. Ростов-на-Дону: Издательство СКНЦ ВШ, 2006;
12. Шарапов В. М., Мусієнко М. П., Шарапова О. В. Пьезоэлектрические датчики. Москва, Техносфера, 2006. 632 с.

Науковий керівник д.т.н., Сліденко В.М.

УДК 681.52

Спичак Д.В.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВІД АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ

Анотація. В роботі розглянуто вимоги та обладнання для захисту електроприводу від аварійних режимів на прикладі асинхронного двигуна.

Ключові слова: асинхронний двигун, електропривод, напруга, живлення.

Annotation. The paper considers the requirements and equipment for protection of the electric drive from emergency modes on the example of an induction motor.

Keywords: asynchronous motor, electric drive, voltage, power supply.

Вступ. Під час експлуатації асинхронного двигуна виникає чималий ряд факторів, які можуть призвести до аварійних ситуацій. Це доволі низька якість напруги живлення та порушення правил технічної експлуатації, також технологічні перевантаження, шкідливі умови навколишнього середовища (підвищена вологість, температура, агресивна атмосфера). В наслідок впливу таких чинників, а нерідко, і кількох одночасно, створюється загроза виникнення аварійних режимів роботи асинхронного двигуна.

За статистикою, в результаті аварій кожен рік виходять з ладу до 15% парку електродвигунів. Наприклад, більше половини свердловинних електронасосних агрегатів, виходять з ладу частіше ніж один раз на рік. Вихід з ладу асинхронного двигуна призводить до важких аварій та значного матеріальної шкоди, пов'язаної з простоем технологічного процесу та ремонтом зламаного електродвигуна. До того ж, робота в аварійних режимах призводить до суттєвого підвищення електроспоживання з мережі живлення, збільшення споживаної реактивної потужності. Висока аварійність на виробництві призводить до значного зростання витрат підприємств в цілому

Зважаючи на широку розповсюдженість та масовість використання асинхронного двигуна, пріоритетними умовами експлуатації асинхронного двигуна є запобігання критичних режимів роботи та виконання комплексу заходів їх уникнення з метою недопущення аварійних ситуацій. Обирати заходи і засоби запобігання аварійних режимів слід з урахуванням специфіки процесів, які відбуваються в асинхронного двигуна та є каталізаторами переходу до критичних ситуацій. Не в останню чергу, висувуються такі вимоги, як відносна дешевизна, простота та надійність.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є ознайомлення з наявними засобами захисту електроприводу від аварійних режимів, засобами запобігання можливих аварійних ситуацій в експлуатації асинхронного двигуна.

Найчастішими першопричинами руйнування асинхронного двигуна є: технологічні перенавантаження, обрив фази, коротке замикання обмоток, заклинювання підшипникових вузлів ротора чи виконавчого механізму, погіршення охолодження, зниження опору ізоляції нижче допустимого рівня, асиметрія напруги живлення.

Загалом аварії можна поділити на два основні типи це механічні та електричні. В цій роботі більш детально зупинимось на електричних.

Електричні аварії бувають трьох типів:

- струмові, що пов'язані з обривом провідників в обмотках статора, ротора або кабелю, замиканням обмоток, руйнуванням з'єднань і порушенням контактів, виконаних шляхом спаювання чи зварювання; пробоем ізоляції;

- аварії, що пов'язані зі зниженням опору ізоляції внаслідок її старіння, зношування чи потрапляння вологи.
- мережеві (що виникають через напругу), що пов'язані з аваріями в електромережі;

Аналіз впливу якості напруги живлення (див. рис.1), що є достатньо поширеним чинником, показує, що зменшення напруги живлення призводить до зростання струму в обмотках статора, що в свою чергу, веде до значного перегріву ізоляції обмоток, а від так – до прискореного темпу зношення та скорочення терміну експлуатації. Підвищення ж напруги живлення призводить до зростання магнітного потоку статора, струму намагнічування, інтенсивному перегріву осердя, підвищенню споживаної з мережі реактивної потужності, а відповідно, зниженню коефіцієнта потужності.

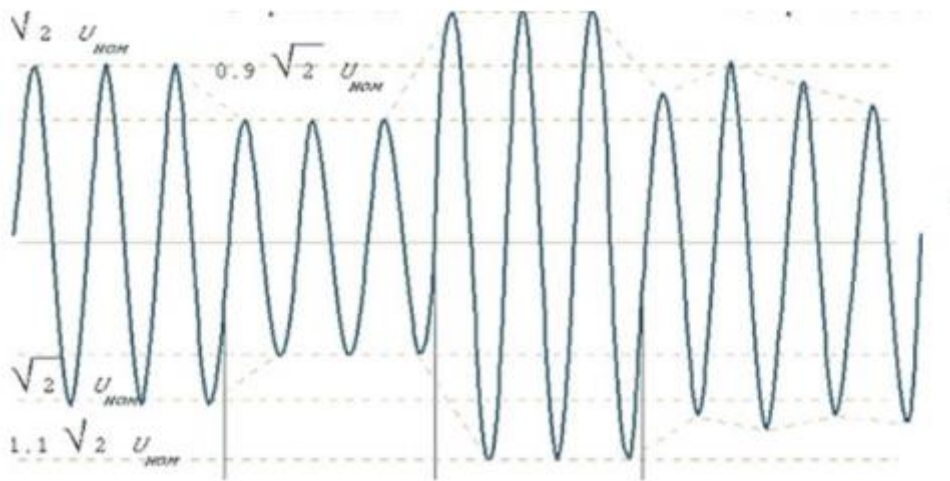


Рис.1. Відхилення напруги в мережі

Повсякчасний контроль наявності та якості мережевої напруги, включно гармонічний аналіз, контроль за його змінами під час роботи асинхронного двигуна, у т.ч., за змінами параметрів фазної напруги, в залежності від режимів роботи двигуна, дозволяє уникати переходу до аварійного режиму. Для ефективного захисту асинхронного двигуна надзвичайно важливо дуже точно контролювати фазні струми в обмотках статора, оскільки вони тісно пов'язані з напругою на фазних обмотках статора, а тому, будь-які, навіть незначні відхилення мережевої напруги призводять до значної зміни фазних струмів. Так, наприклад, тривала робота асинхронного двигуна із струмовим перевантаженням лише на 5 % від номінального скорочує термін експлуатації двигуна в декілька разів.

Пристрої захисту асинхронного двигуна від аварійних режимів можна розділити на декілька видів:

- а) теплові захисні пристрої: струмові електротеплові реле, теплові розчіплювачі автоматичних вимикачів;
- б) комбіновані пристрої захисту;
- в) термочутливі захисні пристрої: вбудовані температурні захисні термостати;
- г) прилади захисту від аварій в електромережі: реле напруги і контролю фаз, монітори мережі;
- д) пристрої максимального і мінімального струмового захисту, електронні струмові реле;
- е) струмозалежні захисні пристрої: плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі.

Сучасні стандарти більшості країн світу, включно і України, висувають все більш і більш високі вимоги до безпечної експлуатації асинхронних електродвигунів. Високі показники надійності і довготривалості роботи асинхронного двигуна можливі лише за умови експлуатації при визначених номінальних або близьких до них режимів, що забезпечуються, в тому числі за рахунок встановлення належного захисту.

Розглянемо захисні пристрої які використовуються для миттєвого, протягом декількох долей секунди, визначення характеру і ступеню пошкодження електродвигуна та миттєвої локалізації аварійної ділянки шляхом відключення його від мережі живлення. Але, не слід забувати, що кожен з них має цілий ряд істотних недоліків, що впливають на якість роботи: одні відрізняються визначеною невиправданою вибірковістю, в деяких інших відсутнє відстроювання від процесу пуску, треті не завжди реагують на струми короткого замикання або перевантаження мережі і т. д. Для того, щоб правильно вибрати пристрій захисту асинхронного двигуна від аварійних режимів, слід знати та врахувати, яким чином і від яких аварій захищає той чи інший конкретний пристрій, його принципівість дії і особливості конструкції.

Теплові захисні пристрої. Тепловий захист є захистом побічної дії(непрямим), здійснюється він шляхом перегрівання струмомобмотки статора нагрівального елемента захисного пристрою і дії його на біметалеву пластину, яка діє на контакт в колі керування контактора або електромагнітний пускач. Захист інерційний, має гальванічну розв'язку. Здійснюється в тому числі за допомогою струмових електротеплових реле і теплових розчіплювачів автоматичних вимикачів.

Струмозалежні захисні пристрої. Найбільшу відомість серед струмозалежних захисних пристроїв набули запобіжники, які призначаються для захисту електричних мереж від перевантажень і коротких замикань. Конструкційно вони складаються з корпусу(основи) з електроізоляційного матеріалу і плавкої вставки, яка вибирається з такого розрахунку, аби вона плавилася перш, ніж температура двигуна досягне небезпечних меж в результаті протікання струмів перевантаження або короткого замикання. Включаються запобіжники послідовно в коло, що захищається.

Автоматичні вимикачі призначені для увімкнення і вимкнення асинхронних електродвигунів та інших струмоприймачів, а також для захисту їх від струмів перевантаження і короткого замикання [3]. Автоматичні вимикачі поєднують в собі функцію рубильника, запобіжника і теплового реле, забезпечують одночасне відключення всіх трьох фаз в разі виникнення аварійних ситуацій. У робочому режимі увімкнення і вимкнення виконується вручну; в аварійному режимі він вимикається автоматично електромагнітним або тепловим розчіплювачем.

Важливою складовою частиною автоматичного вимикача є розчіплювач, який контролює заданий параметр мережі, що захищається, і впливає на механізм розчеплення, що вимикає апарат. Найбільшого поширення набули розчіплювачі наступних типів: - електромагнітні для захисту від струмів короткого замикання; - теплові для захисту від перевантажень; - комбіновані. Електромагнітний розчіплювач складається з котушки з рухомим осердям і поворотної пружини. При протіканні по котушці струму короткого замикання осердя миттєво втягується і впливає на вимикаючу рейку механізму вільного розчеплення. Тепловий розчіплювач є біметалевою пластиною, сполученою послідовно з контактом. При нагріванні її струмом перевантаження вона згинається і впливає на вимикаючу рейку механізму вільного розчеплення із зворотно-залежною витримкою часу. Вибір автоматичних вимикачів виконується за номінальним струмом, струмо-часовою характеристикою спрацьовування, граничною вимикальною здатністю, умовами монтажу і експлуатації. Правильний вибір характеристики автоматичного вимикача є запорукою його

своєчасного спрацьовування. Теплові розчіплювачі, використовувані в автоматичних вимикачах, чутливі до нагріву від сторонніх джерел. У практиці часто трапляється, що розчіплювач проміжного полюса при номінальному режимі відключається лише із-за нагріву сусідніх полюсів. Це призводить до обмеження області його роботи і до коригування номінального струму з урахуванням графіка

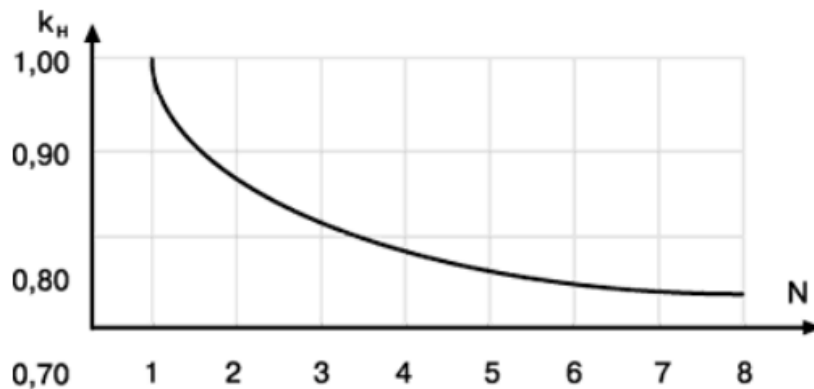


Рисунок 2 – Графік залежності навантажувальної здатності автоматичного вимикача від кількості сусідніх полюсів: $k_n = I/I_n$ – коефіцієнт навантаження; N – кількість полюсів автоматичного вимикача

Термочутливі захисні пристрої.

Ці пристрої реалізують температурний захист, який є захистом прямої дії, що безпосередньо реагує на зміну температури найбільш нагрітих частин електродвигуна за допомогою вбудованих температурних датчиків (наприклад, позисторів (рис. 1.5)). Через пристрої температурного захисту (приміром УВТЗ) здійснюється вплив на коло керування контактора або електромагнітного пускача. Вони в основному діляться на два класи: РТС – напівпровідникові резистори з позитивним температурним коефіцієнтом опору і NTC – напівпровідникові резистори з негативним температурним коефіцієнтом опору.

Захисти від аварій в електромережі. Призначені для постійного контролю параметрів мережевої напруги і керування трифазними електроустановками, в т.ч. АД, шляхом відключення їх від електричної мережі в разі настання аварійних режимів: - недопустимих перепадів напруги (скачки і провали напруги); - обривів, злипання, перекосів, порушення послідовності фаз і подальшого автоматичного повторного включення електродвигуна після повернення параметрів мережі в норму, якщо інше не передбачене технологічним процесом. Як показує статистика, значна частина аварій електродвигунів безпосередньо або побічно пов'язані саме з аваріями мережевої напруги. Для захисту АД найбільш доцільне застосування моніторів напруги, контролюючих декілька видів мережевих аварій. Більшість з наявних на ринку реле напруги не володіють вказаною універсальністю. Одні з них контролюють лише обрив фаз, інші – перевищення або зниження напруги, треті, – перекося фаз і т. д. Це приводить до необхідності використання декількох аналогічних реле одночасно, що невиправдано ускладнює і здорожує схему, знижує надійність. За схематикою даний клас захисних пристроїв умовно можна розділити на дві групи: аналогові і цифрові. Про переваги цифрової техніки перед аналоговою сказано досить багато. Слід лише відзначити, що характеристики аналогових реле напруги дуже залежать від параметрів самої вимірюваної напруги і температури довкілля. Їх відрізняє низька надійність, великі габарити і підвищене енергоспоживання, робота по пікових значеннях напруги, оскільки

засобами аналогової техніки практично неможливо обчислити значення напруги, що діє. Мікропроцесорні монітори напруги здатні в одному малогабаритному пристрої поєднати більшість функцій, працюють по діючому значенню напруги, розрізняють види аварій, мають безліч регульованих параметрів, що настроюються. Спеціально для захисту АД у кращих зразків захисних пристроїв є незалежна регульована (або «зашита») уставка за мінімальною напругою для відстроювання від пускових посадок. Поєднувати цю уставку з часом реакції (спрацьовування) реле недопустимо, оскільки точно з такою ж затримкою пристрій реагуватиме і на важкі аварії, такі, як обрив фаз або сильний перекеіс фаз. Ці монітори мають регулювання АПВ в широких межах (для керування устаткуванням з тривалими перехідними процесами), а також можливість контролю контактів магнітного пускача. Остання функція найбільш актуальна для потужних двигунів або для двигунів, що працюють в стартстопному режимі (наприклад, для електродвигунів компресорів). Електронні(мікропроцесорні) захисні пристрої зберігають працездатність в межах 50–150% від номінальної напруги і витримують короткочасні скачки напруги, що перевищує номінал у 2 рази, прості в експлуатації і налагодженні.

Висновки. Враховуючи широке розповсюдження та масове використання асинхронного двигуна, пріоритетною вимогою до фахівців має бути забезпечення умов для оптимальної безаварійної експлуатації та підвищення термінів служби асинхронного двигуна, економного споживання електроенергії, скорочення витрат на капітальний ремонт. Слід констатувати, що реальні умови експлуатації асинхронного, зазвичай, більшою чи меншою мірою далекі від нормативних. Тому кваліфікований та обґрунтований вибір необхідних заходів та захисних засобів з урахуванням специфіки процесів в двигуні та результатів аналізу теплової моделі двигуна, особливостей режимів роботи та умов експлуатації, небезпечних факторів, можливих загроз, які можуть стати каталізаторами переходу до аварійних режимів роботи, є найважливішим чинником в забезпеченні тривалої та безпечної експлуатації асинхронного двигуна.

Список використаних джерел.

1. Соркінд М. Асинхронные електродвигатели. Аварийные режимы работы. – М.:Новости електротехники, № 2(32), № 3(33), №4(34), 2005.
2. Стадній О. Ю. Анормальні режими роботи двигунів / Матеріали XLVII НТК ВНТУ, м.Вінниця, 23. 03. 18 р.
3. Грундуліс А.О. Защита електродвигателей в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1998. – 288 с.
4. Кондратюк О.Ю. Анализ аварийных режимов работы асинхронных двигателей к вопросу выбора их эффективной защиты: стаття / Кондратюк О.Ю., Егоров А.Б. – Харьков: Укр. инж.-пед. академия, 2006. – 8 с.
5. Кацман М.М. Электрические машины. – М: Высш. шк., 2000. – 324 с.
6. Брускин А.Э. и др. Электрические машины и микромашины. – М: Высш. шк., 2001. – 426 с.
7. Гетманенко В. М. Устройство для защиты асинхронного електродвигателя: стаття / Гетманенко В. М., Иваница М. А. – Научный журнал КубГАУ, №73(09), 2011.

Науковий керівник ст. викл. Володимир ДУБОВИК

УДК 62-833.4

Яковлєв Д.А.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА МУЛЬТИСЕНСОРНА СИСТЕМА ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Анотація. Сучасний етап розвитку промисловості характеризується дедалі більшою потребою у системах контролю за станом та ефективним функціонуванням електрообладнання. Поломка або не запланована зупинка двигуна електромеханічної системи супроводжуються значними економічними втратами для підприємств. Тому сучасний етап розвитку промисловості характеризується дедалі більшою потребою у системах контролю за станом та ефективним функціонуванням електрообладнання.

Як результат через швидкий розвиток технологій точного виробництва було проведено багато досліджень у сфері мультисенсорних вимірювань та технологій злиття даних з метою покращення можливостей моніторингу з точки зору точності вимірювань та інформаційного багатства, тим самим підвищуючи ефективність та точність виробництва. У мультисенсорній системі кожен датчик самостійно вимірює певні параметри. Потім система використовує відповідний алгоритм обробки сигналів, щоб об'єднати всі незалежні вимірювання в повний набір результатів вимірювань.

Точна оцінка технічного стану дає змогу спрогнозувати термін наступного ремонту обладнання, підвищує надійність та ефективність його роботи, знижує збиток від простою обладнання внаслідок аварій, витрати на ремонт та відновлення працездатності, знижує витрати на обслуговування та експлуатацію обладнання.

Ключові слова: джерело енергії, двигун внутрішнього згорання, автономне електропостачання, мультисенсорна система, оцінка технічного стану, інтелектуальна система.

Abstract. The current stage of industrial development is characterized by an increasing need for control systems for the condition and efficient operation of electrical equipment. Breakdown or unplanned shutdown of the electromechanical system engine is accompanied by significant economic losses for enterprises. Therefore, the current stage of industrial development is characterized by an increasing need for control systems for the condition and efficient operation of electrical equipment.

As a result of the rapid development of precision manufacturing technologies, much research has been conducted on multisensory measurement and data merging technologies to improve monitoring capabilities in terms of measurement accuracy and information richness, thereby increasing production efficiency and accuracy. In a multi-sensor system, each sensor measures certain parameters independently. The system then uses an appropriate signal processing algorithm to combine all independent measurements into a complete set of measurement results.

Accurate assessment of technical condition allows to predict the term of the next repair of equipment, increases the reliability and efficiency of its operation, reduces damage from equipment downtime due to accidents, repair and recovery costs, reduces maintenance and operation costs.

Key words: energy source, internal combustion engine, autonomous power supply,

multi-sensor system, technical condition assessment, intelligent system.

Вступ. Відповідно до п. 6 ст. 7 «Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі» чинного законодавства Закону України «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки» зобов'язує сучасні підприємства застосувати нові підходи для впровадження і забезпечення виконання програм енергоресурсозбереження відповідно до міжнародних стандартів. Водночас актуальною є проблема високої аварійності електроустаткування, оскільки значна частина устаткування в країні старого зразка. Електричні машини використовуються в приводах практично у всіх областях техніки і технологічного оснащення виробництва. Раптова відмова або позапланова зупинка електрообладнання для підприємства супроводжуються значними економічними втратами. Особливо великі втрати на великих енергетичних установках і об'єктах, тому технічна діагностика в цій області досить розвинена і є обов'язковою для попередження відмов і своєчасного ремонту.

Метою дослідження є розроблення концепції будови системи технічного діагностування електроприводів з використанням електронних аналізаторів.

В даній статті зазначений опис технології мультисенсорного вимірювання та злиття даних. Розглянуто архітектуру мультисенсорної вимірювальної системи. На додаток до мультисенсорної системи вимірювання, узагальнено відповідні методи та алгоритми злиття даних. Подальші погляди на багатосенсорний моніторинг та технологію злиття даних включені в кінці цієї статті.

Науково-прикладне завдання:

- визначити можливі стани автономного генератора електричної енергії на базі двигуна внутрішнього згорання (АГЕЕ);
- для кожного стану автономного генератора електричної енергії визначити характерні газові випаровування;
- підібрати комплект датчиків які з високою точністю визначають концентрацію компонентів у повітрі;
- розробити алгоритм роботи комплексу обладнання технічного діагностування на оснвні роботи принципів нейронної системи і електронних газових датчиків;
- перевірити розроблений діагностичний комплекс електронних аналізаторів газів для визначення стану автономного генератора електричної енергії на базі двигуна внутрішнього згорання.

Принцип роботи системи. На вхід з датчиків приходить інформація, яка передається на блоки нейронної мережі прямого поширення (НЕР). Якщо є збіг, то для кожної групи інформаційних ознак tn отримуємо макрошар, що містить нейрону мережу з макрошарами (НММ) в залежності від кількості збігів. Так, як рішення приймається завдяки наявності інформації про дифекти в кожному з наявних N слоїв НСМ, тоді вона повинна містити $N+1$ шар. Де вихідний шар призначений для керування рішеннями в кожному наступному. Структурна схема нейронної мережі показана на Рис. 1.

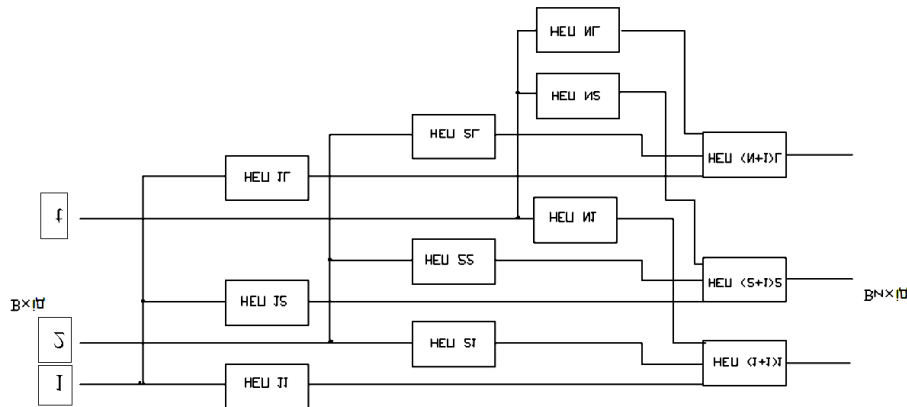


Рис. 1. – Структурна схема нейронної мережі з макрошарами для інтелектуальної мультисенсорної системи для ідентифікації та оцінки технічного стану електротехнічного обладнання.

Кожна НМС налаштовується за алгоритмом зворотного поширення помилки. Спочатку налаштовуються нейронні мережі першого шару. Потім вже вихідний шар. Для роботи НМ необхідна база даних, у якій виділено три блоки:

- база даних;
- база моделей нейронних мереж ;
- база навчальних вибірок.

База даних містить інформацію про стандарти концентрації речовин в повітрі, які необхідно аналізувати та призначені для формування навчальних вибірок.

Висновки. У цій статті представлений огляд інтелектуальної мультисенсорної системи процесу моніторингу та технологічного стану електрообладнання. Яка в режимі реального часу за допомогою датчиків дає можливість отримати інформацію з навколишнього середовища, та робити висновки про стан діагностованого обладнання. Технологія інтелектуальна мультисенсорна система для ідентифікації та оцінки технічного стану електротехнічного обладнання має перспективи широкого застосування у галузях промисловості. Завдяки максимально компактним розмірам установки, маємо можливість проводити виміри в важко доступних місцях, без виводу обладнання з роботи, що мінімізує втрати від простою. Також використання даної системи дозволяє виявити розвиток дефекту на ранніх стадіях розвитку, що перешкоджає і значно зменшує вартість ремонту енергетичного обладнання при виході з справного стану.

Список використаних джерел.

1. Denysiuk S. Assessment of consumers power consumption optimization based on demand side management //EUREKA: Physics and Engineering,(2). – 2021. – С. 19-31.
2. Зайченко С. Зменшення ступені невизначеності технічного стану автономного джерела живлення/ С. Зайченко, Р. Куліш// Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали V міжнар. наук.-прак. конф., 5-7 квіт. 2021 р. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ Том 1, С. 175-178.
3. Zaichenko S. Determination of autonomous electrical energy source technical condition based on an internal combustion engine // 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). – IEEE, 2020. – С. 305-308.
4. Zaichenko S. Autonomous electric power source energy efficiency improvement by internal combustion engine gases distribution control // 2020 IEEE 7th International

Conference on Energy Smart Systems (ESS). – IEEE, 2020. – С. 262-265.

5. Zaichenko S. Substantiation of diagnostic parameters of autonomous sources of electric energy on the basis of the internal combustion engine at development of system of technical diagnostics // POWER ENGINEERING: economics, technique, ecology. – 2020. – №. 3. – С. 29-34.

6. Saraoğlu H. M. Elektronik burun teknolojisi ve uygulama alanları. – 2008.

7. Saraoğlu H. M., A. O. Selvi, İnsan Nefesinden Kandaki Glikoz ve HbA1c Değerlerinin Elektronik Burun Kullanılarak Belirlenmesi, 18. Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı (BİYOMUT 2014)

8. Saraoğlu H. M. ve Koçan M., “Diyabetli Kan Glukoz değerinin Nefes Kokusundan QCM Sensör Tabanlı Elektronik Burun Kullanılarak Belirlenmesi”, 15. Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı (BİYOMUT 2010)

9. Saraoğlu H. M., Selvi A. O. Determination of glucose and HbA1c values in blood from human breath by using radial basis function neural network via electronic nose //2014 18th National Biomedical Engineering Meeting. – IEEE, 2014. – С. 1-4.

Науковий керівник проф. Зайченко С.В.

УДК 621.316

Яцишина С.О.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ВОДИ

Анотація. У статті представлено результати досліджень режимів роботи обладнання та схеми управління процесами водневої енергетики, де водень видобувається завдяки воді як базової частини, що дозволяє використовувати для опалення в побуті та виробництві, також забезпечити екологічність та економію використання природних ресурсів.

Ключові слова: воднева енергетика, схеми управління.

Annotation. The article presents the results of the study of the modes of operation and the control scheme of the processes of water power engineering, for the time being, water is produced as a base part, which allows stopping for scorching in the production process, as well as ensuring environmental protection and natural resource saving.

Keywords: hydrogen energy, control schemes.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи – огляд актуальності водневої енергетики з використання води задля виведенню водню, розгляд використання в промисловості та автономних опалювальних системах.

Водень – це легкий газ, який при спалюванні дає тепло, що в кілька разів перевищує тепло від природного газу. Головною його перевагою при використанні в опалювальній системі є відносно невелика температура горіння (всього 300°C). Це дозволяє використовувати його у котлі, виконаному з традиційно недорогих видів металу.

Сам по собі водень не має кольору та запаху, а при поєднанні з іншими хімічними компонентами він не утворює небезпечні токсини, шкідливі для здоров'я людини. Тому його використання в побуті вкрай безпечно. Єдиною небезпекою є його підвищений рівень вибухонебезпеки. Є багато можливостей видобутку водню, шляхом взаємодії реакції з водою, тому, ми проаналізуємо декілька з них і оберемо більш суттєво вигідний для нашого дослідження і подальшого використання у підприємстві.

Отримання водню з води шляхом її розкладання гідрореагуючими металами з використанням нанопорошку алюмінію.

При взаємодії гідрореагуючих металів із водою виділяється водень. Вихід водню у цих реакціях досить великий і використання деяких металів може становити практичний інтерес. Тип реакції залежить від кількості води, а вона, своєю чергою, — від робочих параметрів реактора (надлишку води, співвідношення реагентів у хімічних реакціях з врахуванням стехіометричних коефіцієнтів, тиску, температури).

Реакція (а) з використанням алюмінієвого порошку протікає за $T = 250^{\circ}\text{C}$, $P = 8$ МПа. Середня швидкість окислення алюмінієвого порошку є недостатньою для створення придатного для використання в енергетичних установках реактора.

Реакція (б) протікає за нормальної температури $T = 300\text{—}350^{\circ}\text{C}$, $P = 16\text{—}18$ МПа. Реакція йде досить швидко і піддається регулюванню. Продуктом реакції, крім водню, є порошок розміром частинок від 1 до 5 мкм, які не злипаються.

Реакція (в) протікає при температурі, що перевищує 300-350°C, тиску $P = 20\text{--}30$ МПа. Продуктом реакції, крім водню, є порошок, що складається в основному з Al_2O_3 , який може утворювати тверді агломерати, які погано розчиняються у воді і

відкладаються на стінках трубопроводів. Процес важкокерований та небезпечний. Проведений аналіз цих процесів дозволив зупинитися реакції (б).

Оскільки швидкість реакції зростає із збільшенням ступеня дисперсності порошку, бажано мати максимально можливу дисперсність. Освоєні вітчизняною промисловістю марки порошків представлені у табл. 1.

Таблиця 1. Марки гідрореагуючих порошків

Марка гідрореагуючого порошку	Дисперсність, мкм	Вартість грн/кг	Час окиснення, с	Насипна щільність, т/м ³
АСД-0	40-125	23	500	-
АСД-1	30-50	29	300-500	1,14-1,2
АСД-4	20-50	56	200-250	0,8-0,85
АСД-6	10-20	127	100-150	0,7-0,73

Метод отримання водню з води шляхом її розкладання гідрореагуючими металами, не завжди може бути реалізований, враховуючі високі значення температури та тиску..

Отримання водню з води шляхом термохімічного розкладання води.

Розкладання води лише за рахунок теплоти передбачає проведення процесу за дуже високих температур (вище 3000°C). Однак при зв'язуванні води в деякому проміжному стані з виділенням кисню і подальшим термічним розкладанням вдається знизити температуру даного процесу.

На цьому і засновані термохімічні способи одержання водню, що полягають у послідовному проведенні кількох хімічних реакцій, одним із кінцевих продуктів яких є водень. Багатостадійність процесу ускладнює його масштабне промислове здійснення.

Перевага його в тому, що не потрібно електроенергії і здійснюється при відносно невисоких температурах. Крім того, всі проміжні реагенти в таких циклах, за винятком води, регенеруються за рахунок тепла, що споживається, що здешевлює водневе паливо.

Інтерес до використання термохімічних циклів пояснюється перспективою отримання досить високих ККД (50-60%) внаслідок прямого використання теплоти високотемпературного ядерного реактора, минаючи стадію перетворення теплоти на електрику.

Для успішної реалізації термохімічного розкладання води потрібні додаткові дослідження в галузі матеріалознавства, оскільки в даний час ця проблема ще не повністю вирішена.

Отримання водню з води шляхом її електролізу.

Через низьку питому електропровідність чистої води її прямий електроліз неефективний, тому практично зазвичай застосовується водний розчин КОН. Цей луг має хорошу питому електропровідність, яка при нормальних температурах і концентрації 20—40 % досягає 0,3—0,5 (Ом·см)⁻¹, тобто в 107 разів більше, ніж у випадку з чистою водою.

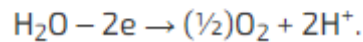
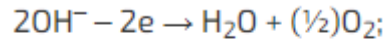
У лужному розчині концентрація іонів водню невелика, внаслідок чого їх недолік у катода поповнюється за рахунок дисоціації молекул води або їх прямого розряду з

утворенням атомів водню та іонів з наступною рекомбінацією атомарного водню молекули:



де Me - метал катода.

Виділення на аноді кисню відбувається внаслідок розряду гідроксильних іонів або молекул води за реакціями:



Такий метод розкладання води називається електролізом води з твердополімерним електролітом і має низку незаперечних переваг у порівнянні з традиційним електролізом води.

Електроліз води з використанням твердополімерного електроліту (ТПЕ) є одним з найбільш перспективних методів як для великомасштабного промислового отримання водню, так і для вирішення широкого ряду спеціальних завдань, рис. 1.

До переваг цього методу можна віднести:

1. невелика відстань між електродами (товщина іонообмінної полімерної мембрани 50-300 мкм);
2. досить низький питомий опір електроліту ($4 \div 20$) ($\text{Ом} \cdot \text{см}^{-1}$);
3. виключення додаткових сепараторів газів.

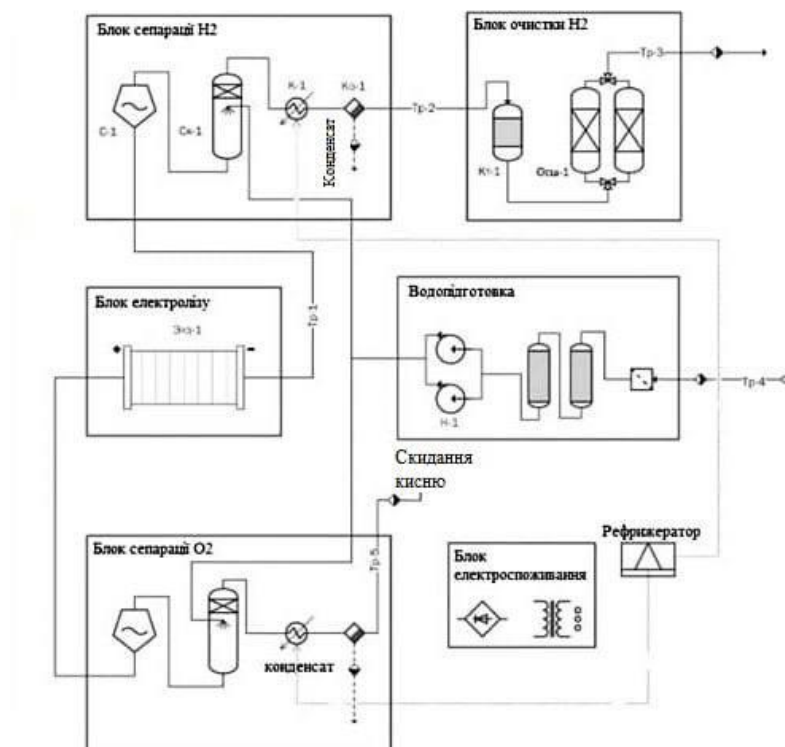


Рисунок 1 - Схема електролізера для отримання водню з води

Головні проблеми водневої енергетики:

1. Це витрати інших енергоносіїв (нафта, електрика, газ) для отримання речовини та висока загроза утворення вибухів.

2. Крім того, немає чітко прописаного та економічно вигідного механізму одержання водневої енергії, хоча фахівцями активно розробляються варіанти видобутку водневого палива. Але поки що є труднощі.

Прагнучи знайти можливості усунути недоліки, все більше уваги звертається на отримання водню з води. У цьому плані джерело отримання водневої енергетики невичерпне з огляду на водний потенціал у світовому океані.

Переваги водневої енергетики:

Транспортування з використання трубопроводів, так як у водню низький показник в'язкості. Водень зберігається у зрідженому, газоподібному стані та має тривалий термін зберігання.

Сучасні технології водневої енергетики дають змогу мати якісний паливний матеріал із високим коефіцієнтом тепловіддачі. Цей енергоносіє має практичну сферу застосування: у промисловому господарстві, у ЖКГ (для опалення житлових будівель).

Воднева енергетика безпечна для навколишнього середовища, не має токсичних властивостей, що негативно впливають на людину та тваринний світ природи.

Застосування водню у вигляді палива для обігріву житла – досить приваблива ідея, адже його теплотворність становить 33,2 кВт/м³, тоді як у газу вона всього 9,3кВт/м³, а це більш ніж у 3 рази. Теоретично добути водень можна з води, щоб його потім спалити в казані, можна скористатися водневим генератором для опалення будинку.

Як енергоносіє з воднем ніщо не може зрівнятися, його запаси практично невичерпні, при згорянні виділяє теплової енергії, набагато більше, ніж будь-яке вуглецевмісне паливо. Замість шкідливих викидів в атмосферу, що виділяються при використанні природного газу, водень згоряє, утворює звичайну воду у вигляді пари. Тільки є одна проблема, цей хімічний елемент не зустрічається в природі у чистому вигляді, а лише у поєднанні з іншими речовинами. Однією з таких сполук є звичайна вода, яка є окисленим воднем. Для того щоб розщепити на її елементи багато вчених витратили не один рік. І не безрезультатно, технічне рішення щодо виділення з води її складових все ж таки було знайдено. Це так звана хімічна реакція електролізу, в результаті якої вода розпадається на кисень і водень, суміш, що отримується, прозвали гримучим газом або газом Брауна. Нижче наведена схема, рис. 2, водневого генератора (електролізера), який використовує електричну енергію.

Промислові електролізери служать для газополум'яних (зварювальних) робіт. Струм певної частоти та сили подається на групи металевих пластин, які занурені у воду. Через реакцію електролізу виділяються кисень і водень упереміш з водяною парою. Для того щоб відокремити гази від пари, все пропускається через сепаратор, після якого подається на пальник. Щоб запобігти зворотному удару та вибуху, на подачі монтується клапан, який пропускає пальне тільки в один бік.

Воднева установка для обігріву житла включає такі складові: котел і труби діаметром 25-32 мм (1-1,25 дюймів). Труби можна встановити вдома своїми руками, але необхідно виконати одну умову – після кожного розгалуження діаметр має зменшуватись.

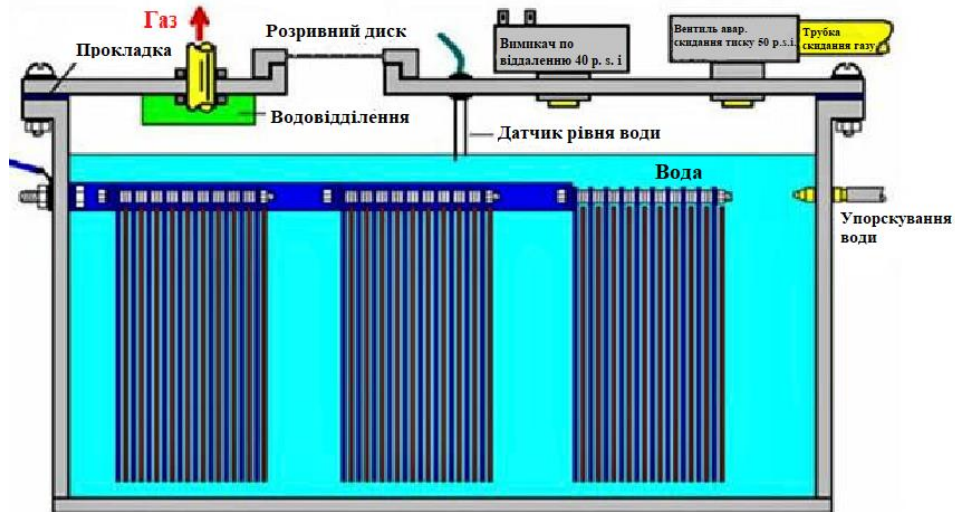


Рисунок 2 – Схема водневого генератора

Діаметр зменшується за таким принципом – труба D32, труба D25. Після розгалуження – D20 і останньою монтується труба D16. При дотриманні цієї умови водневий пальник працюватиме якісно та ефективно. Для того щоб стежити за рівнем води та своєчасно підживлювати нею пристрій, у конструкції є спеціальний датчик, який віддає команду в потрібний момент і вода впорскується в робочий простір електролізера. Щоб тиск не підстрибував до критичної точки всередині судини, агрегат обладнується аварійним вимикачем і скидним клапаном. Для обслуговування генератора водню, потрібно лише додавати воду, рис. 3.

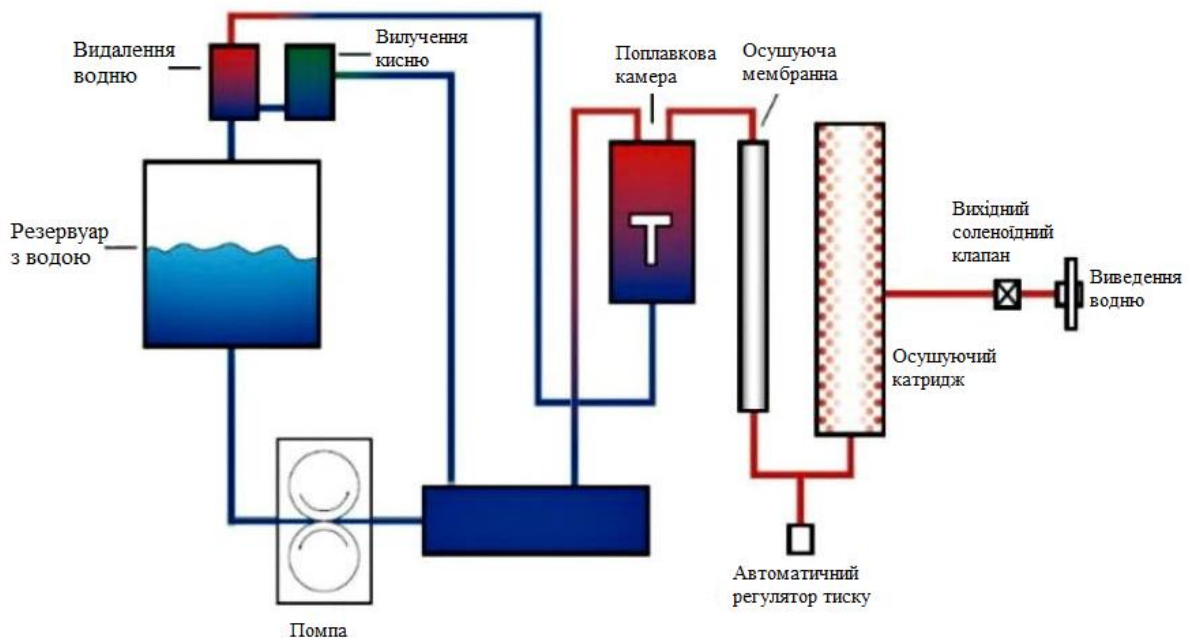


Рисунок 3 – Схема принципу роботи генератора

Переваги опалення на водні. Це екологічно чисті системи. Водень у системі опалення працює без застосування полум'я. Тепло створюється внаслідок каталітичної реакції. Коли водень з'єднується із киснем, виходить вода з виділенням значної теплової

енергії. Потік тепла температури приблизно 40⁰С подається в теплообмінник та може використовуватися також для теплих підлог.

Незабаром водневе опалення своїми руками зможе замінити традиційні системи, таким чином звільнивши суспільство від видобутку іншого палива: нафти, газу, вугілля та дров. ККД системи опалення приватного будинку воднем, може сягнути 96%.

Висновок. Воднева енергетика — це наш «запас на майбутнє», коли від копалин доведеться остаточно відмовитися, а відновлювані джерела енергії не зможуть повністю покривати всі потреби людства. Обсяг світового виробництва водню, зросте до кінця 2022 року та перевищить \$150 млрд. В найближчому майбутньому масове впровадження технології навряд чи відбудеться, необхідно ще вирішити низку проблем, пов'язаних з виробництвом та експлуатацією спеціальних енергоустановок, знизити їх вартість, тоді воднева енергетика вийде на новий рівень і, можливо, буде також поширена, як сьогодні традиційна або гідроенергетика.

Список використаних джерел

1. Воднева енергетика. https://spravochnick.ru/ekologiya/netradicionnye_istochniki_energii/vodorodnaya_energetika
2. Об'єднаний інститут високих температур. https://jiht.ru/staff/page_units/lab-2-1-3-3/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8%20%D0%92%D1%8B%D0%BF%201%202017.pdf
3. Перспективи атомно-водневої енергетики https://www.eriras.ru/files/5_ponomarev-st_prezentatsiyaa_25_10_18-.pdf
4. Віктор Зайченко про отримання водню <https://postnauka.ru/video/41197>
5. Виробництво водню для одержання енергії <https://beelead.com/energiya-vodoroda/>

Науковий керівник ст. викладач Дубовик В.Г.

УДК62-505

Стратіла Б.В.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОНОМНОГО ГЕНЕРАТОРА ЗА ДІАГНОСТИЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

У статті приведено розрахунки для електрогенератора. Розрахунки дозволяють більш точно оцінити параметри енергоефективності.

Ключові слова: *двигун, компресор, циліндро-поршнева група.*

The article presents calculations for the generator. Calculations allow more accurate estimation of energy efficiency parameters.

Key words: *engine, compressor, cylinder-piston group.*

Вступ. Автономне джерело електричної енергії на базі двигуна внутрішнього згорання (Автономний генератор, бензогенератор, дизельний генератор генераторна установка) – це автономна силова установка для генерації та забезпечення споживачів електричною енергією, застосовується для основного або резервного джерела живлення та забезпечення надійного електропостачання.

Мета роботи. Визначити показники ефективності циліндро-поршнєвої групи при зміні моменту прокрутки колінчастого валу двигуна без подачі палива в режим компресора шляхом вимірювання струму та рівня напруги двигуна стартера.

Матеріал та результат досліджень. Основою енергоефективної і надійної роботи електротехнічного обладнання є проведення комплексу діагностичних процедур для визначення технічного стану і своєчасного ремонту. Основною причиною втрати справного стану енергогенеруючих електростанцій з двигунами внутрішнього згорання є зношування циліндро-поршнєвої групи. Дану методику діагностування можна використовувати як у гірничих роботах, наприклад резервне освітлення, так і на виробництвах, де відключення основного джерела енергії призведе до незворотних наслідків або загрози життю людини.

Як правило, для діагностування циліндропоршнєвої групи у бензиновому двигуні буде застосовуватися компресорний режим роботи, де в якості показників ефективності використовуються електричні параметри пуску стартера двигуна або тиск, який утворюється в результаті стискання повітря.

Деякі генератори обладнані електричним стартером, що робить задачу визначення ефективності легше за рахунок того, що ми можемо передавати крутний момент на маховик за допомогою електричного стартера та використовувати двигун у компресорному режимі (без подачі та підриву палива) для визначення показників ефективності.

Але так як деякі генератори мають тільки ручний стартер, що робить задачу запуску двигуна внутрішнього згорання у компресорному режимі неможливою. Тому модернізація системи буде полягати у визначенні ефективності циліндропоршнєвої групи на базі двигуна з ручним стартером для вимірювання тиску і розрахунку енергії.

Основним показником ефективності циліндропоршнєвої групи буде енергія витрачена на прокрутку поршня у циліндрі без свічі запалювання та з нею (в дизельному двигуні замість свічі запалювання виймають форсунку для створювання різниці опорів). Різниця цих двох енергій буде діагностичним показником.

Для прокрутки маховика доцільно використовувати електричний двигун, але так як частота обертання двигуна занадто велика є необхідність в її зменшенні. Для зменшення

частоти обертання (до 1000 об/хв) використовується планетарний редуктор, який приєднується до електричного двигуна постійного струму і набору трещіток механізму ручного стартера, що дає змогу запустити двигун, який обладнаний ручним стартером у компресорному режимі.

Отже, основні елементи які містить конструкція бензинового генератора, в якому є тільки ручний стартер з запропонованою конструкцією модернізації для запуску в компресорному режимі: це синхронний генератор; чотиритактний, одноциліндровий двигун внутрішнього згорання, ручний стартер, планетарний редуктор, та електричний двигун.

Використання даного пристрою можливо або на виробництвах, або на гірничих роботах (наприклад, метрополітен або вугільні та інші шахти). У самому тунелі, де йдуть прохідницькі роботи, генератор не встановлюється через те, що по правилам безпеки не можна використовувати генератор у закритих приміщеннях – є велика ймовірність отруїтись вихлопними газами. Якщо мова іде про встановлення генераторної підстанції, що включає в себе групу генераторів, тоді встановлення такої системи у тунелі є неможливими через великі габарити системи.

Генераторна підстанція встановлюється поза межами гірничих робіт, наприклад, на верху у спеціальному приміщенні. До аварійної генераторної підстанції підключений понижуючий трансформатор, який живить низьковольтну аварійну мережу освітлення. Це зроблено для того, щоб робочі, які знаходяться у виробці під час аварійної ситуації, коли вмикається аварійна електрична мережа не знаходилися під напругою і їх життя не загрожувало ураження електричним током.

Для діагностування розроблений пристрій монтується до кожного генератора окремо і визначає справність циліндро-поршньової групи. Якщо несправності будуть знайдені, тоді генератор віддається на подальше діагностування та ремонт.

Основним показником використання любого енергетичного об'єкта є показник енергоефективності.

В загальному випадку енергоефективність об'єкта можливо представити у вигляді коефіцієнта корисної дії (ККД) системи. Для об'єкта с послідовною передачею енергії:

$$\eta_0 = \prod_{i=1}^n \eta_i \quad (1)$$

де η_i – ККД i – го елемента;

n – кількість елементів.

В випадку автономного джерела живлення загальна кількість основних елементів складає 3: двигун внутрішнього згорання, синхронний генератор, стабілізатор напруги. ККД двигуна внутрішнього згорання можливо визначити з теоретичного адіабатичний цикл:

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad (2)$$

k – показник адіабати для повітря.

Втрати енергії та ККД синхронних машин синхронних машин залежить від величини навантаження і від її характеристики. У синхронних машин з потужністю менше 100кВ ККД (80 ÷ 90)%, у синхронних машинах з потужністю більше 100кВ = (90 ÷ 99)%.

ККД стабілізатор напруги також залежить від навантаження і складає 0,8-0,9.

Враховуюче вищесказане коефіцієнт корисної дії (ККД) автономного джерела

живлення:

$$\eta_0 = 1 - \frac{1}{e^{\left[\frac{\ln \left[\frac{\Delta t U I (1-k_f)(n-1) + 2 p_0 V_0 + \left(\Delta t U I (n-1)(1-k_f) \left((\Delta t U I (1-k_f)(n-1) + 4 p_0 V_0) \right)^{\frac{1}{2}} \right)}{2 p_0 V_0} \right]}{n-1} \right]^{k-1}}} \eta_{alt} \eta_{stab} \quad (3)$$

Графік зміни коефіцієнта корисної дії (ККД) системи представлено на рис. 1.

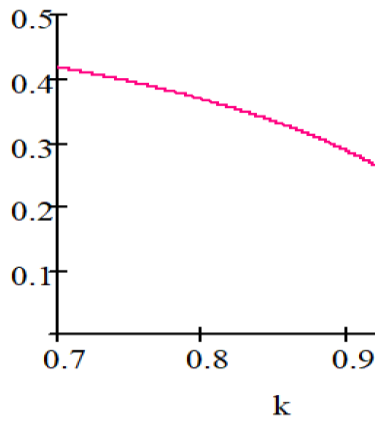


Рисунок 1 –Графік зміни ККД автономного джерела живлення від ступеню стиснення

З аналізу графіка слід відзначити гіперболічну залежність зміни ККД автономного джерела живлення від коефіцієнту відношення струмів.

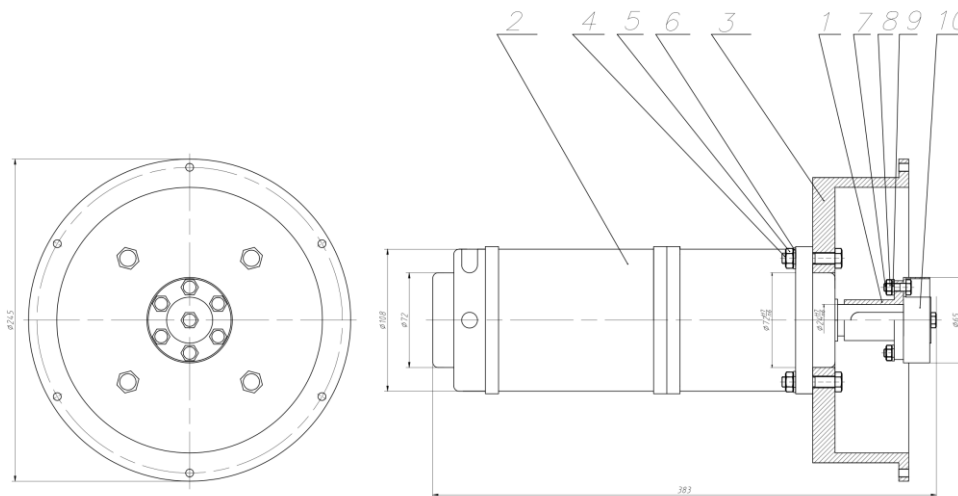


Рисунок 2 – Пристрій для діагностування автономного генератора

Висновок. Для зберігання робочого стану електричного генератора потрібно

аналізувати діагностичні показники, наприклад, за визначним технічним станом або коефіцієнтом стиснення. Великим плюсом є те що визначення енергетичної ефективності може відбуватись на генераторах без електричного стартера, що дуже корисно у випадку, коли електрогенеруюча станція має бюджетні генератори. Тим самим діагностування стає легшим завдяки запропонованій конструкції яка складається з електричного двигуна постійного струму, перехідного фланця, який з'єднується з корпусом двигуна, та напівмуфти, яка передає крутний момент на маховик двигуна, щоб запустити його в компресійному режимі. Також, розрахунки основних показників не великі по об'єму, що дає змогу користувачеві автоматизувати процеси визначення показників шляхом розробки спеціальної програми

Список літератури:

1. И. А. Большенко, "Обзор и анализ конструкций электромеханических приводов клапанов газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания" [Электронный ресурс] : Известия вузов. северо-кавказский регион. технические науки. 2013. № 6 - Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-i-analiz-konstruktsiy-elektromehnicheskikh-privodov-klapanov-gazoraspredelitel'nogo-mehanizma-dvigatelya-vnutrennego-sgoraniya/viewer> – Заголовок з екрана.

2. Болтянський О.В., к.т.н., 1 Болтянська Н.І., к.т.н, "Поліпшення екологічних і економічних показників автомобільних двигунів шляхом вдосконалення газорозподільного механізму" [Електронний ресурс] : Таврійський державний агротехнологічний університет- Режим доступу :<http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/2498/1/11-120-126.pdf>– Заголовок з екрана.

3. Zaichenko, S., Shevchuk, S., Opryshko, V., Pryadko, S., & Halem, A. (2020, May). Autonomous electric power source energy efficiency improvement by internal combustion engine gases distribution control. In 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS) (pp. 262-265). IEEE.

Науковий керівник проф. Зайченко С.В.

УДК 621.3

Літвінов В.Р.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕПЛООВОГО ПУНКТУ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ

***Анотація.** В результаті проведеної роботи було змодельовано систему автоматичного керування насосами підпитки ТП з адаптивним регулятором кількості подачі теплоносія. Параметри адаптуються відносно поточних температурних показників, що дозволяє збільшити економію тепла за рахунок зниження непродуктивних витрат в разі використання подачі теплоносія в опалювальний період.*

***Ключові слова:** автоматизована система керування, тепловий пункт, піджвлювальний насос.*

***Abstract.** As a result of this work, a system of automatic control of HP feed pumps with an adaptive regulator of the amount of coolant supply was modeled. The parameters are adapted to the current temperature, which allows to increase heat savings by reducing unproductive costs in the case of coolant supply during the heating period.*

***Key words:** automated control system, heat point, feed pump.*

Вступ. Енергетичні показники насосних установок залежать від режиму роботи. Параметрами, що визначають режим роботи насоса, є температурні показники датчиків. 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. У існуючих системах незалежного теплопостачання, поруч з більш дорогим шляхом зниження енергоспоживання, пов'язаним з впровадженням енергозберігаючих архітектурно-будівельних рішень, існує порівняно недорогий спосіб, пов'язаний з автоматизацією теплових пунктів опалювальних будівель і подальшою реалізацією в рамках даної САК оптимального управління витратою [1]. Очевидно, що для постановки та подальшого вирішення даної оптимізаційної задачі необхідно розрахувати відповідну математичну модель.

Мета та завдання. Розробка систему автоматичного керування циркуляційних насосів ТП з адаптивним регулятором тиску для підвищення ефективності системи та задання комфортної подачі теплоносія відносно зміни температурних умов.

Матеріал та результати дослідження. Для значної групи насосних установок економічний режим забезпечується стабілізацією тиску (напору) в системі подачі рідини. альтернативні варіанти автоматизації ІТП були розроблені дві системи автоматизації: концепція замкнутої системи зі зворотним зв'язком (рис. 1) і замкнута система з комбінованою зв'язком (рис. 2).

Необхідність стабілізації напору в мережі цих станцій обумовлена змінним характером режиму споживання. Імовірнісний характер водоспоживання вимагає безперервних змін в режимі роботи насосної установки. Зміни повинні бути встановлені таким чином, щоб підтримувалися необхідні значення технологічних параметрів (подач, напорів) в системі в цілому і одночасно забезпечувалося мінімально можливе енергоспоживання насосної установки [4].

Це завдання вирішується системою автоматичного управління (САУ) насосної установки, стабілізуючою тиск в мережі по заданому значенню.

Дана система дозволяє вимірювати температуру води на виході ІТП за допомогою

датчика температури і коригувати її в разі потреби, з огляду на вплив, що обурює $t_{обр.вод}$. Недоліком даної системи є те, що впливи відпрацьовуються системою після того, як відбулося регулювання, внаслідок чого поточна температура буде відрізнятися від заданої [2]. Для того щоб збільшити ефективність регулювання можна використовувати замкнуту систему з комбінованою зв'язком (рис. 2).

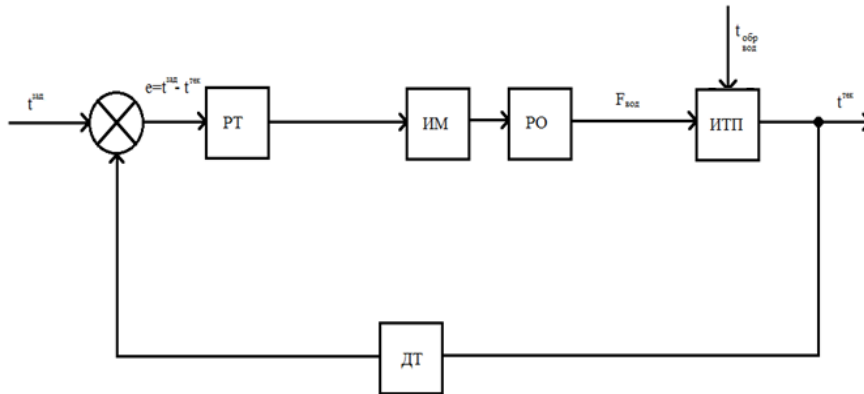


Рисунок 1 – Структурна схема САК ІТП зі зворотним зв'язком

На рис. 1 позначені: $t_{зад}$ – бажана температура, $t_{тек}$ – поточна температура, e – сигнал неузгодженості, $t_{обр.вод}$ – температура води із зворотного трубопроводу, $F_{вод}$ – витрата гарячої води з тепломережі, що йде на теплообмінник, РТ – регулятор температури, ІМ – виконавчий механізм, РО – регулюючий орган, ІТП – індивідуальний тепловий пункт, ДТ – датчик температури.

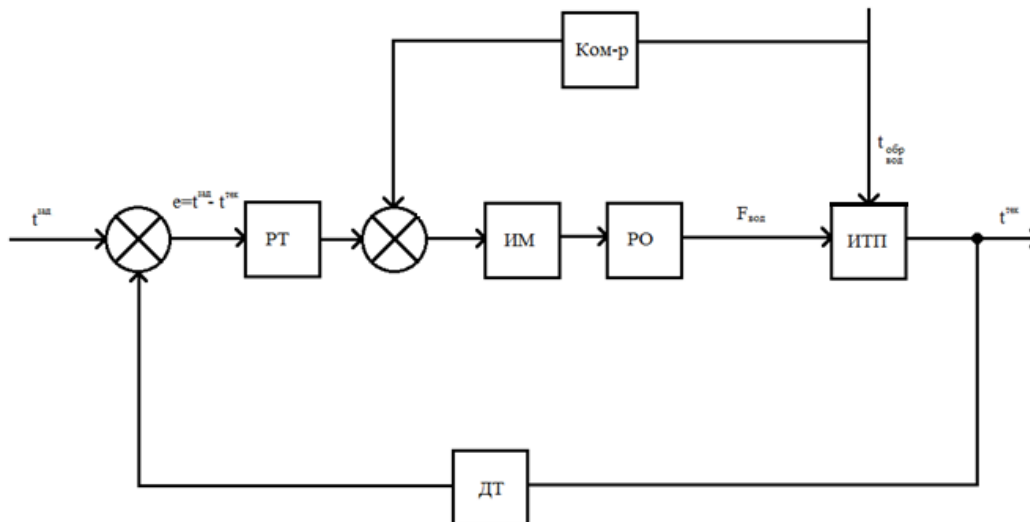


Рисунок 2 – Структурна схема САК ІТП з комбінованою зв'язком

На рис. 2 позначені: $t_{зад}$ – бажана температура, $t_{тек}$ – поточна температура, e – сигнал неузгодженості, $t_{обр.вод}$ – температура води із зворотного трубопроводу, $F_{вод}$ – витрата гарячої води з тепломережі, що йде на теплообмінник, РТ – регулятор температури, ІМ – виконавчий механізм, РО – регулюючий орган, ІТП – індивідуальний тепловий пункт, ДТ – датчик температури, Ком-р – компенсатор.

Використання даної системи дозволить значно поліпшити показники якості системи, збільшити швидкодію.

Розроблена концепція системи повинна давати такі результати:

- автоматичний контроль основних технологічних параметрів ІТП: температуру і кількість води, що подається;
- управління засувкою (для контролю витрат води, що подається);
- швидкодія системи не нижче існуючих аналогів;
- віддалене диспетчерське управління;
- забезпечення оптимального енергоспоживання.

На рис 3. зображено модель САК індивідуального теплового пункту зі зворотним зв'язком.

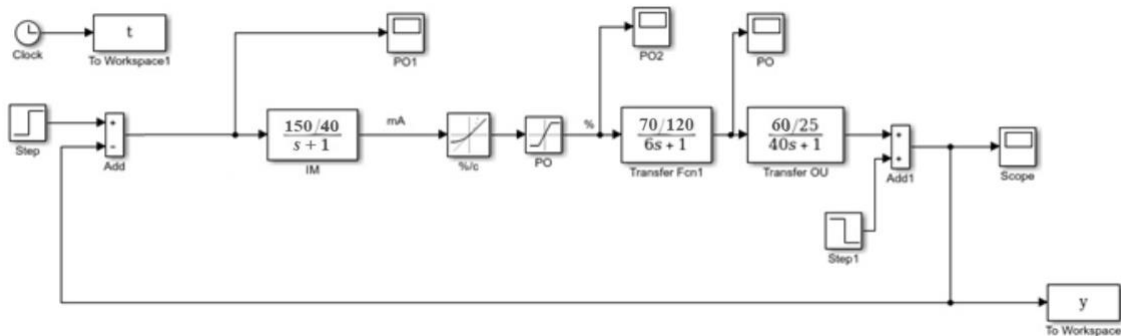


Рисунок 3 – Модель САК індивідуального теплового пункту зі зворотним зв'язком

Моделювання перехідних процесів в САК ІТП (рис. 4-7) здійснювалося в пакеті Simulink програмного комплексу Matlab. На рис. 4 приведена перехідна характеристика сили струму, що подається на виконавчий механізм, на рис. 5 - перехідна характеристика ступеня відкриття засувки, на рис. 6 - перехідна характеристика витрати води. На рис.7 – перехідна характеристика температури на виході.

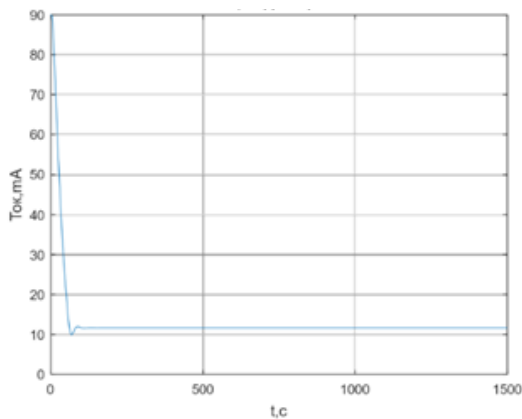


Рисунок 4 – Перехідна характеристика сили струму, що подається на виконавчий механізм

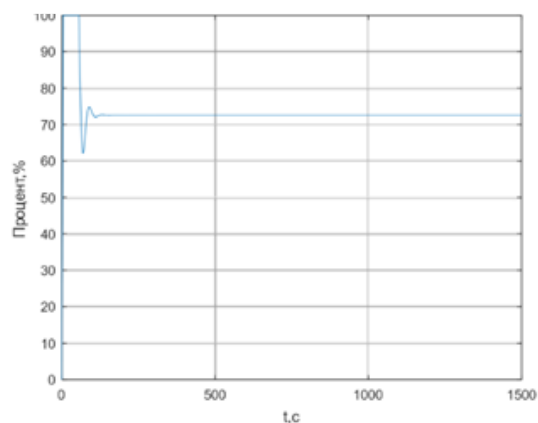


Рисунок 5 – Перехідна характеристика ступеня відкриття засувки

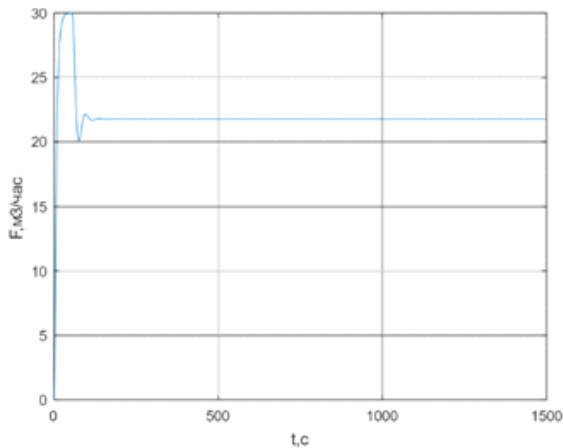


Рисунок 6 – Перехідна характеристика витрати води

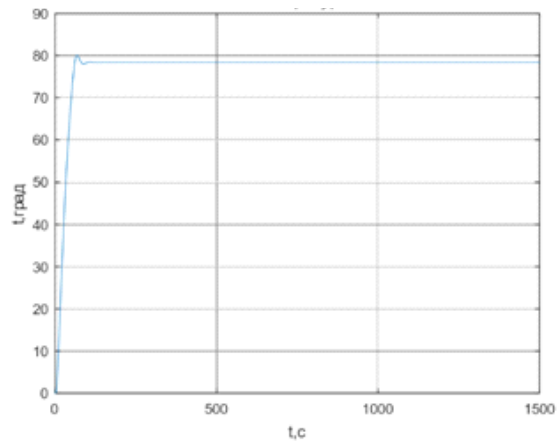


Рисунок 7 – Перехідна характеристика температури на виході

Проаналізувавши отримані результати, можна переконатися в тому, що для даної системи необхідно провести регулювання. Це видно з багатьох причин, таким як велике перерегулювання на всіх графіках, коливальний процес витрати води і те, що в підсумку потрібна температура не була досягнута [5]. Було прийнято рішення використовувати ПІД-регулятор для поліпшення працездатності САК.

В процесі настройки та аналізу регулятора стало ясно, що основний вплив здійснює тільки інтегральна складова, тому для простоти реалізації приймаємо І-регулятор.

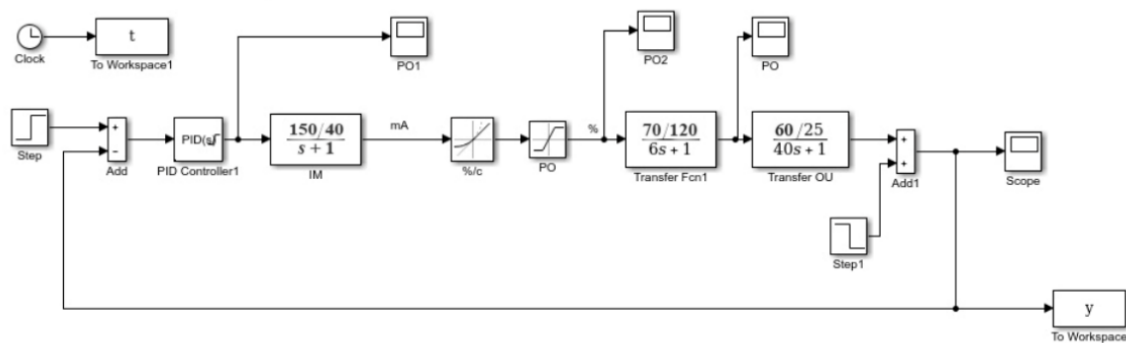


Рисунок 9 – Модель САК індивідуального теплового пункту зі зворотним зв'язком і І-регулятором

На рис. 10 приведена перехідна характеристика сили струму, що подається на виконавчий механізм з використанням І-регулятора, на рис. 11 - перехідна характеристика ступеня відкриття засувки, на рис. 12 - перехідна характеристика витрати води. На рис. 13 - перехідна характеристика температури на виході.

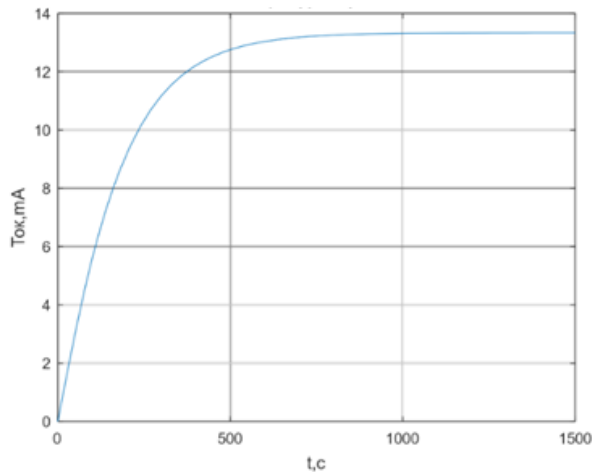


Рисунок 10 – Перехідна характеристика сили струму, що подається на виконавчий механізм з використанням І-регулятора

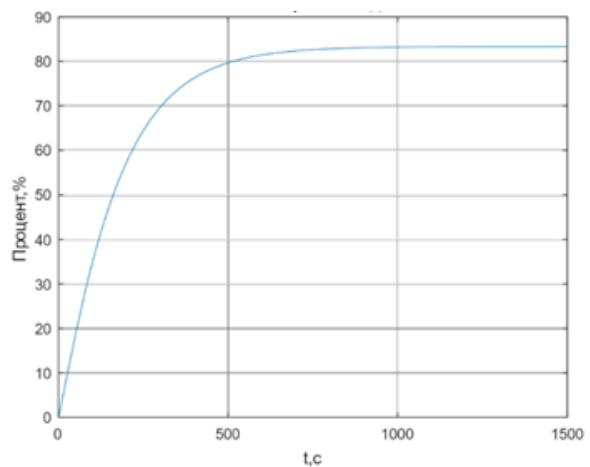


Рисунок 11 – Перехідна характеристика ступеня відкриття засувки

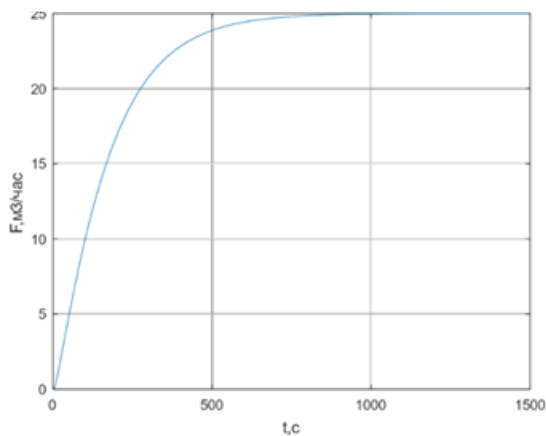


Рисунок 12 – Перехідна характеристика витрати води з використанням І-регулятора

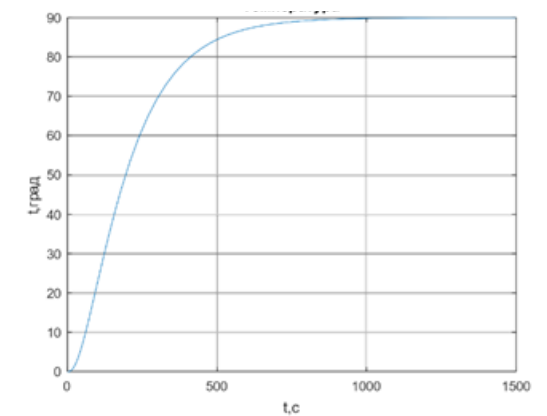


Рисунок 13 – Перехідна характеристика температури на виході

Висновки. 1. Розроблена модель індивідуального теплового пункту дозволила досліджувати характеристики даного об'єкта управління. Запропоновано реалізацію одноконтурної САК. Виконане моделювання підтвердило ефективність отриманих налаштувань: статична помилка і перерегулювання відсутні, отже, дана система придатна для експлуатації в сталому режимі. 2. САК теплового пункту з запропонованим І-регулятором і розрахованими настройками дозволяє повністю виконати вимоги, що підтверджено результатами моделювання [6]. Автоматизація теплового пункту, регулювання дозволяє виключити необґрунтоване витрати теплової енергії і теплоносія у споживачів, отже, витрати води і тепла палива на джерелі. Це сприятливо позначається на стані навколишнього середовища.

Список використаних джерел

1. Литасов, А. О. (2021). Автоматизована система керування індивідуального теплового пункту.

2. Ліннік, І. С. Налаштування регулятора у системі регулювання теплового пункту та порівняння якості перехідних процесів при використанні різних методів наладки. *Вчені записки*, 1202094.

3. Павленко, В. І. (2021). *Електромеханічна автоматизована система насосної установки індивідуального теплового пункту* (Master's thesis, КПІ ім. Ігоря Сікорського).

4. Фішук, Н. У. (2011). Роль автоматизації в модернізації комунальної та промислової енергетики. *Промышленная теплотехника*.

5. Фальченко, В. О. (2021). Автоматизована система диспетчеризації тепlopостачання індивідуального теплопункту з використанням SCADA-систем.

6. СНіП 3.05.07 - 85 * «Системи автоматизації».

7. Pumps life cycle cost: a guide to LCC analysis for pumping systems. executive summary / [Hydraulic institute and Europump]. - Washington, DC, USA, 2001. - 16 с.

Науковий керівник к.т.н., доц. Босак А.В.

УДК 621.31

Марченко К.О.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ОГЛЯД МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ПРИПЛИВУ ВОДИ У ВОДОСХОВИЩІ ПРИ ПЛАНУВАННІ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Анотація. У цій роботі представлено новий підхід до моделювання припливу води у водосховищі при плануванні режимів роботи гідроелектростанцій на основі рекурентних нейронних мереж. Для кожної з мереж використовувався подвійний прихований шар. Основну роль у точності моделювання відіграють кількість нейронів у прихованих шарах, швидкість навчання та кількість ітерацій, оптимальні значення яких були отримані методом проб і помилок.

Ключові слова: приплив води, прогнозування, гідроелектростанція.

Abstract. This paper presents a new approach to modeling the inflow of water into reservoirs when planning the modes of operation of hydropower plants based on recurrent neural networks. A double hidden layer was used for each of the networks. The main role in the accuracy of modeling is played by the number of neurons in the hidden layers, the learning speed and the number of iterations, the optimal values of which were obtained by trial and error.

Key words: water inflow, forecasting, hydroelectric power station.

Вступ. Одним з аспектів сталого управління будь-якою галуззю, у тому числі й енергетикою, є планування її діяльності з урахуванням досягнення поставленої мети. У основі процесу планування у явному чи неявному вигляді лежать прогнози різних значимих чинників. Від якості виконання цих прогнозів істотно залежить успішність управління.

Особливо важливим є завдання прогнозування в гідроенергетиці. Оскільки її головним та єдиним енергоресурсом є потенційна енергія мас води, то їй, крім того, властиво значний вплив природних явищ. Таким чином, гідрологічні прогнози відіграють істотну роль у провадженні господарської діяльності гідроенергетики. У період експлуатації ГЕС прогнози використовуються з метою оптимізації режимів регулювання стоку річок, планування вироблення електроенергії та вжиття заходів щодо пропуску паводків через гідровузли. При керуванні річковим стоком не можна обмежуватися лише інтересами електроенергетики та економічною вигодою від додаткового вироблення електроенергії. Слід враховувати також і потреби інших споживачів гідроресурсів, які, як правило, суперечать запитам енергетики.

Таким чином, планування роботи гідроелектростанцій є дуже нетривіальним завданням навіть за наявності якісних прогнозів режимів рік і залежить від безлічі суперечливих умов.

Мета та завдання. Метою даного дослідження є огляд методів прогнозування припливу води у водосховищі при плануванні режимів роботи гідроелектростанцій в умовах нестачі гідрологічної інформації.

Матеріал та результати дослідження. Існує три горизонти планування водно-енергетичних режимів ГЕС: довгостроковий, середньостроковий та короткостроковий. У рамках довгострокового планування здійснюються сценарні розрахунки водно-енергетичних режимів ГЕС на період від одного року і більше на основі статистичних даних в умовах здійснення прогнозу припливу, з урахуванням характеристик ГЕС і правил використання водосховищ.

В рамках середньострокового планування здійснюються сценарні розрахунки водно-енергетичних режимів ГЕС на період планування від одного кварталу до декади, що враховують характеристики споруд та правила їх роботи, а також правила використання водосховищ та водогосподарських систем, при необхідності здійснюється моделювання руху водних мас у водосховищах на ділянках річок чи каналів.

В рамках короткострокового планування здійснюється розрахунок водно-енергетичних режимів ГЕС на період від однієї доби до одного тижня з розрахунковим інтервалом часу в одну годину (при необхідності в 30 хвилин), що враховує поточний стан обладнання та споруд ГЕС, рух води, що не встановився, в нижньому б'єфі і базується на показники середньострокового планування.

Для планування водно-енергетичних режимів ГЕС повинні бути отримані та використані необхідні вихідні дані:

- гідрологічна інформація;
- морфометрична інформація;
- метеорологічна інформація;
- інформація про пропускну здатність водоскидних споруд гідровузла водосховища;
- водогосподарська інформація;
- водно-енергетична інформація;
- затверджені правила використання водосховищ;
- перелік джерел, використаних для формування системи технологічних та режимних обмежень.

Точні прогнози добових притоків на дамби відіграють значну роль у плануванні та управлінні їх оптимальною та стабільною роботою. Визначаючи величину стоку потоку до дамби, можна розрахувати річний об'єм вхідної води та використати для оптимального розподілу води для різних секторів споживання, включаючи питне господарство, сільське господарство, гідроенергетику тощо. Точне прогнозування стоку річки завжди є ключовою проблемою в гідрології для пом'якшення небезпеки повеней. Ця проблема є більш значною при боротьбі з повенями або виробництвом енергії. Тому прогнозування потоку з достатньою точністю є важливим і важливим.. Складна і нелінійна структура потоку з його стохастичною природою дає можливість використовувати моделі на основі штучного інтелекту. Зокрема, ANN можуть моделювати течію з іншими гідрологічними параметрами.

ANN — це розподілена система обробки знань, в якій основні показники продуктивності подібні до людського мозку і заснована на змодельованій біологічній нейронній мережі [1]. Кожна нейронна мережа має три шари, а саме вхідний, прихований і вихідний. Вхідний рівень — це рівень для надання даних, що надаються як вхідні дані в мережу. Вихідний рівень містить значення, передбачені мережею. Прихований шар — це місце аналізу даних. Зазвичай кількість виділених нейронів шарів отримують методом проб і помилок.

Алгоритми глибокого навчання — це зразок алгоритмів машинного навчання, метою яких є виявлення кількох рівнів представлення вхідних даних. Розроблені в 1980-х роках багат шарові RNN є одними з найбільш часто використовуваних моделей глибокого навчання [2]. Ці типи мереж мають пам'ять, яка записує інформацію, яку вони бачили на даний момент, і існує багато типів. Крім того, RNN є потужними моделями для послідовних даних (часових рядів) [3], і вони використовують попередній вихід для прогнозування наступного результату. У цьому випадку самі мережі мають повторювані цикли. Ці цикли, які знаходяться в прихованих нейронах, дозволяють на деякий час зберігати попередню вхідну інформацію, щоб система могла передбачити майбутні

вихідні дані. Вихідні дані прихованого рівня повторно передаються на прихований рівень t разів. Вихід рекурсивного нейрона надсилається на наступний шар лише після завершення кількості ітерацій. У цьому випадку вихід є більш повним, а попередня інформація зберігається довше. Нарешті, помилки повертаються назад для оновлення ваг.

Прості RNN, по суті, є набором загальних нейронних мереж, скомпонованих разом, кожна з яких передає повідомлення іншій. Іншими словами, ці мережі мають пам'ять, яка зберігає знання про побачені дані, але їхня пам'ять є короткостроковою і не може підтримувати довгострокові часові ряди [4]. На малюнку ба показано просту RNN. Проста рекурентна мережа має лише одну внутрішню пам'ять.

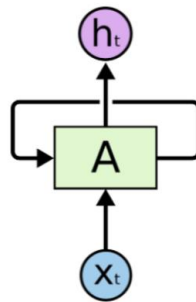


Рисунок 1 – Схема RNN

LSTM є різновидом моделі або структури для послідовних даних, розроблених [5] для просування RNN. Вони використовують спеціальну комбінацію прихованих одиниць, поелементних продуктів і сум між одиницями для реалізації воріт, які контролюють «комірки пам'яті». Ці комірки призначені для збереження інформації без змін протягом тривалого періоду [6]. Найбільшою особливістю LSTM є його здатність вивчати довгострокову залежність, що неможливо з простими RNN. Щоб передбачити наступний крок, значення ваги в мережі повинні бути оновлені, що вимагає підтримки інформації з початкових кроків.

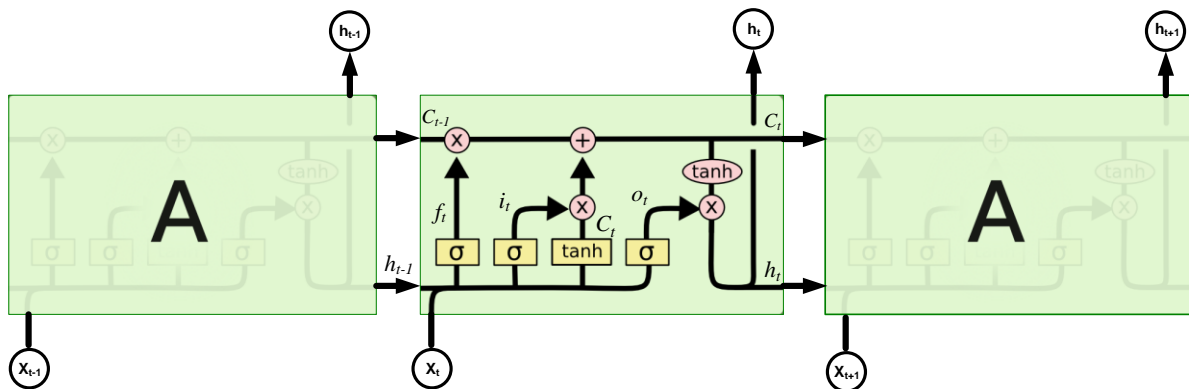


Рисунок 2 – Схема LSTM

Основні рівняння, які описують роботу LSTM мають вигляд:

Ворота забуття:

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f), \quad (1)$$

де f_t - вихідний вектор воріт забуття, σ - сигмовидна функція, x_t - вхідний вектор у момент часу t , h_{t-1} - попередній прихований стан, W_f - ваги воріт забуття та b_f

зміщення воріт забуття.

Вхідні ворота:

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i), \quad (2)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_C \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_C), \quad (3)$$

де i_t - є вихідним вхідним затвором, W_i ваги вхідних воріт, b_i - зміщення вхідних воріт, \tilde{C}_t компонент довготривалої пам'яті, W_C ваги вхідного модуляційного вентиля та b_C зміщення вхідного модуляційного вентиля. Таким чином, оновити старий стан комірки C_{t-1} до нового стану C_t , LSTM спочатку забуває значення стану комірки, визначені шлюзом забуття. Потім нові значення-кандидати, масштабовані за допомогою виходу вхідних воріт, додаються до стану комірки. Таким чином, рівняння для цього процесу оновлення є:

$$C_t = f_t \cdot C_{t-1} + i_t \cdot \tilde{C}_t. \quad (4)$$

Вихідні ворота:

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o), \quad (5)$$

де o_t - вихід вихідних воріт, W_o - ваги вихідних воріт та b_o зміщення вихідних воріт.

Вихід h_t комірки що називається прихованим станом, розраховується наступним чином:

$$h_t = o_t \cdot \tanh(C_t). \quad (6)$$

Для визначення кількості вузлів, які повинна містити мережа LSTM можливо визначити за формулою:

$$N_h = \frac{N_s}{(a \cdot (N_i + N_o))}, \quad (7)$$

де N_i - кількість вхідних нейронів, N_o - кількість вихідних нейронів, N_s - кількість вибірок в навчальних даних, а a являє собою коефіцієнт масштабування, який зазвичай становить від 2 до 10. Можливо обчислити 8 різних чисел для використання в перевірці і знайти оптимальну модель, засновану на результуючих втрати перевірки.

Щодо кількості слоїв, то як правило для кожного конкретного варіанту її найкраще визначати, порівнюючи різні моделі одну з одною. Як правило, двох шарів досить для виявлення більш складних об'єктів.

Щоб уникнути перенавчання в мережу додається шар виключення. Шар випадання випадковим чином приховує нейрони, а кількість прихованих нейронів визначається швидкістю випадання.

Висновки. У цьому дослідженні розглянуто існуючі методи прогнозування припливу до створу ГЕС, проаналізовано дані, необхідні для отримання прогнозу. Також

було розглянуто методики прогнозування із застосуванням штучних нейронних мереж.

Список використаних джерел.

1. Gao, C.; Gemmer, M.; Zeng, X.; Liu, B.; Su, B.; Wen, Y. Projected streamflow in the Huaihe River Basin (2010–2100) using artificial neural network. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.* 2010, 24, 685–697. [CrossRef]
2. Schmidhuber, J. System Modeling and Optimization. The Technical University of Munich (TUM) Habilitation Thesis. 1993. Available online: <http://people.idsia.ch/~juergen/onlinepub.html> (accessed on 20 May 2019).
3. Graves, A.; Mohamed, A.-R.; Hinton, G.; Graves, A. Speech recognition with deep recurrent neural networks. In Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vancouver, BC, Canada, 26–31 May 2013; pp. 6645–6649. [CrossRef]
4. Bengio, Y.; Simard, P.; Frasconi, P. Learning long-term dependencies with gradient descent is difficult. *IEEE Trans. Neural Netw.* 1994, 5, 157–166. [CrossRef] [PubMed]
5. Hochreiter, S.; Schmidhuber, J. Long Short-Term Memory. *Neural Comput.* 1997, 9, 1735–1780. [CrossRef] [PubMed]
6. Understanding LSTM Networks. Aug. 27, 2015. URL: <https://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/> (visited on 06/27/2019).

Науковий керівник к.т.н., доц. Босак А.В.

УДК62-505

Сорочинський Я.З.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ПОКРАЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ АВТОНОМНОГО ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЗА РАХУНОК КОНТРОЛЮ РОЗПОДІЛУ ГАЗІВ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Анотація. У статті приведено розрахунки для електрогенератора. Розрахунки дозволяють більш точно оцінити параметри енергоефективності.

Ключові слова: двигун, клапан, електромагніт.

Annotation. The article presents calculations for the generator. Calculations allow more accurate estimation of energy efficiency parameters.

Key words: engine, valve, solenoid.

Вступ. У поршневому двигуні внутрішнього згоряння (ДВЗ) всі робочі процеси перетворення хімічної енергії палива, що спалюється в механічну роботу колінчастого вала відбуваються всередині двигуна за рахунок зворотно-поступального руху поршнів в циліндрах. Важливим пристроєм, що забезпечує штатну роботу поршневого ДВС, є газорозподільний механізм (ГРМ).

Мета роботи. Спроекувати конструкцію керування клапанами за допомогою електромагніту для електрогенератора.

Матеріал та результат досліджень. Частково завдання керування фазами газорозподілу може бути вирішене шляхом застосування складної механіки керування розсувним розподільним валом або різнопрофільними кулачками, однак такі газорозподільні механізми (ГРМ) не знаходять широкого застосування через високу конструктивну складність і недостатньо високу експлуатаційну надійність. Таким чином, поршневий двигун з механічним приводом клапанів має ряд істотних недоліків:

1) під кожен нову конструкцію двигуна необхідно експериментально підбирати співвідношення фаз газорозподілу й створити розподільний вал з таким профілем і взаємним розташуванням кулачків, які найбільш оптимально відповідали б не тільки конструкції, але й призначенню двигуна;

2) для двигунів з розподільним валом складність виконання перерахованих вимог полягає в їхній суперечливості - можна створити екологічний двигун, але при цьому зросте витрата палива, впаде питома потужність і різко збільшиться продажна вартість автомобіля. Всі ці недоліки можуть бути усунуті на основі використання індивідуальних приводів клапанів ГРМ із електронним керуванням. Роботи зі створення поршневого ДВЗ без розподільного вала ведуться багатьма фахівцями у світі. З усуненням постійного кінематичного зв'язку між клапанами ГРМ і колінчастим валом двигуна з'являється можливість автоматичного регулювання фаз газорозподілу. Безпосереднє керування клапанами за допомогою електромагнітних приводів дозволяє одержати індивідуальне керування кожним клапаном ГРМ, незалежно від кута повороту колінчастого вала. Рух клапана є функцією від часу й не залежить від частоти обертання. Характеристики ходу є повністю релевантними стосовно колінчастого вала.

Система з індивідуальним електромагнітним приводом клапана ГРМ забезпечить:

- більш низький рівень викиду шкідливих речовин;
- зниження витрати палива, аж до відключення окремих циліндрів (на холостому ходу досягає 18%, а в найбільш ходовому діапазоні обертів, при часткових

навантаженнях - 10%);

- зниження витрати енергії на тертя;
- поліпшення потужностних характеристик двигуна шляхом розширення діапазону підвищеної потужності й крутного моменту по частоті обертання;
- можливість одержання багатопаливного двигуна;
- зниження шуму, вібрацій і твердості роботи двигуна.

У досліджуваній системі двигун внутрішнього згорання є найменш енергоефективним елементом. Ефективність чотиритактних двигунів внутрішнього згорання при оптимальних швидкостях і навантаженні знаходиться в межах 45% (50%) дизельних двигунів і 39% для бензинових. У той же час, аналізуючи графіки, зміни коефіцієнта енергоефективності двигуна внутрішнього згорання слід відзначити значне (до 30%) падіння при різкому збільшенні питомої витрати палива (до 500%).

Реалізація запропонованого способу управління газорозподілом двигуна внутрішнього згорання автономного джерела живлення можлива за рахунок використання спеціальних приводів газорозподільного механізму. Поширені механічні, гідромеханічні та електроприводи. Більше того, серед цих типів приводів високоефективні електромагнітні забезпечують завдяки повільному переміщенню клапана в кулачку та гідравлічному приводі.

У якості енергетичних показників, які необхідні для моделювання динаміки роботи систем енергопостачання та техніко-економічної оцінки варіантів компоновки нових енергосистем обрані:

- питомі витрати палива на генерацію електричної енергії при різному рівні навантаження, г/кВт·г;
- коефіцієнт корисної дії при різному рівні навантаження.

У якості палива для проведених дослідів використано два види найбільш поширених палив (згідно з ДСТУ 7684:2015) :

- бензин автомобільний А-95 - Евро5;
- бензин автомобільний А-95 - Евро5 - Е7.

Досліди проводились в приміщенні при температурі $(298 \pm 3) \text{ K}$ [$(25 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$] і відносної вологості $(95 \pm 3)\%$. Значення атмосферного тиску знаходилось в діапазоні 755-165 мм рт. ст. (100 658-101 991 Па). За даних умов визначено один із головних реологічних параметрів палива, густину. Так для А-95 - Евро5 вона склала – 735 кг/м³, і для А-95 - Евро5 - Е7 – 757 кг/м³.

Серед широкого асортименту автономних генераторів, авторами було приділено увагу генеруючим установкам на базі одноциліндрового бензинового чотиритактного двигуна внутрішнього згорання з об'ємом двигуна 200см³. Технічні характеристики наведено в таблиці 1. Більшість генераторів використовує в якості альтернатора синхронний електрогенератор з автоматичним регулятором напруги(AVR), який містить обмотки ротора і статора. Частота обертання ротора електрогенератора підтримується за допомогою відцентрового регулятора частоти пов'язаного з карбюратором.

При проведенні експериментальних досліджень головними змінними факторами були відношення потужності активного навантаження до номінального значення електричного генератора $\frac{N}{N_0}$ і тип палива. Кожний експеримент проводився три рази на кожному рівні потужності. Для визначення витрати кількості палива для кожного дослідів витрачалось однакова кількість палива $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ з фіксацією часу.

Таблиця 1 – Технічні характеристики синхронного електрогенератора з двигуном іскрового запалювання

Параметр	Одиниця виміру	Значення
Тип двигуна	-	4-х тактний бензиновий двигун з повітряним охолодженням OHV
Кількість циліндрів	шт	1
Модель двигуна	-	H-168
Об'єм двигуна	см ³	196
Потужність двигуна	Вт	4780
Максимальна потужність	Вт	2800
Об'єм паливного баку	м ³	0,015
Об'єм масляного картеру	м ³	0,0006
Вага	кг	53,6

В таблицях 2 і 3 наведено результати експерименту і обчислені показники енергоефективності за встановленими даними зміни напруги і струму. При визначенні корисна робота у вигляді електричної енергії ΔP визначена методом трапецій з попереднім добутком даних напруги і струму:

$$\Delta P = \sum_{k=1}^{N_m} \frac{U_{k-1} I_{k-1} + U_k I_k}{2} \frac{1}{f}, \quad (1)$$

де U_{k-1} , I_{k-1} , U_k , I_k – сусідні значення напруги і струму;

f – частота опитування каналів АЦП (1000Гц);

N_m – кількість вимірювань:

$$N_m = \Delta t \cdot f. \quad (2)$$

Таблиця 2 – Параметри енергоефективності електрогенератора для бензину А-95 - Евро5

$N\%$	$\frac{N}{N_0}$	$\Delta t, c$	$r, r/c$	$BSFC, \Gamma/J$	$BSFC, \Gamma/(кВт \cdot год)$	$\Delta P, J$	η
1	0	97	0,15608	-	-	-	-
2	0,2	89	0,17011	0,00033	1189,21	44828	0,0688
3	0,4	70	0,21629	0,00021	756,00	70693	0,1082
4	0,6	62	0,24419	0,00015	569,03	93320	0,1437
5	0,8	44	0,34409	0,00016	601,36	88843	0,1360
6	1	21	0,68818	0,00026	962,18	55453	0,0850

Таблиця 3. – Параметри енергоефективності електрогенератора для бензину А-95 - Евро5 - Е7

№	$\frac{N}{N_0}$	Δt , с	r , г/с	$BSFC$, г/л	$BSFC$, г/(кВт·год)	ΔP , л	η
1	0	92	0,16457	-	-	-	-
2	0,2	84	0,18024	0,00036	1297,71	42011	0,0656
3	0,4	66	0,22939	0,00022	825,81	66509	0,1032
4	0,6	58	0,26103	0,00017	626,48	87265	0,1360
5	0,8	41	0,36927	0,00018	664,68	82779	0,1282
6	1	19	0,79684	0,00031	1147,45	47803	0,0742

З аналізу даних наведених в таблицях 2 і 3 необхідно визначити про зменшення часу роботи електрогенератора Δt і відповідно зростання витрат палива r в середньому на 4,3%, що пояснюється нижчою теплотворною здатністю спиртовмісних бензинів.

Для полегшення аналізу даних таблиць 2 і 3 побудовані графіки зміни питомої витрати палива і коефіцієнту корисної дії (рис. 1). Суттєві питомі витрати енергії (1189-1297 г/(кВт·год) і 962-1147 г/(кВт·год)) спостерігаються при низькому (0,2) і максимальному навантаженні електрогенератора. При чому наближення навантаження до мінімального значення призводить до значно більших питомих витрат ніж перевантаження електрогенератора. Оптимальний рівень навантаження для електрогенераторів даної конструкції, при якому очікується найнижчий рівень питомих витрат палива складає 0,7 для різних типів складає відповідно 560 і 605 г/(кВт·год).

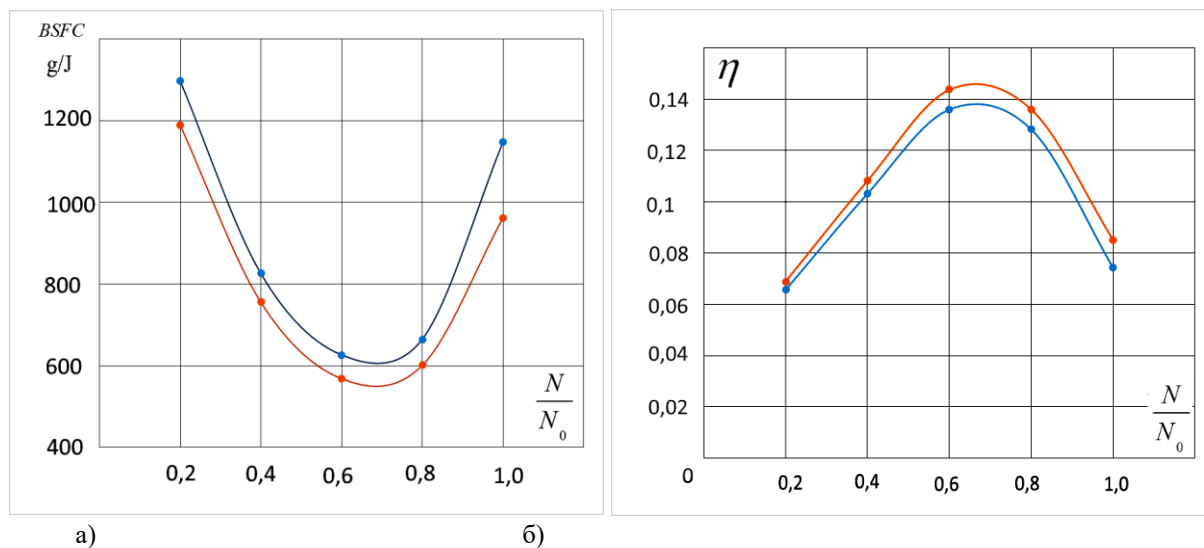


Рисунок 1 – Діаграми зміни питомої витрати палива (а) і коефіцієнту корисної дії (б) при використанні різних типів палив:

- бензин автомобільний А-95 - Евро5;
- бензин автомобільний А-95 - Евро5 - Е7.

Причиною даних ефектів є цілий ряд негативних явищ, що супроводжують процес генерації електричної енергії при відхиленні навантаження від оптимального. До основних причин слід віднести, у випадку збільшення потужності, погіршення газонаповнення циліндра, зменшення турбулізації з викидом частини заряду з циліндра

у вхідну систему при збільшенні подачі палива. Також збільшення витрат в режимі наближеному до холостого до загальних витрат енергії ΔA додаються витрати на створення реактивної потужності, які необхідна для генерації на різних рівнях навантаження.

Встановлені розподіли питомих значень витрат палива і значення коефіцієнту енергоефективності при різному значенні навантаженні з використанням різних палив за новою методикою вимірювань є необхідними для моделювання і планування енерговитрат енергетичних систем, які використовують генеруючі установки даного типу.

І, зібравши всю попередню інформацію, склавши теоретичний проект у програмі MATLAB, і після запуску програми отримали інформацію, а саме поведінку клапана з точки зору швидкості та часу відкриття та закриття. Згідно розрахунків, цей тип клапана та конструкція (рис. 2) заощадить багато енергії, а також дозволить нам значно зменшити розмір двигуна.

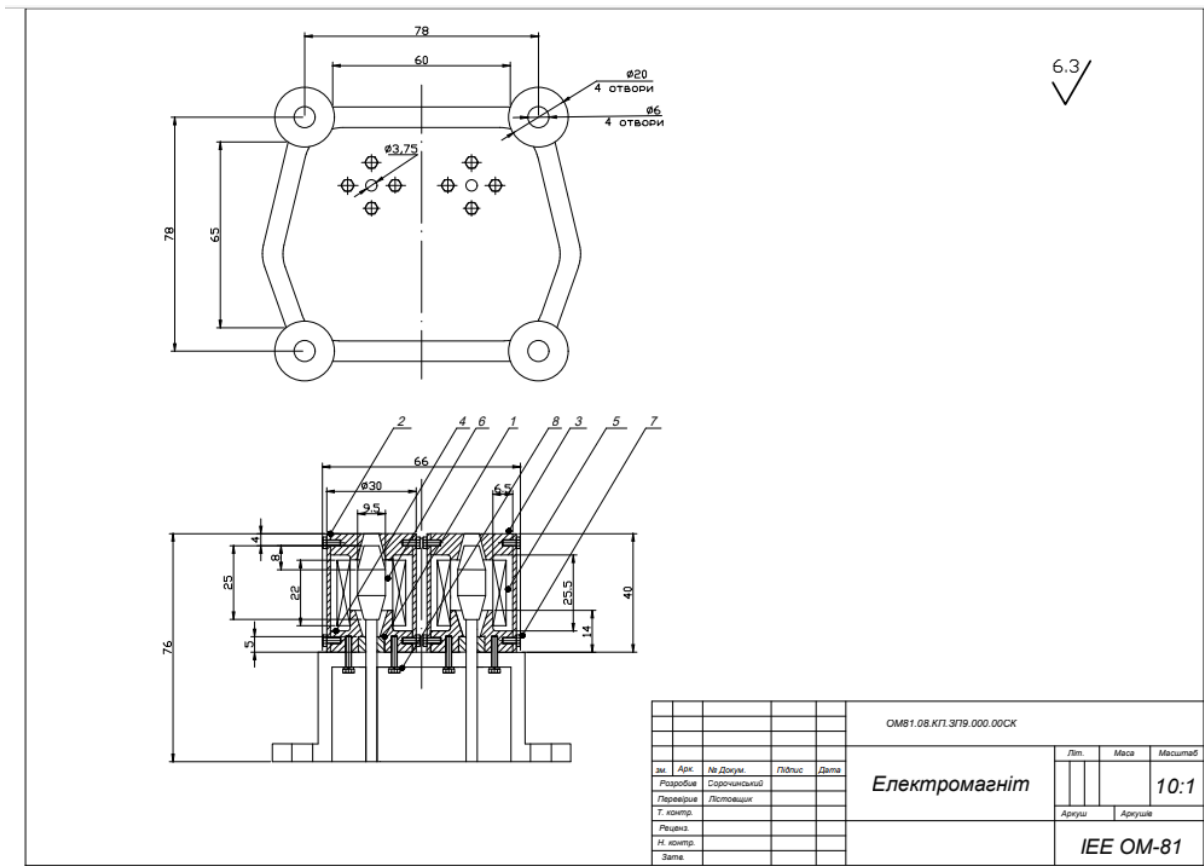


Рисунок 2 – Конструкція електромагніту

Висновок. У цій роботі було запропоновано нову методику визначення значень витрат палива і значення коефіцієнту енергоефективності електрогенеруючої установки з двома паливами (етил-бензин), що дозволило відстежувати максимальну ефективність. Так для даного обладнання вона складає 0,147 та 0,138 при навантаженні 0,7 від номінального для різних типів палив. Питомі витрати для оптимального навантаження складають 560 і 605 г/(кВт·год) відповідно.

Використання даної методики, яка базується на визначенні миттєвих значень потужності, за певних умов дозволяє уникнути суттєвих похибок (30%) при визначенні

енергетичних параметрів.

Крім того, експериментальна оцінка роботи генеруючої установки підтвердила, що паливо без домішок етанолу дозволяє генерувати більшу кількість електричної енергії, що доцільно використовувати при виникненні більших потреб.

Список літератури:

1. И. А. Большенко, "Обзор и анализ конструкций электромеханических приводов клапанов газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания" [Электронный ресурс] : Известия вузов. северо-кавказский регион. технические науки. 2013. № 6 - Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-i-analiz-konstruktsiy-elektromehnicheskikh-privodov-klapanov-gazoraspredelitel'nogo-mehanzma-dvigatelya-vnutrennego-sgoraniya/viewer> – Заголовок з екрана.

2. Болтянський О.В., к.т.н., І Болтянська Н.І., к.т.н, "Поліпшення екологічних і економічних показників автомобільних двигунів шляхом вдосконалення газорозподільного механізму" [Електронний ресурс] : Таврійський державний агротехнологічний університет- Режим доступу :<http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/2498/1/11-120-126.pdf>– Заголовок з екрана.

3. Zaichenko, S., Shevchuk, S., Opryshko, V., Pryadko, S., & Halem, A. (2020, May). Autonomous electric power source energy efficiency improvement by internal combustion engine gases distribution control. In 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS) (pp. 262-265). IEEE.

Науковий керівник проф. Зайченко С.В.

УДК62-505

Ковальчук В.В.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

МОДЕРНІЗАЦІЯ СКРЕБКА ДЛЯ АСПВ

Анотація. У статті приведено аналіз існуючої моделі скребок та рішення щодо його модернізації

Ключові слова: скребки для АСПВ, нафтогазопровід.

Annotation. The article presents an analysis of the existing model of scrapers, and decisions on its modernization

Key words: scrapers for ARPD, oil and gas pipeline.

Вступ. Сучасний цивілізований світ можна порівняти з живим створінням, венами якого тече нафта. Отже для нормального функціонування світу необхідно утримувати його нафтопроводи в належному стані. Головною перешкодою для цього є утворення асфальто-смолисто парафінових відкладень на стінках нафтогазопроводів. Ці відкладення зменшують пропускну здатність трубопроводу й, відповідно, знижується ефективність транспортування вуглеводню.

Рішенням цієї проблеми стали скребки для асфальто-смолисто парафінових відкладень найрізноманітніших конфігурацій.

Мета роботи. Модернізація існуючої моделі скребка шляхом внесення в конструкцію скребка вібраційного елемента .

Матеріал та результат досліджень. Робота скребка для АСПВ. Скребки від науково-виробничого підприємства “УНИКОМ СЕРВИС” є надійним обладнанням з рядом переваг[1]. Наприклад скребки серії СКО (внутрішньотрубні снаряди, поршні) призначені для очищення внутрішньої поверхні трубопроводів. Очисні скребки серії СКО є дуже гнучким у застосуванні обладнанням, яке легко адаптувати до конкретних завдань, а поліуретанові диски та манжети з гранично високою зносостійкістю дозволяють проводити очисні роботи майже в будь-якому середовищі (нафта, газ, нафтопродукти, морська вода).

Скребки сконструйовані таким чином, щоб досягалася висока ефективність за наявності особливостей трубопроводу, таких як крутовигнутих ($R=1,5D_u$) відводів, s-подібних відводів (back to back $R=1,5D_u$), присутності різноманітних видів забруднень, таких як важкі відкладення , парафін, окалина та інші.

Скребки для очисних робіт мають конструкцію, яка забезпечує їх проходження через рівнопрохідні трійники (на 6 годин) без захисних ґрат, клинові засувки з шириною паза до 0,5 ДН, звуження трубопроводу до 60% ДН у виконанні СКО-К та до 80% ДН для решти виконань.

Для контролю руху скребка трубопроводом скребки можуть оснащуватися передавальними пристроями.

Скребки з дисками ідеально підходять для осушування, введення в експлуатацію трубопроводу та дозування продукту, а також для загальних очисних робіт і забезпечують високий рівень очищення.

Ведучі диски виготовлені зі зносостійкого поліуретану великої міцності. Вони забезпечують центрування поршня в трубопроводі, несуть на собі вагу поршня і зчищають бруд зі стін трубопроводу.

Чистячі диски за розміром більше напрямних і зроблені також із зносостійкого

поліуретану високої міцності. Призначення дисків, що чистять, - створювати перепад тиску, для цього вони повинні герметично прилягати до стінок трубопроводу. Також чистячі диски виносять з трубопроводу бруд, пил, парафін і сторонні предмети.

Скребки-калібри ідеально підходять для застосування за умов низького тиску. Скребки цього типу рекомендується запускати одними з перших, особливо у випадках, коли трубопровід протягом тривалого часу не чистився, відповідно, не відомо, який обсяг бруду накопичився всередині нього. Ризик застрягання такого скребка в трубопроводі мінімальний завдяки низькій очисній здатності такого скребка. Мінімумально прохідний скребком-калібром діаметр трубопроводу - 60% від зовнішнього діаметра труби.

Серед розмаїття скребоків з поліуритановими дисками варто виділити патент МПК В08В 9/04 [2]. Запропонована конструкція забезпечує:

- надійне протікання робочого середовища, заповненого частками зчищених відкладень та забруднень через спрощений гідравлічний контур;
- ефективне розмивання шару відкладень і забруднень на внутрішній поверхні трубопроводу;
- ефективне очищення та вимивання часток відкладень та забруднень із зони чищення в порожнину трубопроводу перед пристроєм;
- зменшення ймовірності застрягання пристрою в трубопроводі;
- знижений знос очисних дисків та ущільнюючих манжет;
- легкість збирання, розбирання та ремонту пристрою.

Однак описаний пристрій для очищення внутрішньої поверхні трубопроводу має ряд недоліків, що полягають в його конструктивній складності та складності його експлуатаційного обслуговування, зниженій надійності через велику ймовірність забиття наявного складного гідравлічного контуру, через який протікає робоче середовище, заповнене частками зчищених відкладень та забруднень.

Отже модель скребка з поліуритановими дисками для очищення АСПВ МПК В08В 9/04 в нафтогазопроводах має місце для вдосконалення.

Оскільки пристрій має порожнистий корпус, це дозволяє розмістити в ньому вібраційний пристрій з елементом живлення. Цей крок дозволить без надмірного ускладнення конструкції скребка покращити його прохідність трубопроводом, а також створення вібрацій покращує очисні властивості скребка, оскільки під дією вібраційного пристрою АСПВ на стінках трубопроводу руйнуватимуться. Також вібрації сприяють зниженню агдезії щодо відкладень на сам скребок, що значно нівелює шанс його застрягання в нафтопроводі.

Вібраційні пристрої в сучасному світі мають просту будову та широке застосування – від медицини до будівництва, а як відомо, простота будови це запорука надійності.

Яскравим прикладом вібраційного обладнання є вібратор для ущільнення бетону. В основі конструкції вібраторів всіх типів знаходиться вібровузол, що створює коливання, частота та амплітуда яких повинні бути достатніми для видалення повітряних бульбашок із суміші та її ефективного ущільнення.

У глибинному вібраторі вібровузол являє собою вал з ексцентриком, що знаходиться у вібронаконечнику або булаві. Його обертання забезпечує привід – електричний, бензиновий, дизельний, пневматичний. Обертотвий момент від приводу до валу передається через гнучкий і міцний трос.

За приводом ущільнювачі діляться на електричні, бензинові та дизельні.

Одним зі значних параметрів, що враховуються при виборі такого обладнання – потужність. Моделі потужністю до 1,5 кВт використовуються у приватному будівництві. Зазвичай це вібратори із електричним приводом. У разі відсутності централізованого

електропостачання вибирають пристрої з акумулятором.

У промисловому будівництві найчастіше застосовують апарати потужністю 3-4 кВт.

Таким чином, оскільки вібратори застосовують для виведення повітря з текучої бетонної суміші, а також для ущільнення його структури, то доречно внести відповідний до потреб очищення АСПВ елемент для створення високочастотних вібрацій в конструкцію запропонованого скребка для нафтогазопроводів. Під дією високочастотних коливань відкладення на стінках трубопроводу значно краще будуть зчищатись й мінімізується відсоток налипання АСПВ на всі частини скребка

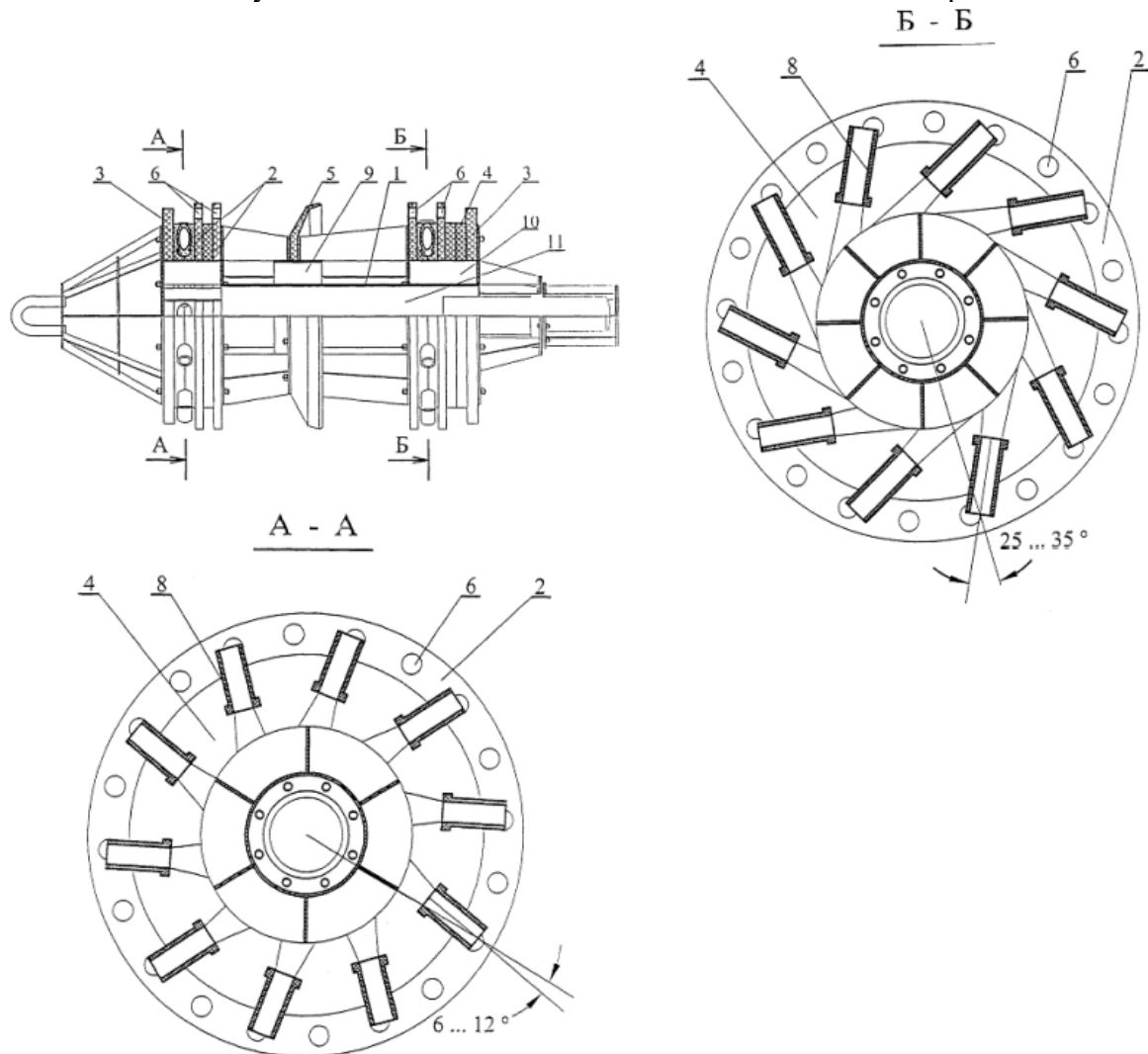


Рисунок 1 – Перелік структурних елементів скребка для АСПВ: 1 – корпус; 2 – очисні, 3 – центруючі, 4 – прокладкові диски; 5 – ущільнююча манжета; 6 – наскрізні отвори; 7 – соплові отвори; 8 – вставні гнучкі патрубки; 9 – ущільнююча манжета; 10;11 – канали для проходження робочого середовища.

Оскільки пристрій здійснює очищення трубопроводу за рахунок центруючого блоку, а пелюсткові манжети в основному формують струминну течію робочого середовища в подовжньому напрямку, тому ефективність очищення таких струменів обмежена.

Пропонується в пристрій запропонований на основі патентних рішень [2] та [5] встановити вібруючий елемент з живленням від літій-іонного акумулятора.

Вібраційна головка з електричним приводом, що живиться акумулятором монтується в порожнистий корпус скребка, а саме в центральну частину, на яку кріпляться центруючий блок та пелюсткові манжети.

Герметично зафіксований вібратор у вісі скребка створює високочастотні коливання, що передаються також на стінки трубопроводу й сприяють відставанню АСПВ як від стінок трубопроводу, так і від поверхні скребка. Таким чином знижується шанс застрягання скребка й зростає якість очищення.

Перевагами пристрою є: можливість регулювання частоти коливання, можливість включення додаткових елементів у вібраційний пристрій, простота монтажу, надійність, низька вартість.

Висновок. При аналізі корисних моделей скребок для АСПВ а також пристроїв з вібраційними елементами найрізноманітніших конфігурацій, було прийняте рішення щодо модернізації патенту МПК В08В 9/04 за допомогою вібруючого пристрою. Це оптимальне рішення, оскільки запропонований патент через свої конструктивні особливості дозволяє реалізувати представлену ідею, й досягнути головної мети роботи, а саме покращити результат роботи очисного пристрою з мінімальними технологічними та матеріальними затратами.

Список використаних джерел.

1. "Очистные скребки и поршни". *Уником сервис*. URL: <https://www.unikom-service.ru/catalog/skrebki/> (дата звернення: 10.05.2022)
2. Пристрій для очищення внутрішньої поверхні трубопроводу: пат 18805 Україна: В08В 9/04. № u200606291; заявл. 15.11.2006, Бюл. № 11, 2006 р. 5с.
3. "Вібратор для бетону: характеристика, види і принцип роботи". *Будівельні ресурси*. URL: <https://www.stroy-res.ru/articles/vibrator-dlya-betona-harakteristika-vidy-i-princip-raboty/> (дата звернення: 10.05.2022)
4. Шухов В.Г. Трубопроводы и их применение к нефтяной промышленности: Москва: типо-лит. "Рус. т-ва печ. и изд. дела", 1895. 153с.
5. Патент РФ №2129924, кл. МПК6 В08В9/04 Устройство для очистки внутренней поверхности трубопровода (его варианты). Черняев В.Д., 10.05.1999, Бюл. №13.
6. Zaichenko S. et al. Determination of the main power parameters of devices for cleaning of main pipelines with a roller drive //Power engineering: economics, technique, ecology. – 2020. – №. 1. – С. 47-52.
7. Зайченко С. В. и др. Визначення основних енергосилових параметрів пристроїв для очищення магістральних трубопроводів з роликівим приводом //Енергетика. – 2020. – с. 47.
8. Zaichenko s. V. Et al. Мехатронний комплекс діагностування магістральних трубопроводів //Power engineering: economics, technique, ecology. – 2018. – №. 3. – с. 139-148.

Науковий керівник проф. Зайченко С.В.

УДК 662.64

Березницький Н.В.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРИВІДНОЇ СТАНЦІЇ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

Анотація. У статті проведено аналіз існуючих електроприводів стрічкового конвеєра та обґрунтування доцільності проведення модернізації конструкції цих установок з метою підвищення показників енергоефективності, коефіцієнта корисної дії, продуктивності, коефіцієнта довгострокової експлуатації та обслуговування, забезпечення надійності та зручності експлуатації електроприводів стрічкового конвеєра для гірничих робіт. Задана модернізація полягає у заміні традиційних конструкцій приводів на новітні конструкції типу "Мотор барабан" з наведенням математичних розрахунків необхідних показників та порівняльного аналізу "до" та "після" проведення модернізації.

Ключові слова: електропривод, мотор барабан, конструкція, параметри, енергоефективність, продуктивність.

Annotation. The article analyzes the existing electric conveyor belts and substantiates the feasibility of modernizing the design of these units to improve energy efficiency, efficiency, productivity, long-term operation and maintenance, reliability and ease of operation of electric conveyor belts for mining. The given modernization consists in replacement of traditional designs of drives on the newest designs like "Motor drum" with giving of mathematical calculations of necessary indicators and the comparative analysis "before" and "after" carrying out modernization.

Key words: electric drive, drum motor, design, parameters, energy efficiency, productivity.

Вступ. В сучасних умовах стрічкові конвеєри мають широкий спектр застосування в різних галузях промисловості, призначені для транспортування гірських порід, сипучих матеріалів і штучних вантажів.

Основними елементами конструкції стрічкового конвеєра, являються транспортуюча стрічка, електричний двигун, роликкоопори, завантажувальний і натяжний пристрій, вловлювачі стрічки, механізми для її очищення, завантаження тощо. Привод складається з електродвигуна, редуктора, з'єднувальних муфт, гальма і приводного барабана [1].

Даний перелік основних вузлів стрічкового конвеєра формує одноцілісну систему електроприводу, який складається з взаємозв'язаних між собою елементів стрічкового конвеєра. Дану систему можна представити у вигляді моделі:

1. Електричний двигун → 2. Муфта редуктора → 3. Редуктор → 4. Муфта барабана → 5. Барабан.

Дана модель вказує на вагомий недолік традиційної системи електроприводу стрічкового конвеєра, а саме вихід з ладу одного з елементу призводить до зупинки усієї системи, що призводить до порушення роботи конвеєра, пошкодження його елементів, скорочення терміну експлуатації та вихід з ладу всього обладнання (системи електроприводу) [2].

Розглянемо декілька прикладів:

1. При виході з ладу електричного двигуна, не відбувається передача крутного моменту до редуктора, як наслідок барабан конвеєра не здійснює обертання, робота конвеєра зупинена.

2. Якщо пошкоджено муфту, то аналогічно не відбувається передача крутного моменту до редуктора, як наслідок барабан конвеєра не здійснює обертання, робота конвеєра зупинена.

І т.д. для кожного елемента системи електроприводу.

Кожний елемент потребує належної уваги та обслуговування, з точки зору конструктивного складу, данна система має ряд недоліків, серед яких є висока вартість обладнання, складність конструкції, значні габарити обладнання, які займають велику площу, необхідну для монтажу обладнання та обслуговування, в умовах гірничих робіт, цій проблемі приділяють значну увагу, оскільки місце яке відведене для монтажу електроприводу обмежене. Тому габарити електроприводу відіграють важливу роль в умовах обмеженої ділянки в процесі проектування та розтановки технологічного обладнання.

Для вирішення цієї проблеми проведено модернізацію стрічкового конвеєра шляхом заміни типового електроприводу на мотор барабан, який усуне цей вагомий недолік, та підвище енергоефективність, ККД, продуктивність, забезпече надійність та зручність експлуатації.

Мета роботи. Проведення модернізації традиційних конструкцій електроприводів стрічкового конвеєра на новітні конструкції типу “Мотор барабан” з наведенням математичних розрахунків показників енергоефективності, коефіцієнта корисної дії, продуктивності, коефіцієнта довгострокової експлуатації та обслуговування з наведенням порівняльного аналізу “до” та “після” проведення модернізації.

Основні завдання

1. Проведення модернізації традиційного електроприводу стрічкового конвеєра на мотор барабан з наведенням його конструктивного складу та принципу дії.

2. Визначення показників показників енергоефективності, коефіцієнта корисної дії, продуктивності, надійності, коефіцієнта довгострокової експлуатації та обслуговування мотор барабану.

3. Проведення порівняльного аналізу “до” та “після” проведення модернізації електроприводу стрічкового конвеєра.

Мотор барабан стрічкового конвеєра зображений на рис. 1.

Особливість конструкції даного приводу забезпечують ряд переваг:

- Довгий термін служби;
- Простий монтаж;
- Висока енергоефективність;
- Високий коефіцієнт корисної дії;
- Низька вартість володіння;
- Низький рівень шуму;
- Компактність;
- Підвищений захист від впливу агресивного середовища;
- Низький знос.

При обертанні вала ротора електродвигуна за допомогою шестерні обертові рухи передаються на рухому шестерню. У випадку переміщення рухомої шестерні вправо, вона входить в зчеплення з колесом. При переміщенні рухомої шестерні вліво вона входить в зчеплення з колесом, передаючи обертові рухи вихідної зірочки, яка може використовуватися, наприклад, в якості приводу переміщення конвеєра.

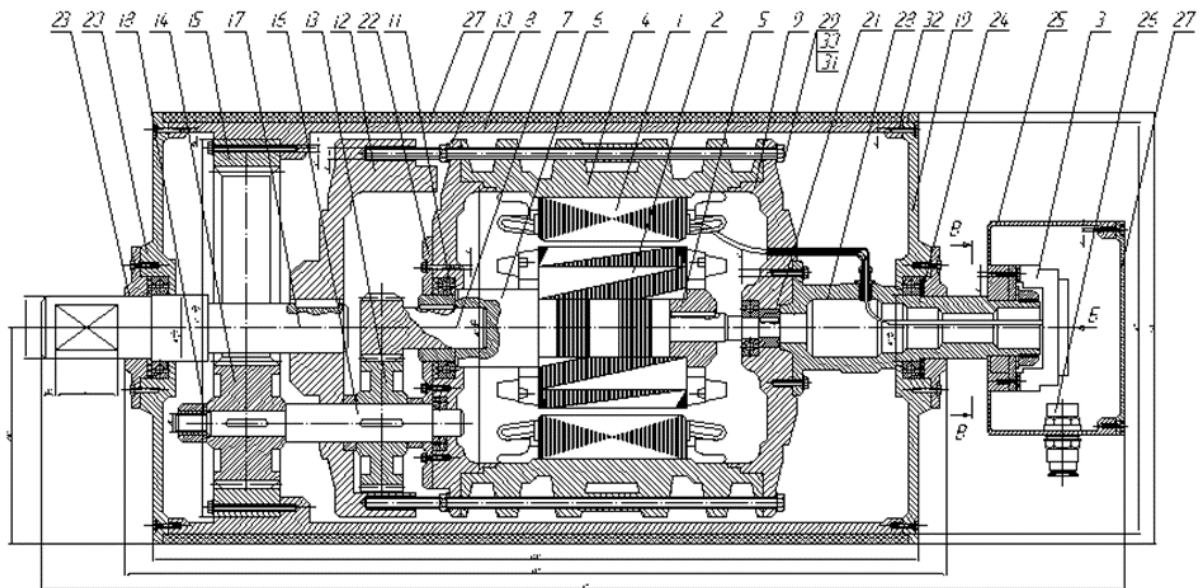


Рисунок 1 – Мотор барабан стрічкового конвеєра.

Конструкція мотор-барабану:

1 – Статор. 2 – Ротор. 3 – Клемний зажим. 4 – Станіна. 5 – Втулка ротора. 6 – Вал ротора. 7 – зубчастий вал. 8 – Корпус барабану. 9 – Передній щит двигуна. 10 – Задній щит двигуна. 11 – Втулка зубчастого валу. 12 – Корпус редуктора. 13 – зубчасте колесо №1. 14 – зубчасте колесо №2. 15 – зубчастий вінець. 16 – Вал редуктора. 17 – Вал барабану. 18 – Фіксатор. 19 – Передній фланець. 20 – Задній фланець. 21 – Передня заглушка двигуна. 22 – Задня заглушка двигуна. 23 – Сальник. 24 – Вал наскрізний. 25 – Клемна коробка. 26 – Кабельний ввід. 27 – Гумова шина барабану. 28 – Підшипник. 29, 30, 31, 32 – Шпилька М16, Гайка М16, Шайба М16, Болт з ровером М16.

Така конструкція мотор-барабану дозволяє використовувати її в якості привода двох виконавчих органів з роздільним їх включенням, наприклад для переміщення конвеєра при нерухомій конвеєрній стрічці

Висновки. Поряд з цим, набуває більшого поширення в промисловості різноманітні конструкції мотор-барабанів. Данні схеми приводу конвеєрів позбавлені вказаних недоліків. Мотор-барабан є альтернативним типом приводу стрічкового конвеєра, відмінним від схеми редукторної. Мотор-барабан є відрізком труби, закритим з обох кінців кришками, всередину якого вміщено електродвигун і редуктор. Сам виріб встановлюється нерухомо на цапфи підшипники, при цьому барабан при подачі на нього живлення обертається в нерухомих цапфах.

Перелік посилань

1. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Східний видавничий дім, 2013. — Т. 3 : С — Я. — 644 с.
2. Городецький В. Г., Надійність елемеханічного обладнання / В. Г. Городецький, С. В. Зайченко – Навчальний посібник. НТУУ “КПІ”, 2010 – 96-100 .
3. Данілін, О. В., Зайченко, С. В., Шевчук, С. П., Жукова, Н. І., & Пасічнюк, І. М. (2020). Визначення впливу зміни проектного положення профілю стрічкового конвеєра на навантаження роликкоопор.

4. Зайченко С. В., Вапнічна В. В. Обґрунтування параметрів конструкції елементів роликів стрічкових конвеєрів. – 2017.

5. Vovk O. O., Zaichenko S. V., Shevchuk N. A. Обґрунтування параметрів конструкції елементів конвеєрних роликів за критеріями довговічності //Вісник Національного технічного університету України" Київський політехнічний інститут". Серія" Гірництво". – 2016. – №. 31. – С. 65-73.

6. Шевчук С. П., Зайченко С. В., Вапничная В. В. Обоснование массогабаритных параметров роликів ленточных конвейеров по критерию надежности //перспективы развития восточного донбасса. – 2016. – С. 221-228.

Науковий керівник проф. Зайченко С.В.

**СЕКЦІЯ 5.
ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ,
ГЕОІНЖЕНЕРІЯ ТА
РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ**

УДК 504.064.38; 504.064.37

Пироженко Євгенія Володимирівна, аспірант,
Сєбко Вадим Вадимович, д.т.н., проф.
кафедри «Хімічна техніка та промислова екологія»
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"
м. Харків, Україна

БАГАТОПАРАМЕТРОВИЙ ІНФОРМАТИВНИЙ МЕТОД СУМІСНИХ ВИМІРЮВАНЬ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗРАЗКІВ СТИЧНИХ ВОД

Анотація. Запропоновано безконтактний трипараметровий електромагнітний метод сумісного визначення питомої електричної провідності χ , відносної електричної проникності ϵ_r та температури t зразка зразка стічних вод пивоварних підприємств. Розглянуто теоретичні положення роботи індуктивного трансформаторного електромагнітного перетворювача (ТЕТП) з пробою стічних вод.. Оскільки урахування впливу вихрових струмів призводить до необхідності визначення трьох параметрів магнітних рідин тільки одним ППЕП, доведена необхідність використання схеми включення індуктивного ТЕТП з пробою стічних вод, схема передбачає нагрівач для імітації виробничих умов пивоварних виробництв. Роботу схеми засновано на тому, що вихрова ЕРС збуджує магнітний потік у зразку досліджуваної рідини, котрий складається геометрично зі збуджуючим магнітним потоком від зовнішнього джерела, створюючи результуючий магнітний потік F_{2t} у досліджуваному зразку, при цьому результуючий магнітний потік зменшується за величиною і зсувається за фазовим кутом по відношенню до збуджуючого магнітного потоку, а все це в свою чергу, призводить до змінення компонентів сигналів ТЕТП.

Ключові слова: стічні води, питомий електричний опір, відносна діелектрична проникність, температура, сумісні вимірювання, трипараметровий метод, функції перетворення.

Abstract. A non - contact three - parameter electromagnetic method of joint determination of specific electrical conductivity χ , relative electrical permeability ϵ_r and temperature t of a ϵ_r sample of wastewater sample of breweries is proposed. The theoretical provisions of the inductive transformer electromagnetic converter (TETC) with wastewater breakdown are considered. Since taking into account the influence of eddy currents leads to the need to determine three parameters of magnetic fluids simulation of production conditions of breweries. The operation of the circuit is based on the fact that the vortex EMF excites the magnetic flux in the sample of the test fluid, which is geometrically composed of the excitation magnetic flux from an external source, creating the resulting magnetic flux F_{2t} in the sample, resulting in the resulting magnetic angle with respect to the exciting magnetic flux, and all this in turn leads to changes in the components of the TETC signals.

Key words: wastewater, electrical resistivity, relative dielectric constant, temperature, compatible measurements, three-parameter method, transformation functions.

Вступ. В Україні до найбільш розвинутих галузей харчової промисловості слід віднести галузі, які пов'язані з виробництвом безалкогольних та слабоалкогольних напоїв, при цьому значних темпів досягає саме продукція пивоваріння. Слід визначити, що важливий практичний інтерес на теперішній час представляють собою методи та засоби вимірювання фізико-хімічних параметрів стічних вод пивоварних виробництв, насамперед задля подальшого вибору перспективного методу очищення. При цьому,

особливу увагу приділяють тим методам та пристроям, за допомогою яких є можливим отримати компоненти вихідного сигналу у вигляді величин (як правило електричних), а також тим засобам, які надають змогу щодо подальшого перетворення сигналів вимірювальних пристроїв у інформативні фізико-хімічні величини, які характеризують стан зразків стічних вод. Основними показниками нормативних документів на стічні води харчових виробництв є питомий електричний опір λ , відносна діелектрична проникність ε_r , температура t і водневий показник pH та характеристики мінералізації ТДС та загальної жорсткості dGH , які з ними корелюють [1]. Зокрема за рахунок використання допоміжних інформаційних методів, приладів та систем вимірювань стає можливим одночасно визначати причини відхилення характеристик стічних вод від нормативних документів і санітарних інструкцій та здійснювати заходи, виконуючі відповідне корегування. При цьому, актуальним є дослідження можливості вимірювань фізико-хімічних параметрів стічних вод харчових виробництв індуктивними трансформаторними електромагнітними перетворювачами (ТЕТП).

Слід зазначити, що на сьогоднішній день теорія роботи багатопараметрових ТЕТП була недостатньо розвинена стосовно контролю фізико-хімічних параметрів рідинних середовищ, у тому числі і до слабких електролітичних рідин (до яких відносять стічні води харчових та переробних виробництв) і незважаючи на те, що деякі з цих методів було описано в наукових статтях, в основному для контролю параметрів магнітних рідин та розчинів кислот, теорія роботи ТЕТП стосовно контролю електролітичних рідин потребує подальшого розвитку. При цьому, великий обсяг вимірювальної інформації стосовно нормативних параметрів стічних вод потребує не збільшення кількості засобів вимірювань, а вдосконалення відповідних засобів вимірювань, які надають змогу отримувати вимірювальну інформацію за рахунок аналізу компонентів сигналів багатопараметрового пристрою, а також здійснювати операції, які пов'язані з обробкою результатів досліджень. У свою чергу, недостатня визначеність теоретичних положень роботи електромагнітних пристроїв та обмеження реалізації методів вимірювального контролю фізико-хімічних параметрів зразків слабких електролітів, обумовлюють необхідність проведення відповідних досліджень задля досягнення високого ступеню очищення зразків пивних стоків та удосконалення комплексних систем очищення.

Таким чином, виникає важлива наукова і практична проблема, яку пов'язано з дослідженнями особливостей застосування теорії роботи ТЕТП стосовно до контролю параметрів зразків стічних вод пивоварних підприємств.

Мета та завдання. Метою роботи є створення багатопараметрового інформативного електромагнітного метода вимірювань фізико-хімічних параметрів зразків пивних стоків.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Дослідити теорію роботи ТЕТП зі зразком стічних вод.
2. Розглянути схему ТЕТП за допомогою якої здійснюється реалізація метода сумісних багатопараметрових вимірювань фізико-хімічних параметрів зразка стічних вод.

Матеріал і результати досліджень. Роботу ППВП, з урахуванням результатів наукових праць [2, 3], можна описати наступною системою рівнянь

$$\begin{aligned} E_2 &= f(\lambda, t, \varepsilon_r) \\ E_\Sigma &= f(\lambda, t, \varepsilon_r) \\ tg\varphi_{01} &= f(\lambda, t, \varepsilon_r) \end{aligned} \quad (1)$$

Цю взаємодію можна представити у вигляді схеми, яка подана на рис. 1. На основі

схемних реалізацій методів електромагнітних вимірювань [2, 3], на рис. 1 надано схему теплового трансформаторного електромагнітного перетворювача (ТЕТП) для сумісного визначення питомої електричної провідності χ_t , відносної діелектричної проникності ϵ_r та температури t зразка стічних вод. Схема містить самопис – С, генератор – Г, частотомір – Ч, робочий перетворювач – РП, опорний перетворювач – ОП, вольтметри – V_1 , V_2 і V_3 , осцилограф – ОС, фазометр – Ф. ОП має ідентичне з РП число витків, довжину l та радіус $a_{оп}$. Збуджуюча котушка призначена для створення електромагнітного поля та внаслідок цього вихрових струмів у зразку рідини (який розташований у скляній пробірці), у свою чергу, вимірювальна котушка призначена для вимірювання ЕРС E_{2t} , яка наводиться магнітним потоком, що проходить безпосередньо у зразку. Для контролю форми намагнічувального струму та напруги джерела змінного струму генератора Г застосовують самопис – С, частоту змінення струму фіксує вимірювач частоти – Ч. За допомогою вимірювача напруги V_2 визначають ЕРС E_{2t} , яка залежить від температури рідини, при цьому одночасно осцилографом ОС визначають форму цієї ж ЕРС. Вимірювач напруги V_2 , свій вихідний сигнал подає на один вхід вимірювача фазового кута зсуву – Ф, опорну ЕРС E_0 вимірюють за допомогою вольтметра V_3 , вхід ОП з'єднується з іншим входом Ф. За допомогою фазометра Ф визначають залежний від температури фазовий кут зсуву φ_{2t} поміж ЕРС E_0 і ЕРС E_{2t} ТЕТП. Задля імітації виробничих умов та підвищення точності вимірювань інформативних параметрів, схема передбачає нагрівання зразка стічних вод в процесі вимірювань за допомогою нагрівача – Н.

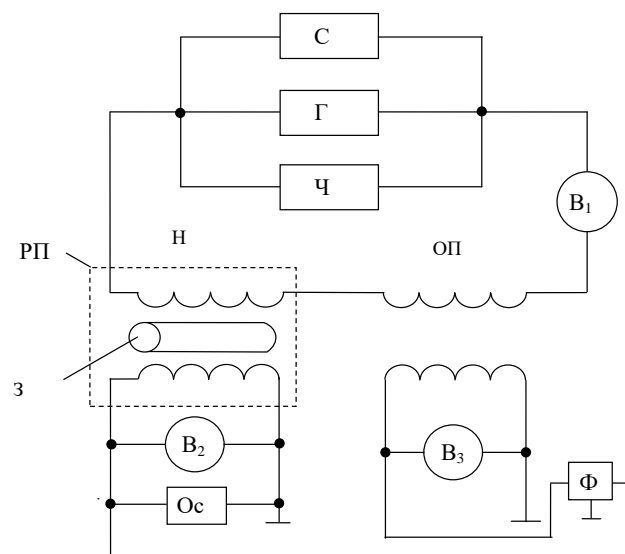


Рис. 2.1 – Схема ТЕТП для сумісних багатопараметрових вимірювань параметрів зразків пивних стоків

Таким чином, за допомогою схеми включення ТЕТП необхідно визначити два магнітні потоки: опорний магнітний потік Φ_0 (при відсутності у перетворювач скляної пробірці) і магнітний потік Φ_2 (при наявності у перетворювачі зразка стічних вод) та фазовий кут φ_2 поміж ними, після цього виділивши частотні, амплітудні та фазові складові компонентів багатопараметрового сигналу ТЕТП, а також після введення нормованих параметрів, які пов'язують компоненти сигналів з фізико-хімічними характеристиками зразка стічних вод, є можливим (при реалізації електромагнітних методів) отримати значення питомої електричної провідності χ_t , відносної діелектричної проникності ϵ_r і температури t зразків стічних вод.

Далі розраховують нормований параметр G , за формулою

$$G = \frac{\Phi_2}{\Phi_0 \cdot \theta}, \quad (1)$$

де Φ_2 і Φ_0 магнітні потоки в досліджуваних зразках стічних вод.

Далі за залежністю G от A знаходять значення A [3]. Знаючи узагальнений параметр A отримаємо вираз для визначення питомого електричного опору λ при конкретних температурах з досліджуваного діапазону, на частоті f електромагнітного поля, у вигляді

$$\lambda_t = \frac{a^2 \mu_0 2\pi f}{A^2}, \quad (2)$$

де a радіус рідини; μ_0 магнітна стала.

Значення відносної діелектричної проникності ε_r знаходять на частоті електромагнітного поля f за формулою

$$\varepsilon_r = \frac{\mu_0 \cdot f^2 \cdot a^2 \cdot \pi}{A^2 \cdot \varepsilon_0 \cdot 10^{-8}}, \quad (3)$$

де ε_0 діелектрична стала.

Після цього знаючи температурний коефіцієнт опору α [3], знаходять температуру зразка стічних вод за формулою

$$t = \frac{1}{\alpha} \cdot \left(\frac{a^2 \cdot \mu_0 \cdot \omega}{A^2 \cdot \lambda_t} - 1 \right) + t_0, \quad (4)$$

де ω циклічна частота

Висновки. Таким чином, знайшла подальший розвиток теорія роботи ТЕТП стосовно сумісного трипараметрового контролю зразків пивних стоків.

Література

1. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Union L 312 (2008) 3-30.
2. Бабак В.П., Маєвський С.М., Щербак Л.М. Основи побудови систем аналізу сигналів у неруйнівному контролі: навч. посіб. Київ: Либідь, 1993. 194 с.
3. Pyrozhenko Ye.V., Sebko V.V., Zdorenko V.G., Zashchepkina N.M., Markina O.M. Informative testing method of beer sewage samples for mini-breweries. Journal of Materials Science and Engineering 1 (106) (2020) P. 28-41.

УДК 502.1

Єзгор А.В., магістрант
кафедра геоінженерії

ОЦІНКА СТАНУ МІСЬКОГО ЗВАЛИЩА ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ НА ПРИКЛАДІ МІСТА ВАРАШ

Анотація. Проаналізовано існуючий стан полігону твердих побутових відходів. Розглянуто методи поводження з твердими побутовими відходами та запропоновано найбільш доцільний метод для міста Вараш, що дозволяє покращити екологічний стан місцевості. Запропоновано метод рекультивзації полігону твердих побутових відходів для подальшого використання в сільському господарстві.

Ключові слова: тверді побутові відходи, полігон, сміттесортувальна лінія, рекультивация.

Abstract. The current state of the solid waste landfill is analyzed. Methods of solid waste management are considered and the best method for the city of Varash is proposed, which allows to improve the ecological condition of the area. A method of reclamation of solid waste landfill for further use in agriculture is proposed.

Key words: solid household waste, landfill, waste sorting line, reclamation.

Вступ. На сьогодні у світі ще досить поширені неперспективні та навіть небезпечні методи поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ). Найчастіше – це країни «третього світу» та країни, що розвиваються. В європейських країнах розроблено чимало планів та застосовуються ряд методів поводження з ТПВ. Ці методи найбільш безпечні та перспективні і їх використання також є доцільним в Україні.

Мета та завдання:

- Проаналізувати стан міського сміттєзвалища в місті Вараш.
- Запропонувати найбільш доцільний метод поводження з ТПВ для міста Вараш;
- Рекомендувати метод рекультивзації полігону ТПВ.

Матеріал і результати досліджень.

Полігон для захоронення ТПВ є об'єктом, що експлуатується з 1992 року. Площа полігону становить 6,445 га. Розрахунковий термін експлуатації полігону – до 2020 року, але експлуатація полігону здійснюється і досі.

Проектна потужність полігону майже вичерпана. Проектом передбачається звільнення частини території полігону від накопиченого масиву ТПВ і переміщення цього масиву на земельну ділянку площею 0,4293 га в межах полігону. Ділянку складування буде виконано котловинного типу. Метод, який приймається для ущільнення відходів при складуванні – ущільнення катком.

Утворений таким чином на полігоні ТПВ простір передбачається використовувати для розміщення відсортованої частини ТПВ.

Також проектом передбачається:

- організація на в'їзді існуючого полігону зважування ТПВ;
- розміщення на вільній частині території полігону станції для сортування ТПВ;
- переміщення частини хаотично розміщених ТПВ на нову відведену ділянку, з пошаровим ущільненням та пересипкою інертним ґрунтом; ділянка заповнюється повністю та закривається з виконанням рекультивзації.

Рекультивация полігону ТПВ

Рекультивация закритих полігонів – складний комплекс робіт, спрямованих на відновлення продуктивності та народногосподарської цінності відновлюваних територій, а також на поліпшення якості довкілля. Рекультивация ТПВ вимагає виконання великого обсягу підготовчих робіт, а саме:

- проведення комплексу екологічних досліджень (гідрогеологічних, геологічних, ґрунтових, дослідження атмосфери, перевірки відходів на радіоактивність тощо);
- вирішення питань з утилізації відходів, консервації фільтрату, влаштування екранів тощо.

Рекультивация проводиться після закінчення стабілізації закритих полігонів - процесу зміцнення звалищного ґрунту, досягнення ним постійного стійкого стану. З огляду на розташування полігону ТПВ подальше використання його пропонується під посів багаторічних трав. Термін процесу стабілізації прийнятий 2 роки.

В кінці процесу стабілізації проводиться завезення ґрунту автомобільним транспортом для засипання і спланування провалів, що утворилися.

Рекультивация полігону виконується в два етапи: технічний і біологічний. Технічний етап рекультивации включає дослідження стану звалищного тіла і його впливу на навколишнє природне середовище, підготовку території полігону (звалища) до подальшого цільового використання. До цього відносяться: отримання вичерпних даних щодо геологічних, гідрогеологічних, геофізичних, ландшафтно-геохімічних, газохімічних та інших умов ділянки розміщення полігона (звалища), створення рекультивацийного багатофункціонального покриття, планування, формування укосів, розробка, транспортування і нанесення технологічних шарів із потенційно-родючих ґрунтів, будівництво доріг, гідротехнічних та інших споруд.

Для вироблення рішень щодо виключення впливу газохімічного забруднення атмосфери визначають склад і властивості утворюваного біогазу, вмісту органіки, вологість та інші дані.

З урахуванням отриманих даних і аналізу кліматичних, геологічних умов розташування полігону складається прогноз і вибирається метод дегазації та конструкція рекультивацийного покриття полігону.

Через 4 роки після посіву трав територія, що рекультивується, передається відповідному відомству для здійснення сільськогосподарського цільового використання земель.

Таким чином, при дотриманні передбачених заходів вплив планованої діяльності на геологічне середовище та ґрунти оцінюється як допустимий.

Тепер на території полігону ТПВ можна встановити сміттесортувальну лінію. Нова сміттесортувальна лінія організована на базі колишньої станції навантаження сміття. Відтак, привезені відходи скидають у систему сепаратора, що допомагає розірвати сміттєві мішки та відсіяти дрібну фракцію. Звідти крупна фракція надходить на лінію сортувальника, її вручну відсортовує персонал.

Відсортовану вторсировину можна продавати на спеціальні заводи з переробки, це пластик, скло, папір, поліетилен, батарейки, дерево тощо. В подальшому, в місті Вараш на місці полігону ТПВ можна збудувати сміттєспалювальний завод для сміття, яке не перероблюється, та органічні відходи, на якому вироблятиметься електрична та теплова енергії та біогаз [2-3].

Висновки. Проаналізовано та оцінено нинішній стан полігону ТПВ міста Вараш. Даний полігон переповнений і потребує рекультивации.

Запропоновано метод рекультивации міського полігону ТПВ, що дасть змогу використати рекультивовану територію для засівання багаторічними травами, а в подальшому через 4 роки після посіву трав територію, що рекультивується, передати

відповідному відомству для здійснення сільськогосподарського цільового використання земель.

Окрім того запропоновано метод поводження з ТПВ для міста Вараш. На даному етапі розвитку міста найдоцільнішим буде запровадження сміттесортувальної лінії, а в майбутньому можливо побудувати сміттєспалювальний завод.

Дані методи вирішення питань стосовно полігонів ТПВ можуть бути застосовані на полігонах в Україні, яких на даний час є більше 5000.

Список використаних джерел:

1. Рекультивация полігону ТПВ [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://center-ltd.com.ua/proektuvannya-poligoniv-tpv-ta-rekultyvatsiya-smittyezvalyssh-hudobomogylnykyv/>
2. Рекультивация полігону [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://solvetpv.lviv.ua/rekultyvatsiya/>
3. Сміттєсортувальне обладнання [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.reline.com.ua/rishennya/smittyesortuvalne-obladnannya/>.

Керівник доц., к.т.н. Жукова Н.І.

УДК 656

Хомяк І.В., магістрант
кафедра геоінженерії**МІНІМІЗАЦІЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ
НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ ВПРОВАДЖЕННЯМ
СИСТЕМ SMART TRAFFIC CONTROL ДЛЯ УПРАВЛІННЯ
ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ**

Анотація. Проаналізовано існуючу проблему дорожнього руху, а саме – утворення заторів, причини та наслідки. Також запропоновано сучасні системи по моніторингу руху транспорту на регульованому перехресті з використанням систем датчиків, які повинні регулювати світлофори, створюючи сприятливі умови для усунення заторів.

Ключові слова: дорожній рух, датчики, автомобілі, smart світлофори, регулювання автомобільного руху.

Abstract. The existing problem of traffic is analyzed, namely – the formation of congestion, causes and consequences. Also, modern systems for monitoring traffic at a controlled intersection with the use of sensor systems that should regulate traffic lights, creating favorable conditions for the elimination of congestion.

Key words: traffic, sensors, cars, smart traffic lights, traffic control.

Вступ.

Проблема заторів на дорогах – явище, яке впливає на транспортну систему всієї країни і викликає багато проблем, особливо у великих містах, коли на регульованих світлофорами перехрестях створюються аварійні ситуації або спостерігається перенасиченість автотранспортними засобами (АТЗ). Отже, запропоновані та розроблені у роботах [1–4] системи «розумного» контролю за світлофорами призначені для вирішення саме таких проблем. Управління рухом передбачає низку правил та інструкцій, яких повинні дотримуватись водії, щоб уникати зіткнень та інших небезпечних ситуацій на дорогах. У свою чергу, водії, завдяки впровадженню подібних інноваційних рішень щодо управління дорожнім рухом, зможуть безпечно діставатися пунктів призначення.

Мета та завдання

- дослідити проблему заторів на дорогах;
- дослідити нові підходи в регулюванні трафіку на автомобільних дорогах;
- розглянуто систему датчиків на перехрестях, які фіксують трафік і керують світлофорами.

Матеріал і результати досліджень

Зазвичай засоби управління рухом на дорогах включають знаки, сигнальні вогні, дорожню розмітку, а також пристрої, розміщені на, над і під проїжджою частиною. Світлофор – найбільш відомий і поширений пристрій управління рухом. Зокрема, на жвавому перехресті у великому місті сигнал світлофора може контролювати рух понад 100 000 автомобілів на день і значно збільшити його пропускну здатність [1]. Саме тому необхідно розробляти і впроваджувати у населених пунктах «розумні» системи управління рухом автотранспортних потоків (системи Smart Traffic Control).

Звичайні системи управління рухом працюють на основі розподілу часу, де кожному напрямку відводиться певний інтервал часу. Тобто структура увімкнення і вимкнення світлофора змінюється схемою регулювання таким чином, що фактичного аналізу дорожньої ситуації не відбувається. Інтелектуальна система управління потоком

заснована на фіксації та визначенні інтенсивності автотранспортного руху, що переважає в певному напрямку. І оскільки між зовнішнім середовищем і системою мікроконтролера є тісний взаємозв'язок, система не тільки здатна визначати інтенсивність руху автотранспортного потоку, а й обирати та налаштовувати ті операції, які необхідно виконати у заданій ситуації.

Встановлені на землі лазерні датчики надають інформацію про інтенсивність руху, коли автомобілі проїжджають через них. Далі за допомогою мікроконтролера встановлюються смуги, на яких активовано найбільшу кількість датчиків, після чого на цю смугу відводиться більше часу. Тобто вживаються заходи для того, щоб більше часу виділялося саме найбільш завантаженому напрямку [1]. Розглянемо роботу інтелектуальної системи управління дорожнім рухом на прикладі перехрестя з 4-ма односпрямованими дорогами у вигляді «+» (рис. 1). Досліджуване перехрестя обладнано двома світлофорами трьох кольорів, які позначені А і В та «пов'язані» з автотранспортним потоком на дорогах 1 і 2. Два світлофора з двома кольорами, які позначені R і L, «відповідають» за поворот ліворуч і праворуч. Також на дорогах 1 і 2 встановлено IR-датчики, які складаються з передавача і приймача.

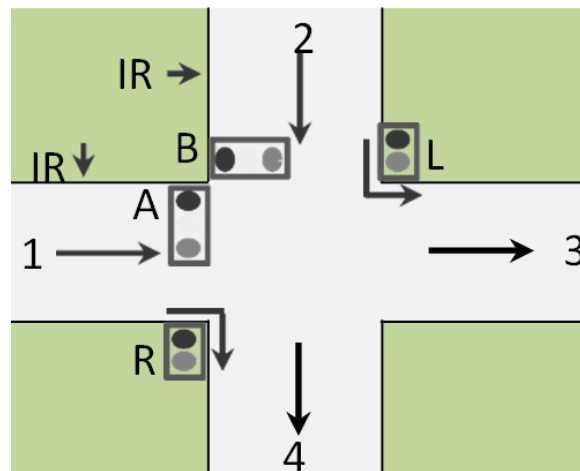


Рисунок 1 – Перетин 4-х односпрямованих доріг у вигляді «+» [1]

Як зазначалось, основною проблемою звичайних світлофорів є те, що часові інтервали зміни кольору фіксовані у кодї. Отже, така система не може вирішити ситуацію завантаженості однієї зі смуг, наприклад, коли це відбувається вранці чи ввечері. Саме з цієї причини активація зеленого світла на світлофорі у час пік повинна бути розумно регульованою. Отже, IR-датчики, встановлені по обидва боки дороги, використовуються для виявлення інтенсивності руху АТЗ; IR-передавач постійно і регулярно генерує сигнал 38 кГц, а IR-приймач, підключений до головного контролера інтенсивності потоку, приймає сигнал, залишаючись неактивним. Коли автомобіль перетинає дорогу між IR-передавачем та IR-приймачем, IR-випромінювання відбивається, і система активується. Процес активації аналізується головним контролером дорожнього руху з налаштованим лічильником щільності транспортного потоку і подає дані на мікроконтролер, після чого відбувається зміна (якщо потрібно) роботи системи [1].

У нормальному режимі роботи світлофор виділяє по 30 с на зелене або червоне світло і 5 с на жовте. Якщо, наприклад, після першого циклу зміни всіх кольорів світлофорів А і В на дорозі 1 IR-датчики зафіксували більший потік, ніж на дорозі 2, то за наступного циклу на дорогу 1 система надасть вже не 30 с, а 50 с, а автомобілістам, які рухаються дорогою 2, тільки 15 с. І це дасть змогу уникнути утворення заторів та

розумно врахувати навантаження на перехрестя. Аналогічно інтерактивна функція в системі допомагає водіям, які наближаються до перехрестя, отримувати повідомлення про поточну транспортну ситуацію, а також сповіщає водіїв про наявність та стан регульованого перехрестя [2].

Висновки

Отже, впровадження «розумної» керуючої системи надає змогу заощадити час водіїв і пішоходів, економити паливе та запобігати надмірному забрудненню атмосферного повітря поблизу автодоріг і перехресть. Окрім того, розглянута інтелектуальна система націлена на попередження дорожньо-транспортних пригод та регулювання руху автотранспортних засобів спеціального призначення (автомобілів швидкої допомоги, пожежних тощо).

Список використаних джерел:

1. Kavya, G. Density based intelligent traffic signal system using PIC microcontroller / G. Kavya, B. Saranya // International Journal of Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET). – 2015. – vol. 3. – Issue I. – P. 205–209.
2. Kham, N. Implementation of Modem Traffic Light Control System / N. Kham, C. Nwe // International Journal of Scientific and Research Publications. – 2014. – vol. 4. – Issue 6. – P. 1–6.
3. Smart traffic light control system / B. Ghazal, K. ElKhatib, K. Chahine, M. Kherfan. // 2016 Third International Conference on Electrical, Electronics, Computer Engineering and their Applications (EECEA). – 2016. – С. 140–145; doi: 10.1109/EECEA.2016.7470780
4. Smart traffic control system using PLC and SCADA / [M. Srivastava, Prerna, S. Sachin та ін.]. // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. – 2012. – №1. – С. 169–172.

Керівник доц., к.т.н. Жукова Н.І.