



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Навчально-науковий інститут
енергозбереження та енергоменеджменту



**МАТЕРІАЛИ
IV НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
МАГІСТРАНТІВ**

(за результатами дисертаційних досліджень магістрантів)

**ПРИСВЯЧЕНОЇ 75 – РІЧЧЮ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВОГО ІНСТИТУТУ
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ**

17 – 18 листопада 2021 р.

(ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ)

**КИЇВ
2021**

IV науково-технічна конференція магістрантів НН ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів). Зб. наукових праць НН ІЕЕ, КПІ імені Ігоря Сікорського – Київ: НН ІЕЕ, 2021. – 241с.

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

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

Організаційний комітет:

Голова комітету – Денисюк С.П., д-р техн. наук, професор, директор НН ІЕЕ.

Заступник голови – Дичко А.О., д-р техн. наук, професор, заст. директора НН ІЕЕ з наукової роботи.

Члени оргкомітету:

Білоус І.Ю. – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри теплотехніки та енергозбереження;

Буяк Н.А. – канд. техн. наук, асистент кафедри теплотехніки та енергозбереження;

Вапнічна В.В. – канд. техн. наук, доцент кафедри геоінженерії;

Вовк О.О. – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри геоінженерії;

Дерев'янку Д.Г. – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри електропостачання;

Зайченко С.В. – д-р техн. наук, професор кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів;

Закладний О.О. – канд. техн. наук, доцент кафедри електропостачання;

Розен В.П. – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів;

Чернецька Ю.В. – канд. техн. наук, старший викладач кафедри електропостачання, заступник директора НН ІЕЕ з міжнародного співробітництва.

Адреса організаційного комітету:

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

Навчально науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Укладання збірника наукових праць: Закладний О.О.

Матеріали подані у авторській редакції.

Відповідальність за зміст і достовірність даних несуть автори тез.

ЗМІСТ

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

Економічні методи стимулювання керування попитом в рамках концепції V2G. <i>Фроленков К.Д.</i>	7
Підвищення надійності електропостачання систем освітлення з використанням смарт технологій в парковій зоні та зон відпочинку на прикладі дендропарку. <i>Копчиков О.М., Бікеев Д.О.</i>	18
Штучні нейронні мережі - основні функції та застосування на практиці. <i>Панадій М.В.</i>	28
Аналіз функції енергетичної оцінки проекту у програмі архітектурно-будівельного проектування ArchiCAD. <i>Гілевич К.М., Луцик Т.М, Оніщенко Ю.Є.</i>	40
Особливості відбору чинників, що впливають на використання енергоресурсів промислового підприємства для побудови базового рівня енергоспоживання. <i>Вишневська О.В.</i>	44
Особливості використання джерел відновлюваної енергії на промислових підприємствах. <i>Запорожченко М.А.</i>	47
Особливості використання гібридних систем електропостачання побутового сектору. <i>Усенко А.О.</i>	51
Дослідження інтергармоніки на основі застосування пакетного вейвлет-перетворення. <i>Савіцький Д.О.</i>	54
Багаторівнева системи енергетичного моніторингу як інформаційний засіб системи енергетичного менеджменту птахофабрики. <i>Андрійчук А. А.</i>	59

СЕКЦІЯ 2. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА ІНЖИНІРИНГ

Вплив систем накопичення енергії в житловому секторі на балансування навантаження теплозабезпечення. <i>Демченко В.В.</i>	64
Особливості споживання енергії навчального корпусу в умовах карантинних обмежень. <i>Нестерець М.В.</i>	69

Заходи з енергозбереження великої виставкової зали державного політехнічного музею. <i>Ряго В.В.</i>	82
Потенціал енергозбереження та оцінка енергетичних характеристик будівлі навчального корпусу №5. <i>Ващишин Р.Л.</i>	89
Енергетична та ексергетична ефективність будівлі житлового призначення. Енергетичне моделювання житлового будинку. <i>Петренко Л. М.</i>	96
Енергоефективність системи «джерело теплоти – людина – огорожувальні конструкції» на прикладі житлової будівлі. <i>Лукашенко Є.О.</i>	105
СЕКЦІЯ 3. ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ	
Дослідження методів керування поточозчепленням ротора у векторно-керованих приводах з асинхронним двигуном. <i>Кучерявий А.В.</i>	113
Особливості розрахунку ліфтової підйомної установки адміністративної будівлі. <i>Караульний К.Т.</i>	117
Автоматизована мікропроцесорна система керування роботою теплової завіси. <i>Луняка В.В.</i>	126
Програмне керування електроприводом переміщення механізму різку гофрованого картону з використанням мови орієнтованого програмування C++. <i>Дженчако Д. К.</i>	129
Оцінка ефективності сонячної електростанції з використанням трекера управління. <i>Барсукова К.І.</i>	133
Автоматизована система керування магістрального конвеєра поверхневого комплексу вугільної шахти. <i>Возний І.О.</i>	141
Оптимізація динамічних режимів ліфтової установки. <i>Литвин А. Г.</i>	146
Оптимізація системи вентиляції літака. <i>Виваль П. В.</i>	150

**Інтелектуальна автоматизована система водовідливу для геотехнічних підприємств.
Харкевич Р.В.154**

**Розрахунок необхідної ємності і потужності акумуляторної батареї для транспортного засібу.
Ганжа В.С.158**

СЕКЦІЯ 4. МЕХАТРОНІКА ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ

**Динамічний гасник коливань гідромолота з мехатронним керуванням.
Ярошинський Е.Б.163**

**Імпульсно-вихровий струминний насос підвищеної продуктивності.
Чайка А. О.167**

**Вібраційно-струминний пристрій активізації видобутку вуглеводнів.
Попков А. А.170**

**Інтенсифікація адаптивного амортизатора ударно-хвильових навантажень ходової частини транспортного засобу.
Новиков А. О.174**

**Депресивний генератор імпульсної дії на колектор нафтової свердловини.
Будовський І. О.179**

**Розробка струминного дворезимного насосу для відновлення продуктивності нафтової свердловини.
Котомова Р. І.182**

СЕКЦІЯ 5. ПРОБЛЕМИ ВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН. ГЕОТЕХНІЧНЕ І МІСЬКЕ ПІДЗЕМНЕ БУДІВНИЦТВО. ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ.

**Принципи трансформації вугільних регіонів на прикладі Львівсько–Волинського басейну.
Харченко Р. Ф.186**

**Технологічні аспекти при спорудженні демонтажно-щитової камери в існуючому стволі.
Вислоух О.С.193**

**Усунення аварійної ситуації при зміні геологічних умов під час мікротунелювання.
Гончаренко С. І.198**

**Огороджувальні конструкції котлованів та методи будівництва підземних споруд.
Лісовський О.201**

Умови та чинники розвитку зсувних процесів.	
<i>Сердюк Ю. М.</i>	212
Обґрунтування конструкції кріплення ствола колектора.	
<i>Євтушенко І. М.</i>	215
Сучасний спрощений спосіб футерування.	
<i>Балковий Р. І.</i>	223
Сучасне будівництво метро тунелів.	
<i>Самусь О.С.</i>	226
Порівняння та чисельний аналіз впливу зміни плитного фундаменту глибокого закладання на плитно-пальовий фундамент.	
<i>Полякова Я.Р.</i>	230
Конструктивні та технологічні рішення щодо реконструкції каналізаційних тунелів із використанням елементів із вторинних полімерних композитних матеріалів.	
<i>Андрійчук Д. І.</i>	235

СЕКЦІЯ 1.

СТАЛИЙ РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ. СУЧАСНІ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ЕНЕРГІЄЮ

УДК 621.3

Фроленков К.Д., студент 2-го курсу магістратури,
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЕКОНОМІЧНІ МЕТОДИ СТИМУЛЮВАННЯ КЕРУВАННЯ ПОПИТОМ В РАМКАХ КОНЦЕПЦІЇ V2G

Анотація: Концепція V2G передбачає використання ресурсу акумуляторів електромобілів для балансування ринку електричної енергії, стабілізуючи нерівномірність виробництва електроенергії з ВДЕ, покращуючи таким чином їх інтеграцію до електричної мережі. У статті розглянуто ринок електромобілів в Україні, графік поїздок водіїв електромобілів протягом дня, використання електромобіля в якості споживача/регулятора електричної енергії.

Ключові слова: розумні системи обліку електроенергії, *Vehicle-to-grid*, відновлювальні джерела енергії, електромобіль.

Abstract: *The V2G concept envisages the use of the battery life of electric vehicles to balance the electricity market, stabilizing the frequency of electricity production from RES, thus improving their integration into the electricity grid. The article considers the market of electric cars in Ukraine, the schedule of trips of drivers of electric cars during the day, the use of electric cars as a consumer / regulator of electricity.*

Key words: smart metering system, vehicle-to-grid, renewable energy sources, electric car.

Вступ

Для реалізації концепції V2G в Україні в першу чергу потрібно стимулювати власників електромобілів, щоб вони незважаючи на ризики негативних наслідків, які можуть виникнути за частого розряджання/заряджання акумулятора електромобіля, «допомогали» б енергосистемі шляхом приєднання свого авто до електромережі. Щоб їх стимулювати, потрібно передбачити ймовірні сценарії розвитку подій, щоб ця концепція була вигідна як власникам електромобілів, так і енергосистемі.

Мета та завдання

Метою статті є визначення економічної доцільності використання електромобіля для узгодження попиту і пропозиції в електроенергетичній системі та методів стимулювання керування попитом в рамках концепції V2G.

Задля досягнення поставленої мети в статті стисло розглянуто сучасний стан ринку електромобілів в Україні, графіки поїздок власників електромобілів протягом дня. Також було проведено оцінку економічної спроможності використання електромобіля у якості споживача/регулятора електричної енергії.

Матеріал і результати досліджень

1. Аналіз ринку електромобілів в Україні

На початку 2011 року виробництвом і розвитком електромобілів займались чотири компанії: Tesla, Nissan, Renault, Mitsubishi. На сьогоднішній день в цій сфері залучено вже більше двадцяти крупних компаній, включаючи компанії, які тільки починають розвиватись у цій сфері, і крупні ІТ-гіганти такі як Google, яка представляє свої розробки безпілотного електромобіля. [1]

В Україні останні роки ринок електромобілів зростає і показує позитивну динаміку росту. Розвиток ринку відбувається не лише завдяки кількості електромобілів/гібридних авто, а й інфраструктури (відкриття нових зарядних станцій, станцій технічного обслуговування для електрокарів/гібридів). Найбільші темпи росту показують великі міста України, такі як: Київ, Харків, Львів, Одеса.

Сьогодні в Україні налічується майже 11,5 мільйонів транспортних засобів (31817 – електрокари, 29198 – гібридні авто і майже 11 млн. – автомобілі з ДВЗ) частка електромобілів в Україні складає близько 0,25% від всіх автомобілів в країні. [2]

З 2014 року в Україні зростає кількість зарядних станцій для електромобілів, динаміка зростання на рівні передових європейській країн. В Україні в 2014 році нараховувалось 35 зарядних станцій всіх типів, а за 5 років кількість зарядних станцій збільшилась майже в 60 разів. Інфраструктура зарядних станцій зосереджена у великих містах, а між містами на міжміських маршрутах кількість зарядних пунктів обмежена. Тому на даний момент електрокари в більшості випадків використовуються для пересування в межах міста. На міжміських маршрутах, на АЗС і в магазинах уздовж великих трас, у кафе є звичайні розетки, але час підзарядки буде складати до 10 годин.

Велика кількість електрокарів з різними параметрами (швидкість, потужність, запас ходу) дозволяє вибрати модель електромобіля без проблем в економічному плані. Ціни на електромобілі коливаються в районі 10000\$-25000\$, не кажучи вже про вторинний ринок автомобілів (електромобілів), де машину можна купити за ціною в два-три рази нижчою, ніж брати її з салону.

На сьогодні в Україні слід приділити увагу розвитку технологій (Smart Grid), для реалізації якої необхідно удосконалити ряд позицій, починаючи з магістральних мереж державного рівня, закінчуючи системами електропостачання домогосподарств. В Об'єднаній енергетичній системі (ОЕС) України зберігається негативна тенденція щодо значної нерівномірності добового графіка споживання електричної енергії. Конфігурація добового графіка електроспоживання в цілому по Україні характеризується піком навантаження в години вечірнього максимуму ОЕС України, провалом навантаження в години нічної зони доби та майже рівномірним споживанням електричної енергії протягом годин ранкового максимуму та напівпікової зони. При цьому нерівномірність добового графіка навантаження ОЕС України становить від 4500 МВт у літній період до 6500 МВт у зимовий. [4]

Система тарифів, диференційованих за періодами часу, – економічний метод управління в ринкових умовах, при регулюванні добового графіку навантаження. Застосування такого методу забезпечується за умови використання деяких можливостей споживачів щодо зниження споживаної потужності. Використання споживачів-регуляторів на основі електромобілів для регулювання навантаження дозволить значно пом'якшити негативні наслідки проблеми нерівномірності графіків електричного навантаження енергосистеми України.

Одним з основних напрямів розвитку транспортних засобів на сьогоднішній день є поступова заміна транспорту, що використовує двигуни внутрішнього згоряння, на електромобілі з метою зменшення викидів CO₂. В багатьох європейських країнах прийняті законодавчі акти, які сприяють розповсюдженню електротранспорту і містять основні вимоги й умови реалізації масштабної програми розвитку електромобілітету. Збільшення кількості електричних транспортних засобів робить їх важливою складовою системи електропостачання як на регіональному рівні, так і на рівні всієї країни. Розвиток електричних мереж з електромобілями, розробка і використання технологій Smart Grid для них здійснюється з урахуванням додаткових вимог і обмежень відносно режимів заряду тягових батарей автомобілів з метою забезпечення їх ефективної інтеграції у гібридну систему електропостачання [5, 6].

Достатня кількість електричних транспортних засобів, працюючих паралельно в режимі регулювання навантаження, схожа по режиму роботи й дії на мережу гідроакumuлюючим електростанціям. Тому забезпечення такого режиму забезпечує переваги для джерела живлення, включаючи зменшення викидів CO₂ [7].

Для впровадження такого підходу використання електромобілів необхідно: проаналізувати графіки навантажень енергосистеми України для оцінки доцільності регулювання навантажень за допомогою тягових акумуляторів електротранспорту, оцінити економічну привабливість регулювання з погляду власників електромобілів, розробити технічні засоби для передачі електроенергії в мережу, її обліку і програмне забезпечення для управління процесами заряджання-розряджання, розробити топологію електричної мережі V2G і визначити її можливі зміни.

Для оцінки очікуваного технічного впливу електромобілів у якості споживачів-регуляторів у міських (приміських) електричних мережах слід проаналізувати реальний графік навантаження енергомережі споживачів комунально-побутового сектору, режими роботи основного електроустаткування, що дозволить адекватно оцінити прогнозовані переваги та недоліки при впровадженні технології V2G. [8, 9].

На сьогодні спостерігається зростання попиту на електромобілі, проте відсутні економічні та правові стимулювання використання батарей у якості джерела генерації, до того ж не затверджена на законодавчому рівні технологія V2G, відсутні технічні вимоги до відповідних зарядних станцій, а мережа стандартних зарядних станцій є недостатньо розвиненою. Громадські станції заряджання-розряджання електромобілів актуальні у випадку використання автомобіля за своїм прямим призначенням – транспортування власника до місця роботи і повернення додому та заряджання-розряджання батареї у період щодобового проміжку часу між експлуатацією.

2. Динамічне ціноутворення

Головна проблема імплементації V2G в Україні – відсутність динамічного ціноутворення. Динамічне ціноутворення – це спосіб виставлення рахунків споживачеві, в яких ціна на електроенергію змінюватиметься залежно від кон'юнктури ринку та інших тенденцій. Сьогодні споживачі мають фіксовані тарифи на електроенергію. Крім різниці між денним та нічним періодом не існує грошових стимулів для клієнтів переносити їхнє споживання. В рамках реалізації концепції Smart Grid можна представити більш динамічний спосіб ціноутворення. Ціни на енергоносії можуть змінюватися щогодини, а розумні лічильники може бути проінформовано про поточні та майбутні ціни. Технології Smart Grid

роблять можливим динамічне ціноутворення. Оскільки ціна на енергію може стати важливим стимулом для зниження пікового енергоспоживання.

Якщо всі користувачі приймуть рішення використати велику кількість енергії о 9 годині, постачальник електроенергії повинен буде використовувати дорогі пікові установки для забезпечення попиту. Ця висока вартість виробництва матиме вплив на ціну на електроенергію о 9 годині. Лінійне збільшення кількості використаної електроенергії (наприклад, + 5%) спричинить більш ніж лінійне збільшення ціни на електроенергію (наприклад, + 25%) [10].

Коли значна частина енергопостачання буде надходити від електромобілів та ВДЕ, функція ціноутворення стане складнішою. Вітер і сонячна енергія не можуть бути сплановані. Однак це можна прогнозувати на кілька днів, виходячи з моделей погоди. В часи, коли велика кількість поновлюваних джерел енергії буде доступною, буде добре мати більші електронавантаження, тому ціна за одиницю в такому випадку не обов'язково збільшиться, якщо загальна навантаження зростатиме. Завдяки системі динамічного ціноутворення власники електромобілів можуть продавати та закуповувати електроенергію за вигідними цінами. В часи максимального навантаження ціна на електроенергію буде зростати. Якщо електромобілі, які будуть приєднуватись до мережі, почнуть віддавати деяку частину своєї енергії в мережу, стимулюючись тим, що цю електроенергію вони будуть продавати постачальнику, тобто отримувати за неї кошти, постачальник електроенергії простіше впорається із зростанням графіку навантаження і завдяки динамічному ціноутворенню, ціна на електроенергію стане нижчою для звичайних споживачів. Аналогічно, в часи мінімального навантаження, коли власник електромобіля буде ставити свій електромобіль на зарядку, він буде сплачувати меншу ціну.

3. Графік поїздок

Електромобілі потребують більше часу на зарядку своєї батареї ніж автомобілі з ДВЗ на заправку. Якщо власник автомобіля з ДВЗ на заправку витрачає приблизно 5-10 хв., то власнику електромобіля на це необхідно від 30 хв. (якщо це швидка зарядка) до 8-10 годин, в залежності від ємності батареї. Тому необхідно розвивати інфраструктури зарядних станцій, створюючи їх в достатній кількості, з необхідної для підключення кількістю точок підключення та з необхідною потужністю.

Не всі електромобілі потребують швидкого заряджання. Значна кількість електромобілів перебуває на паркувальних майданчиках з досить великим запасом енергії в батареях. Беручи до уваги тенденції в розвитку енергетики, а саме покриття пікових навантажень. Системи накопичення і зберігання енергії в електромобілях є одним із способів розв'язання цієї проблеми.

Сукупний графік електричного навантаження енергосистеми України (та інших країн) формується всіма споживачами електричної енергії, серед яких слід виділити промислові підприємства та громадсько-побутові об'єкти. За різними оцінками електроспоживання громадсько-побутових споживачів у відсотковому вираженні складає 30-40 % від загальнодержавного. Тобто, такі споживачі як населення мають значний вплив на показники графік електричного навантаження енергосистеми [11, 12].

На сьогодні адресним стимулом до регулювання режимів електроспоживання як для промислових підприємств (юридичних осіб), так і для населення є диференційовані (зонні) тарифи на електричну енергію. [13]

Юридичні особи. Доцільність розгляду системи тарифікації для цієї групи споживачів підкреслюється тим, що при реалізації підходу щодо розміщення станцій громадського користування, на відміну від приватних, організація-утримувач буде відноситись до категорії споживачів – юридичні особи і матиме відповідні рівні тарифів і часові зони. Окрім заряджання електромобілів, у певних випадках з'являтиметься сенс їх раціонального розряду із забезпеченням технології V2G. [13]

Ставка тарифу для кожного періоду часу визначається шляхом множення встановленого роздрібного тарифу для споживачів відповідного класу на тарифний коефіцієнт. Для визначення рівня ставок тарифів, диференційованих за періодами часу, для кожного періоду (нічний, денний, напівпіковий, піковий) та всіх сезонів устанавлюються такі тарифні коефіцієнти та тривалість періодів (табл. 1):

Таблиця 1 – Для визначення рівня ставок тарифів, диференційованих за періодами часу, для кожного періоду (нічний, денний, напівпіковий, піковий) та всіх сезонів устанавлюються такі тарифні коефіцієнти та тривалість періодів: [13]

Період часу	нічний	денний	напівпік	піковий
Двонічні тарифи, диференційовані за періодами часу				
Тарифні коефіцієнти	0,35	1,35	-	-
Тривалість періоду, год	8	16	-	-
Тризонні тарифи, диференційовані за періодами часу				
Тарифні коефіцієнти	0,25	-	1,02	1,35
Тривалість періоду, год	7	-	11	6

Тризонні тарифи. Ефект від їх застосування спостерігається для підприємств, які мають цілодобовий режим роботи і максимально зміщують основні енерговитратні технологічні операції в зону нічного провалу навантаження енергосистеми, а у період пікових навантажень суттєво знижують електроспоживання. Це дозволяє зменшувати плату підприємства за електричну енергію, оскільки у період «нічного провалу» при застосуванні, наприклад, тризонного обліку для підприємств вартість електричної енергії є в 4 рази нижчою від середнього тарифу для відповідного класу напруги. Такий підхід доцільно розглядати і для підприємства – групової зарядної станції-регулятора. [14]

Режим, що має бути розглянутий та економічно обґрунтований у разі використання електромобіля у якості споживача-регулятора за часом орієнтовно можна розподілити наступним чином (табл. 2):

Таблиця 2 – Використання електромобіля на станціях-стоянках групового заряду/розряду

7:00 – 8:00	одногодинне пересування зі швидкістю 40 км/год
Ранковий пік навантажень	2-3-годинний рівномірний розряд тягової батареї
Денний напівпік	7-годинний рівномірний повний заряд тягової батареї
17:00 – 18:00	одногодинне пересування зі швидкістю 40 км/год
Вечірній пік навантажень	3-4-годинний рівномірний розряд тягової батареї
Нічний провал	7-годинний рівномірний повний заряд тягової батареї

Побутові споживачі. На сьогодні для побутових споживачів застосовується тариф, диференційований за двома обсягами електроспоживання (0,9 грн/кВт год – за перші 100 кВт·год спожитої електроенергії, 1,68 грн/кВт·год – за обсяг, що перевищує 100 кВт·год). Диференціація за зонами доби також існує аналогічно юридичним особам (двизонний та тризонний облік), проте є різниця у тарифних коефіцієнтах, тривалості зон та їх границь у розрізі доби. [14] Розподіл зон по годинам та коефіцієнти до діючого тарифу наведений у табл. 3,4.

Таблиця 3 – Дані про границі тарифних зон і коефіцієнти диференційованих тарифів для населення [14]

Зони доби	Години	Коефіцієнт
Двизонний прилад обліку		
- нічна	з 23:00 до 7:00	0,5
- денна	з 7:00 до 23:00	1,0
Тризонний прилад обліку		
- нічна	з 23:00 до 7:00	0,4
- напівпікова	з 7:00 до 8:00; з 11:00 до 20:00; з 22:00 до 23:00	1,0
- пікова	з 8:00 до 11:00; з 20:00 до 22:00	1,5

Таблиця 4 – Вихідний день без використання автомобіля (побутовий споживач)

Ранковий пік навантажень	3-годинний рівномірний розряд тягової батареї
Денний напівпік	7-годинний рівномірний повний заряд тягової батареї
Вечірній пік навантажень	2-годинний (незалежно від сезону) рівномірний розряд тягової батареї
Нічний провал	7-годинний рівномірний повний заряд тягової батареї

Для режиму комбінованого використання електромобіля буде відповідно застосовуватись різний тариф на споживання-генерацію. Робочий час власника авто – як для юридичних осіб; неробочий час власника – як для населення. (табл. 5).

Таблиця 5 – Комбіноване використання електромобіля

7:00 – 8:00	одногодинне пересування зі швидкістю 40 км/год
Ранковий пік навантажень	2-3-годинний рівномірний розряд тягової батареї
Денний напівпік	7-годинний рівномірний повний заряд тягової батареї
17:00 – 18:00	одногодинне пересування зі швидкістю 40 км/год
Вечірній пік навантажень	2-годинний рівномірний розряд тягової батареї
Нічний провал	7-годинний рівномірний повний заряд тягової батареї

При такій постановці задачі і врахуванні поточних тарифів станції можуть бути поділені на V2G та G2V із застосуванням комбінації тарифів на електричну енергію. Графіки поїздки електромобіля протягом дня представлені на рисунку 1

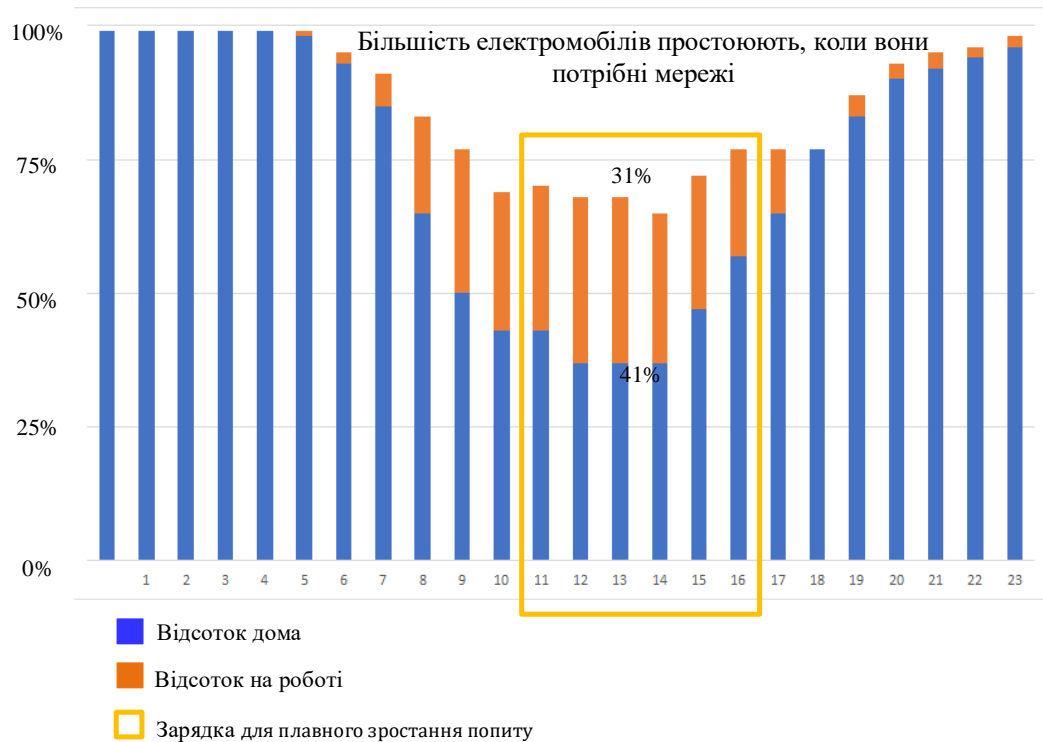


Рисунок 1 – Графік поїздок протягом дня

4. Оцінка економічної спроможності використання електромобіля у якості споживача/регулятора.

Проаналізуємо технічні характеристики найбільш розповсюджених електромобілів на прикладі:

Nissan Leaf – один з найпопулярніших електромобілів у всьому світі. У Nissan Leaf 2016 в залежності від країни виробника має батарею ємністю 24 (в США) або 30 кВт·год (в Європі) з запасом ходу до 160-172 км. У електромобілях від 2017 року для продажу в будь-якій країні встановлюють батарею ємністю в 30 кВт·год.

- загальний ресурс $S = 160000$ км; $T = 8-10$ років;

- річне використання $S_p = 15000$ км/рік;

- питома вартість батареї – $C_{пит} = 200$ \$/кВт·год;

- питома витрата енергії – $W_{S,пит} = 0,15$ кВт·год/км;

- обсяг енергії, який споживається/генерується при використанні загального ресурсу батареї:

$$W_{\Sigma} = W_{S,пит} \cdot S = 0,15 \cdot 160000 = 24000 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

- обсяг енергії, який споживається/генерується при використанні річного ресурсу батареї:

$$W_p = W_{S,пит} \cdot S_p = 0,15 \cdot 15000 = 2250 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

- обсяг енергії, який споживається при використанні місячного ресурсу батареї:

$$W_{міс} = \frac{W_p}{N_{міс}} = \frac{2250}{12} = 188 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

- обсяг енергії, який споживається при використанні денного ресурсу батареї:

$$W_{день} = \frac{W_{міс}}{N_{день}} = \frac{188}{30,5} = 6,16 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

У разі повного щодобового використання батареї електромобіля ресурс у 24000 кВт·год (1000 циклів) закінчиться за період в три роки. Потім батарею прийдеться утилізувати і замінити на нову.

Вартість спожитої електроенергії електромобілем при заряджанні з використанням тарифу для населення:

а) однозонного:

$$P_1 = C_{2\text{нас}} \cdot W_{\text{міс}} = 1,68 \cdot 188 = 316 \frac{\text{грн}}{\text{міс.}}$$

$$C_{S,\text{пит1}} = C_{2\text{нас}} \cdot W_{S,\text{пит}} = 1,68 \cdot 0,15 = 0,252 \frac{\text{грн}}{\text{км.}}$$

б) двозонного:

$$P_2 = (C_{2\text{нас}} \cdot K_{\text{ніч2}}) \cdot W_{\text{міс}} = (1,68 \cdot 0,5) \cdot 188 = 158 \frac{\text{грн}}{\text{міс.}}$$

$$C_{S,\text{пит2}} = \frac{C_{2\text{нас}} \cdot K_{\text{ніч2}}}{W_{S,\text{пит}}} = (1,68 \cdot 0,5) \cdot 0,15 = 0,252 \frac{\text{грн}}{\text{км.}}$$

в) тризонного:

$$P_3 = (C_{2\text{нас}} \cdot K_{\text{ніч3}}) \cdot W_{\text{міс}} = (1,68 \cdot 0,4) \cdot 188 = 125 \frac{\text{грн}}{\text{міс.}}$$

$$C_{S,\text{пит3}} = \frac{C_{2\text{нас}} \cdot K_{\text{ніч3}}}{W_{S,\text{пит}}} = (1,68 \cdot 0,4) \cdot 0,15 = 0,1 \frac{\text{грн}}{\text{км.}}$$

Розрахунки наведені для умов середньорічного використання електромобіля з пробігом 15000 км/рік, що характерно для більшості автовласників. Середньодобовий пробіг при цьому складатиме близько 40 км, що переважно відповідає міському циклу переміщення з приватного сектору до місця роботи і в зворотньому напрямку.

Вартість спожитої електроенергії електромобілем при заряджанні з використанням тарифу для юридичних осіб (групові станції заряджання, 2 клас напруги):

а) однозонного

$$P_1 = C_{\text{юо}} \cdot W_{\text{міс}} = 1,68 \cdot 188 = 316 \frac{\text{грн}}{\text{міс.}}$$

$$C_{S,\text{пит1}} = C_{2\text{нас}} \cdot W_{S,\text{пит}} = 1,68 \cdot 0,15 = 0,252 \frac{\text{грн}}{\text{міс.}}$$

б) двозонного

$$P_2 = (C_{\text{юо}} \cdot K_{\text{ніч2}}) \cdot W_{\text{міс}} = (1,97 \cdot 0,35) \cdot 188 = 130 \frac{\text{грн}}{\text{міс.}}$$

$$C_{S,\text{пит2}} = \frac{C_{2\text{нас}} \cdot K_{\text{ніч2}}}{W_{S,\text{пит}}} = (1,97 \cdot 0,35) \cdot 0,15 = 0,1 \frac{\text{грн}}{\text{км.}}$$

в) тризонного

$$P_3 = (C_{\text{юо}} \cdot K_{\text{ніч3}}) \cdot W_{\text{міс}} = (1,97 \cdot 0,25) \cdot 188 = 92,6 \frac{\text{грн}}{\text{міс.}}$$

$$C_{S,\text{пит3}} = \frac{C_{2\text{нас}} \cdot K_{\text{ніч3}}}{W_{S,\text{пит}}} = (1,97 \cdot 0,25) \cdot 0,15 = 0,074 \frac{\text{грн}}{\text{км.}}$$

Таким чином, з наведених розрахунків видно, що режим нічного заряду електромобіля є найбільш вигідним при використанні зонних тарифів плати за користування електричною енергією як для населення, так і для юридичних осіб, причому для останніх питома вартість спожитої енергії, а відповідно і 1 км пробігу є найнижчою при використанні тризонного тарифу на електроенергію і заряджанні електромобілів протягом «нічного провалу» електричних навантажень енергосистеми в режимі повільної зарядки, який за тривалістю відповідає зонам «ніч» для зонних тарифів (7-8 годин).

В залежності від щодобового пробігу та строку експлуатації регульовальна здатність електромобіля змінюється, вона є максимальною в перші роки експлуатації, а далі поступово

знижується відповідно до тенденцій деградації акумуляторної батареї.

Вартість акумуляторних батарей для електромобілів Nissan Leaf на сьогодні складають близько 200 \$/кВт·год ємності. Ресурс батареї в 160000 км пробігу покривається 24000 кВт·год електричної енергії, середня вартість якої на даний час складає:

- для населення

$$C_{\text{сер.нас}} = 24000 \cdot 1,68 = 40320 \text{ грн.}$$

- для юридичних осіб

$$C_{\text{сер.юо}} = 24000 \cdot 1,97 = 47280 \text{ грн.}$$

Використання акумуляторів електромобілів як джерела електричної енергії для покриття піків навантаження енергосистеми може принести додатковий економічний ефект власнику [8], величина якого залежить від законодавчої бази, умов і вимог нормативів конкретної країни.

У випадку застосування технології V2G максимально за рік при середньодобовому пробігу 40 км і розряджанні автомобіля у пікові години навантаження енергосистеми можна отримати економічний ефект для власника за умови тризонного тарифу, як для населення так і для юридичних осіб. Даний економічний ефект залежить від шаблону використання транспортного засобу. За умови найпростішого варіанту, коли залишковий ресурс батареї з урахуванням щодобового пробігу використовувати повністю і лише у пікові зони навантажень енергосистеми, а повне повільне заряджання реалізовувати у періоди нічного провалу, то можна визначити щодобовий потенційний прибуток автовласника, який складе:

а) середньозважене значення (експлуатація з середньою ємністю батареї 85 %)

- у разі повного заряджання електромобіля у приватному домогосподарстві і повному розряді в аналогічних умовах, але в піковій зоні (термін експлуатації батареї складе близько 1200 діб) і пробігу 40 км/доба

$$\Delta P_{3,1} = (C_{\text{нас}} \cdot K_{\text{пікз}} - C_{\text{нас}} \cdot K_{\text{нічз}}) \cdot W_{\text{доб.рег}} \cdot N_{\text{діб}} = (1,68 \cdot (1,5 - 0,4)) \cdot 14,4 \cdot 1200 = 31935 \text{ грн.}$$

- у разі повного заряджання електромобіля у приватному домогосподарстві, і повному розряді в умовах станції (юридична особа)

$$\Delta P_{3,2} = (C_{\text{юо}} \cdot K_{\text{пікз}} - C_{\text{нас}} \cdot K_{\text{нічз}}) \cdot W_{\text{доб.рег}} \cdot N_{\text{діб}} = (1,97 \cdot 1,35 - 1,68 \cdot 0,4) \cdot 14,4 \cdot 1200 = 34344 \text{ грн.}$$

- у разі повного заряджання електромобіля в умовах станції і повному розряді в аналогічних умовах (юридична особа)

$$\Delta P_{3,3} = (C_{\text{юо}} \cdot K_{\text{пікз}} - C_{\text{юо}} \cdot K_{\text{нічз}}) \cdot W_{\text{доб.рег}} \cdot N_{\text{діб}} = (1,97 \cdot (1,35 - 0,25)) \cdot 14,4 \cdot 1200 = 37445,76 \text{ грн.}$$

Альтернативне використання відпрацьованої батареї як накопичувача електричної енергії із ємністю 60-70% (14,4 – 16,8 кВт·год) може стати джерелом автономної системи електропостачання або децентралізованим джерелом активної потужності для покриття піків навантаження енергосистеми протягом мінімум ще одного відпрацювання ресурсу (додаткових 3 роки).

Тоді вигода автовласника при використанні відпрацьованої батареї як споживача-регулятора складе:

- для населення

$$P_{\text{нас.АКБ}} = ((14,4 \dots 16,8) \cdot (1,5 - 0,4)) \cdot 1,68 \cdot 365 \cdot 3 = 29139 \dots 34000 \text{ грн.}$$

- для юридичних осіб

$$P_{\text{юо.АКБ}} = ((14,4 \dots 16,8) \cdot (1,35 - 0,25)) \cdot 1,97 \cdot 365 \cdot 3 = 34170 \dots 39865 \text{ грн.}$$

З наведених розрахунків можна зробити висновок, що використання батареї електромобіля у якості споживача регулятора дозволяє покрити 30-40% її вартості протягом

3-3,5 років (1/2 нормального строку експлуатації), після чого доведеться виконувати її заміну. Проте протягом наступних трьох років у разі використання відпрацьованої батареї як децентралізованого споживача-регулятора з ємністю 60-70% від номінальної, можна отримати додатковий ефект, співрозмірний (або навіть дещо більший) від її використання за прямим призначенням. Тобто, за 6-8 років комбінованого використання робочої та відпрацьованої батареї можна отримати вигоду на придбання нової.

Вартість нової батареї складає 5000 \$, або близько 132150 тис. грн. (по курсу долара 26,43 грн. за 1\$) Тобто, за вартісними показниками 160000 км пробігу, або 24000 кВт·год електроенергії коштує 132150 тис. грн. Утилізація батареї компенсує власнику вартість у розмірі близько 1000 \$ (26430 грн) тобто у перерахунку вартості батареї на споживані кВт·год маємо вартість 1 кВт·год у розмірі:

$$C_{\text{Впитт.АКБ2021}} = \frac{132150 - 26430}{24000} = 4,40 \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$$

У випадку регулювання графіків електричного навантаження енергосистеми за тарифами юридичних осіб отримуваний ефект за генерацію буде навіть більшим, а вартість тягової батареї покриватиметься протягом періоду основного використання батареї автомобіля і приносить аналогічний прибуток у якості накопичувача.

Необхідно відзначити, що для залучення власників електротранспорту до активного регулювання графіка навантаження з боку енергосистеми та держави мають використовуватися такі інструменти, як: оплата за генерацію енергії в години максимуму навантаження за спеціальними тарифами для акумулюючих потужностей, разові премії при укладенні контракту на участь у вирівнюванні навантаження або зниження вартості споживаної електроенергії тощо.

Для реалізації запропонованого підходу до регулювання графіка навантажень необхідно розв'язати низку питань [6], особливо стосовно дозволу на законодавчому рівні приватним власникам електротранспорту брати участь у регулюванні навантаження та отримувати кошти за генерацію шляхом розробки бізнес-моделей і спеціальних тарифів, системи енергоменеджменту на рівні розподільчої мережі, заходів щодо управління якістю електричної енергії, тощо.

Висновок

Потенціал використання технології V2G полягає у підвищенні ефективності роботи електроенергетичної системи за рахунок раціонального впровадження споживачів-регуляторів на базі електромобілів. Реалізація запропонованих типових або індивідуальних шаблонів використання технології V2G та залишкової ємності відпрацьованої батареї дозволяє забезпечити економічний ефект власнику електромобіля разом з компенсацією її прискореного зносу. Головною перешкодою використання технології V2G в Україні є недосконалість, а в деяких аспектах – відсутність законодавчих засад та нормативної бази у цій сфері, а також відсутність динамічного ціноутворення у масштабі, близькому до реального часу.

Перелік використаних джерел

1. The self-driving car logs more miles on new wheels, Official Google Blog (дата звернення 1 листопада 2021).
2. IRS: [Електронний ресурс]. URL: <http://irsgroup.com.ua/> (дата звернення: 01.11.2021).

3. Vítor Monteiro, Henrique Gonçalves, João C. Ferreira and João L. Afonso, «Batteries Charging Systems for Electric and Plug-In Hybrid Electric Vehicles»
4. [Електронний ресурс] URL: <https://bc-rada.gov.ua/node/6979> (дата звернення: 01.11.2021).
5. Зеркалов Д.В. Энергозбереження в Україні. [Електронний ресурс] Монографія. – К.: Основа, 2012. – 582 с. Режим доступу: <http://www.zerkalov.kiev.ua/sites/default/files/ezumz.pdf>.
6. Hu Z., Song Y., Xu, Z. Hierarchical Coordinated Control-Strategies for Plug-in Electric Vehicle Charging // Plug-In Electric Vehicles in Smart Grid: Charging Strategies. – 2014. – Chapter 3. – Springer. – pp. 55-87.
7. Blasius E., Federau E., Leonowicz Z., Janik P. Assessment of e-vehicles availability in charging pool for support services in smart grids: Case study based on real data // IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe). – 2017, available at: <https://www.researchgate.net/publication/318698151>.
8. Perspectives of load management in energy system with help of electric cars / Yu.V. Khatskevych, I.M. Lutsenko, A.V. Rukhlov // Scientific Bulletin of the National Mining University. – 2017. – Vol. 5. – pp. 82–88.
9. Mets K., Verschueren T., Turck F., Develder C. Exploiting V2G to optimize residential energy consumption with electrical vehicle (dis)charging // IEEE First International Workshop on Smart Grid Modeling and Simulation (SGMS). – 2011, available at: <http://users.atlantis.ugent.be/cdvelder/papers/2011/mets2011sgms.pdf>.
10. Marcelo Espinoza, Caroline Joye, Ronnie Belmans, Bart De Moor, "ShortTerm Load Forecasting, Profile Identification and Customer Segmentation: A Methodology based on Periodic Time Series," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 20, no. 3, pp. 1622-1630, 2005.
11. Masoum M.A.S., Moses P.S., Hajforoosh S. Distribution transformer stress in smart grid with coordinated charging of Plug-In Electric Vehicles // IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), Washington, DC. – 2012. – pp. 1-8.
12. Bass R., Zimmerman N. Impacts of Electric Vehicle Charging on Electric Power Distribution Systems // OTREC-SS-731, Portland, OR: Transportation Research and Education Center (TREC). – 2013, available at: <http://dx.doi.org/10.15760/trec.145>.
13. Про внесення змін до постанови НКРЕКП від 23 серпня 2018 року № 894, постанова 04.12.2018
14. Офіційний сайт ТОВ «КОЕК» [електронний ресурс] URL: <https://коек.com.ua/page?root=23> (дата звернення 01.11.2021)
15. Putrus G.A, Suwanapingkarl P, Johnston D., Bentley E.C., Narayana M. Impact of electric vehicles on power distribution networks // Vehicle Power and Propulsion Conference VPPC '09, IEEE. – 2009. – pp.827 – 831.
16. Global EV Outlook. Beyond one million electric cars. – 2016, available at: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global_EV_Outlook_2016.pdf.

наук.керівник: канд.техн.наук, доцент каф.електропостачання Коцар О.В.

УДК 621.311

Копчиков О.М., Бікеев Д.О.

Кафедра електропостачання
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАВАННЯ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СМАРТ ТЕХНОЛОГІЙ В ПАРКОВІЙ ЗОНІ ТА ЗОН ВІДПОЧИНКУ НА ПРИКЛАДІ ДЕНДРОПАРКУ

***Анотація:** В статті розглядається проблема надійності електропостачання та освітлення об'єктів благоустрою паркових зон. Розглядається та описується технічний стан електропостачання об'єктів. Основна увага сконцентрована на вирішенні проблеми електропостачання за допомогою відновлювальних джерел енергії. На основі аналізу пропонуються варіанти вирішення проблем для об'єкта з можливістю смарт керування об'єктами споживання.*

***Ключові слова:** надійність електропостачання, безпека відвідувачів паркових зон, відновлювальні джерела енергії, смарт керування, ландшафтні особливості.*

IMPROVING THE RELIABILITY OF ELECTRICITY SUPPLY OF LIGHTING SYSTEMS USING SMART TECHNOLOGIES IN THE PARK ZONE AND REST ZONES ON THE EXAMPLE OF THE ARBORETUM

***Abstract:** The article considers the problem of reliability of power supply and lighting of park improvement facilities. The technical condition of power supply of objects is considered and described. The main focus is on solving the problem of electricity supply using renewable energy sources. Based on the analysis, problem-solving options are proposed for an object with the ability to smartly manage consumer objects.*

***Key words:** reliability of power supply, safety of visitors of park zones, renewable energy sources, smart management, landscape features.*

Мета

Підвищення ефективності використання систем електропостачання об'єктів дендропарку для максимального врахування ландшафтних особливостей території, в умовах необхідності забезпечення можливості відпочинку відвідувачів.

Вступ

Жителі міст все більше і більше часу проводять на прогулянках і відпочинку, відвідуючи місця відпочинку, призначені для цих занять, тому міська влада прагне зробити ці райони привабливими. Одним з елементів цього комфорту є правильне освітлення цих зон. Це відноситься як до міст, так і до маленьких містечках, особливо в районах з вуличними спорудами, парками, площами, алеями і бульварами і т.д. Штучне освітлення стає

організуючим фактором для таких територій, елементом благоустрою і громадської безпеки. Велике значення як естетична складова набуває декоративне освітлення, що передбачає різні прийоми архітектурного освітлення малих архітектурних форм та ландшафтних об'єктів, декоративних ефектів унікальних світлових сценаріїв в залежності від пори року і доби.

Освітлення в кожному парку, сквері формується за індивідуальними проектами. Світлові дизайнери та архітектори при проектуванні освітлення спираються на наступні критерії:

- Розмір зони, що вимагає освітлення;
- Кількість відвідувачів парку і його прохідність;
- Щільність насадження рослин, які можуть створювати тіньову завісу;
- Особливості розташування малих архітектурних форм.

Основні принципи паркового освітлення: ергономіка, комфорт, енергоефективність, естетика.

В ергономіці зазвичай користуються такими фотометричними поняттями: світловий потік; освітленість; яскравість.

Завдяки даним поняттям, зведеним в комбінації, з'являється можливість реалізувати основні цілі організації освітлення та забезпечення оптимальних зорових умов [1].

На сьогодні у Білій Церкві налічується 5 парків, 10 скверів, 3 бульвари [2]. Кожен з парків має різний розмір та різну функціональність. Споживання електричної енергії паркової зони залежить від типу парку.

Садово-паркові об'єкти відповідно до функціонального призначення поділяються на монофункціональні (спрямовані на перевагу одного, найбільш вираженого виду рекреаційної діяльності) та поліфункціональні (такі, що передбачають організацію кількох типів відпочинку).

Виявлені типологічні різновиди садово-паркових об'єктів, які диференційовано за:

- площею: малі (від 0,5 га до 10 га), середні (від 10 га до 150 га), великі (від 150 га);
- функціональним типом: поліфункціональні, монофункціональні;
- місцем у системі розселення: заміські, загальноміські, районні;
- сезонністю: цілорічні, сезонні;
- типом рельєфу: нагорні, на схилі, у гірській долині, рівнинні;
- планувальною структурою: лінійні, променево-кільцеві, комбіновані) [3, 4].

Чим більше додаткових послуг представлених в парковій зоні, тим більше додаткове навантаження, тим більш надійна повинна бути система керування та приєднання до мережі. Можливість розміщення споруд залежить від розмірів паркової зони та того, які надаються додаткові послуги для відвідувачів. В результаті, від додаткових споруд, що розміщені на території паркової зони, залежить споживана потужність. Таким чином, можна зробити невелику класифікацію паркових зон за споживанням електроенергії в залежності від наявності споруд для відпочинку. На рисунку 1 наведені споруди, використання яких можливе від малих паркових зон до великих.



Рисунок 1 - Класифікація паркових зон за можливим споживанням електроенергії

Основна проблема полягає в тому, що паркові зони мають застарілу систему електропостачання яка в свою чергу вже морально та технічно застаріла, до цієї системи ще під'єднують додаткове навантаження. Через це, в лінії виникає великий та швидкий знос, що призводить до короткого замикання і подальшому руйнуванню кабелю.

Через те, що обладнання електропостачання та консолей застаріло, значно погіршується надійність системи освітлення, а приєднання системи живлення центральної електромережі, робить освітлення вразливим та залежним.

В даному випадку виникає питання забезпечення надійності та енергоефективності системи електроживлення паркового об'єкту з використанням систем збереження електричної енергії та ВДЕ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Люди відвідують парки, тому що вони забезпечують контакт з природним і соціальним середовищем, яке дає можливість зустрітися з друзями, спостерігати за іншими та бути помітним – усе це допомагає створити відчуття комфорту та безпеки.

Добре зпроектвані парки та зони відпочинку є великим надбанням для місцевих громад. Але цей актив може швидко стати пасивом, коли парки стають небезпечними і як наслідок, втрачають свою цінність і користь для суспільства. Підтримка безпеки парків і об'єктів відпочинку є ключем до благополуччя громади і має прямий зв'язок з рівнем їх використання.

Розглядаючи надійність освітлення паркової зони, можемо говорити про прямий її вплив на безпеку відвідувачів в нічний час доби. Здатність відчувати контроль над простором, мати змогу бачити, легко втекти або отримати допомогу під час небезпечної ситуації – це приклади того, як можна змусити себе почуватися в безпеці [5]. Результати дослідження [5] показують, що більшість користувачів заявили, що відчувають себе небезпечно в парку. Тому система, яка проектується повинна відповідати певним вимогам. Для забезпечення безпеки парку необхідно мати персонал охорони, телефон і пункт першої допомоги. Відкриті оглядові лінії в парку та розбірливий план парку важливі для сприйняття безпеки. Правильна посадка і достатнє освітлення допомагають створити відкриті лінії огляду [5].

Підключення освітлення необхідно здійснювати трифазною мережею змінного струму 220 В або 380 В, живлення необхідно забезпечити з щитка або шафи зовнішнього освітлення. Живлення даного обладнання виконується через комплектні трансформатори, розподільні пристрої будівель, магістральні електромережі.

Особливістю формування електричних мереж є необхідність максимального збереження природного ландшафту за умовою виконання вимог щодо охорони електричних мереж [6].

Освітлювальна мережа може бути повітряною з самоутримних ізольованих проводів або підземною з броньованих кабелів, прокладених траншейним методом. В проектну документацію по кабельній лінії потрібно включити інженерно-топографічний план місцевості, де позначені всі існуючі споруди і підземні комунікаційні об'єкти [7].

Також необхідно зазначити, що також присутній елемент вандалізму, а отже до даних вимог можна додати встановлення більш захищеного освітлювального або електричного обладнання.

Постановка завдання

Сформувати систему електропостачання паркової зони з урахуванням особливостей розташування основних об'єктів та забезпечення ефективності управління процесами освітлення. Розгляд можливості використання технологій ВДЕ, смарт регулювання та накопичення електричної енергії при освітленні паркових зон в Україні, економічна оцінка впровадження автономних систем освітлення.

Матеріал і результат дослідження

Характеристики об'єкта моделювання

Дендропарк "Олександрія" розташований на площі 4006700м² на березі річки Рось. Площа декоративних водойм парку (ставки та р. Рось) 210000 м². Парк є зразком пейзажної паркової композиції, основу якої складають рослини, архітектурні споруди, скульптури, водна гладь річки Рось та ставків. [8]

Площа парку 4006700м² = 400.67 га, розташований в центральній частині міста, розрахований для затишного та тихого відпочинку. Парк має неправильну багатогранну форму. Наявні додаткові послуги, такі як об'єкти адміністративного призначення, кафе, танцювальний майданчик. Загальна протяжність доріжок по всій території складає 20000 метрів. За ДБН Б.2.2-5:2011 нормований відсоток території для алей та доріжок повинен бути від 25% до 40%. Але так як парк був заснований в 1788 році, він не може підходити під сучасні норми ДБН [9].

Для цієї системи необхідно застосувати такі кроки:

1. Змоделювати систему освітлення та обрати енергоефективні джерела світла.
2. Впровадити інтелектуальні системи керування електроенергією та освітленням територій.
3. Також необхідна заміна централізованого електроживлення на локальну або розосереджену енергосистему. Замінити централізовану систему електроживлення від

підстанцій на відновлювані джерела енергії із застосуванням акумулюючих технологій.

Моделювання системи освітлення та розрахунок її навантаження

Для освітлення нашого скверу обираємо світлодіодні лампи потужність 30 Вт та 4600 лм. Згідно [10], необхідна мінімальна освітленість для нашого об'єкту складає 4 лк на головних алеях та 6 лк на входах. Змодельовано територію скверу у програмному забезпеченні Light in Night, що зображено на рисунку 2.

Так як площа надто велика для точного розрахунку, оберемо максимально допустиму площа яку підтримує сучасне ПЗ. Обираємо світильники близького за характеристиками до обраних ламп (4600/740/RAL7040/0/ORS2/GEN1).

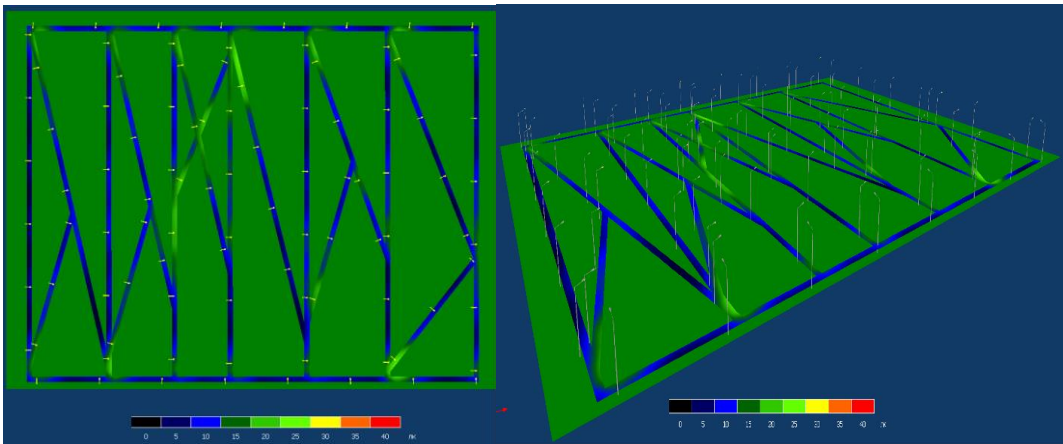


Рисунок 2 - Часткове моделювання території парку

Мінімальна освітленість території не перетинає позначку 4 лк, отже кількість світильників та їх розташування оптимально підібрані та змодельовані.

Розрахована споживана потужність освітлювального обладнання для доріг та інших шляхів становить 25 кВт.

Враховуючи наявність близько 15 об'єктів архітектури, необхідно передбачити їх додаткове підсвічування. Потужність системи додаткового освітлення становить близько 15 кВт.

На території парку є три об'єкти, які передбачають створення штучних водоспадів і для реалізації яких необхідним є встановлення електричних двигунів або насосів. Буде встановлено 3 насоси IML New BCC 550T [11] потужністю кожної установки 4 кВт.

Враховуючи наявність об'єктів адміністративного призначення, кафе, танцювального майданчика, оцінимо їх навантаження на мережу (таблиця 1).

Таблиця 1 - Оціночна розрахункова потужність об'єктів дендропарку "Олександрія"

Об'єкт	Оціночна розрахункова потужність, кВт
Кафе 1	16
Кафе 2	16
Танцювальна зона	5

Визначення можливостей використання відновлюваних джерел та акумуляції електричної енергії

При створенні системи живлення енергією об'єкту принциповим питанням є забезпечення екологічності джерел енергії. Крім того важливим є забезпечення збереження існуючих зелених насаджень на території парку. Оскільки немає можливості встановлення централізованої сонячної станції тому необхідне використання на кожному світильнику відповідної панелі, тобто інтегровані в об'єкт електропостачання.

Для забезпечення гарантованого живлення та підвищення надійності електропостачання може бути застосована система акумулювання, використання якої є актуальною особливо при ринкових тарифах на електричну енергію. Використання цих акумуляторних батарей може бути використана для заряду їх вдень та живлення освітлювальних елементів від них вночі.

Як варіант вирішення задачі може бути запропоновано використання світильнику світильнику [12], в якому інтегровані, як елемент освітлення, так і джерело і зберігання енергії. Він буде ідентичний за значенням світлового до розрахованого вище, із вбудованою сонячною літій-залізо-фосфатною батареєю, сонячною панеллю та зарядним пристроєм. Також в ньому присутній спеціально розроблений кронштейн для монтування на опорах з регульованими кутами нахилу для бокового та верхнього монтажу. Таке рішення дасть змогу:

- зберегти ландшафт - траншея для прокладання кабелів не потрібна;
- отримати значну економію енергії.

Вибір системи смарт керування

Смарт система для об'єктів паркової зони можна розглядати як частину Smart City. Для цього розглянемо певні рішення інтелектуального освітлення, які необхідно врахувати, шукаючи розумніший спосіб керування вуличними світильниками, задля підвищення громадської безпеки, енергетичної та економічної ефективності.

Для побудови смарт системи дендропарку необхідно передбачити можливість: контролю надходження електричної енергії; технічний стан та надійність функціонування об'єктів; забезпечення управління системами, в тому числі дистанційно, з використанням напрацьованих алгоритмів організації роботи об'єкту.

Розглянемо систему керування освітленням з використанням таких чотирьох компонентів: розумні вузли керування світлодіодами; датчики; шлюзи; платформа центрального керування.

Схематичне представлення системи зображено на рисунку 3.

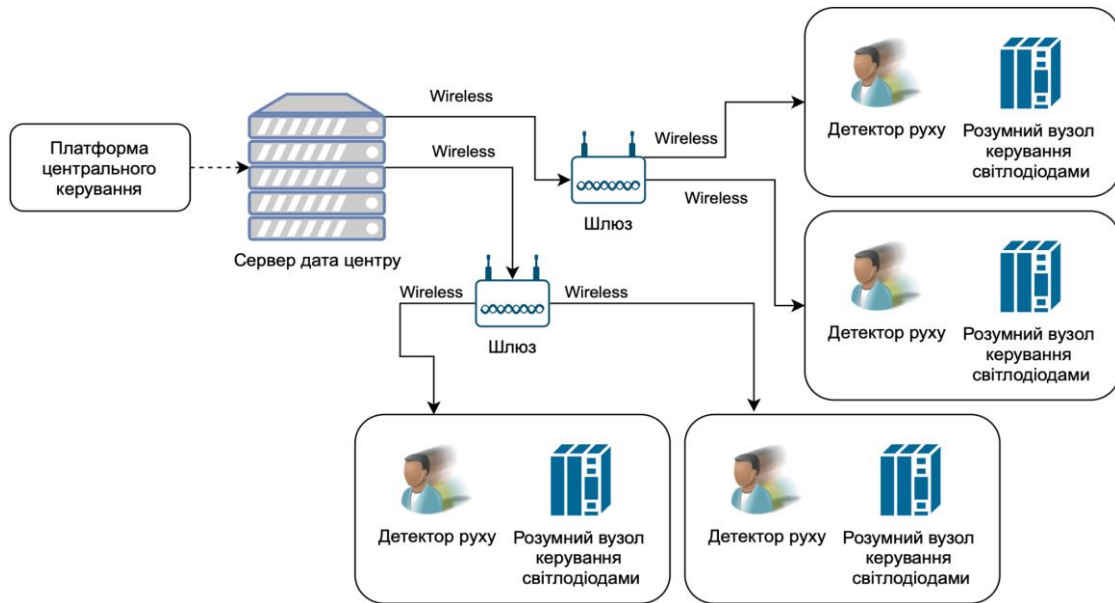


Рисунок 3 - Умовна схема загального функціоналу смарт системи керування освітленням

Дана технологія дозволяє керувати платформі через шлюз, за протоколом IEEE 802.15.4, до вузла кожної лампи, не використовуючи проводи.

Аналогічно освітленню доріг встановлюємо датчики для керування вимкненням додаткового декоративного освітлення парку, електричних насосів штучних водоспадів. Тим самим зменшуємо споживання електричної енергії в період коли дані об'єкти не використовуються.

Також варто зазначити необхідність встановлення Smart Metering (Розумного обліку) в "Кафе 1" та "Кафе 2". Що дозволить зробити прозорими розрахунки за використану електричну енергію, отримувати актуальні дані про поточні витрати електроенергії та режими даних об'єктів.

Зобразимо повну схему керування на рисунку 4.

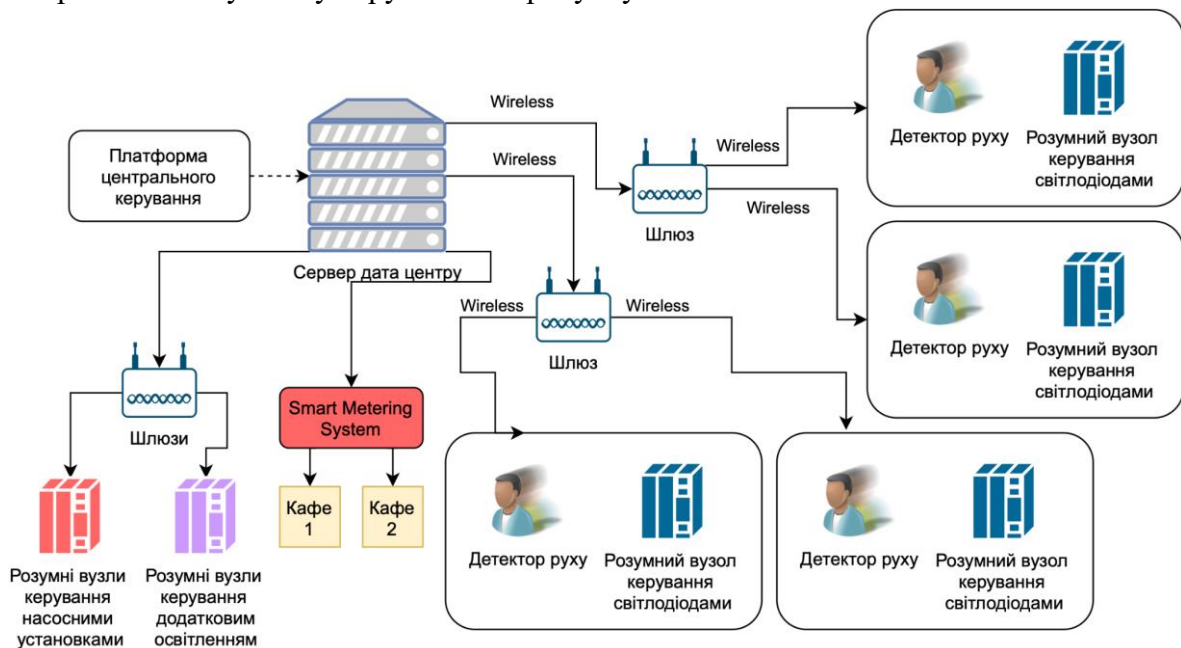


Рисунок 4 - Повна схематична діаграма системи керування об'єктами дендропарку

Для нашої системи освітлення доріг дендропарку, до платформи центрального керування можемо застосувати такий алгоритм роботи (рисунок 5), де буде задіяно не тільки вимкнення освітлення доріг, а і в періоди малого попиту (коли відсутній трафік людей на дорозі) зменшувати світловий потік на певну величину, яка може бути представлена як функція в залежності від величин загальних факторів оточуючого середовища (наприклад на 40%, як показано на рисунку 5), що має збільшити ефективність споживання енергетичних ресурсів. Така система повинна відстежувати зміну погодних умов, рівень освітленості та приймати рішення про необхідний рівень зниження освітленості за відсутності людей.

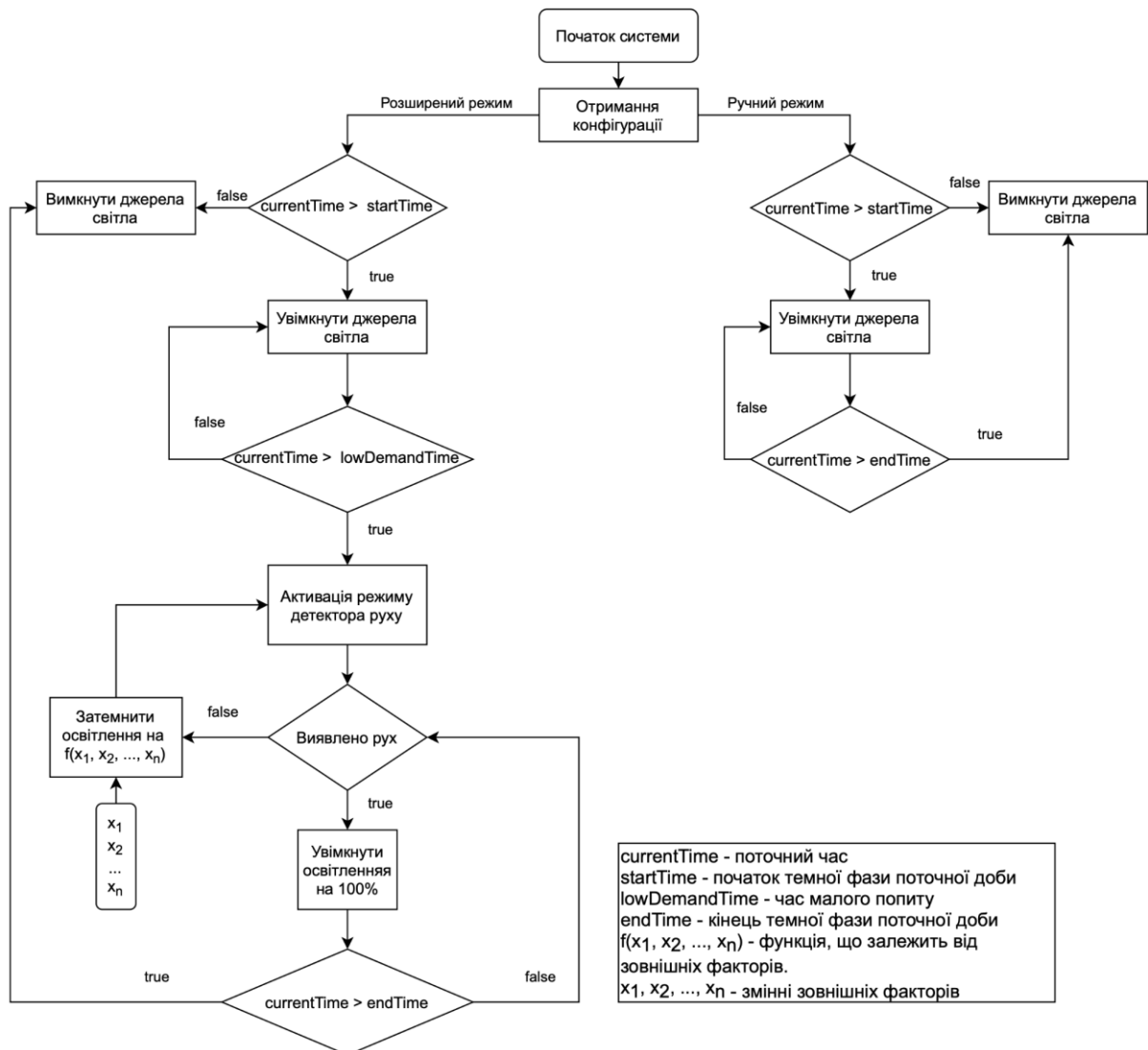


Рисунок 5 - Алгоритм роботи смарт системи керування освітленням.

Аналіз отриманих результатів

За результатами прийняття рішень щодо системи електропостачання забезпечено формування гнучкої системи, з використанням смарт технологій, яка на відміну від існуючої дозволяє реалізувати всі задачі дендропарку та мінімізувати витрати електричної енергії на основних об'єктах парку.

Зазначена система забезпечила бездротове керування елементами системи, у тому числі

інтегрованими джерелами електричної енергії, які дадуть змогу зберегти ландшафт та енергію на освітлення доріг парку. В свою чергу технології Smart Metering, яка на відміну від існуючої, дає змогу отримувати актуальні дані про поточні витрати електричної енергії та режими об'єктів, графік споживання яких не є стабільним. Ці рішення суттєво вплинуть на надійність та ефективність електропостачання.

За результатами оцінок експертів загальний рівень економії від використання запропонованих технологій буде складати приблизно 40% [13]. Якщо “розумно” керувати додатковим освітленням, тобто вимикати або застосовувати затемнення, то для нього економія складає приблизно від третини до половини енергії.

Порівнюючи можливості впровадження відновлюваних джерел енергії, було обрано саме інтегровані в світильник сонячні панелі на противагу панелям розташованим на землі. Таке рішення прийнято враховуючи за мету саме збереження ландшафту. Аналогічно, якщо розглядати акумулюючі системи не має сенсу виносити його окремо від світильників, адже навантаження системи освітлення на мережу є стабільним і прогнозованим. Тому немає необхідності в застосуванні даної технології при балансуванні навантаження даної системи.

Оцінюючи вартість технологій при проектуванні звичайних LED світильників [14], то вона приблизно в 2,5-3 рази нижча, в порівнянні із світильниками з інтегрованими сонячними панелями. В свою чергу технології smart керування та Smart Metering вимагають інвестицій. Розглядаючи проектовану вартість однієї із систем в місті Павлодар, то роботи з демонтажу та монтажу майже 12 з половиною тисяч світильників, забезпечити їх контролерами, а також придбати 70 шаф управління зовнішнього освітлення та сервери. Оціночна вартість такого проекту становила 1,7 мільярда тенге, що станом на листопад 2021 року становить приблизно 100 млн. грн [15]. Отже, якщо умовно оцінити вартість за 1 світильник, то маємо приблизно 8000 грн за один світильник, що в свою чергу може бути в 6-8 разів вище ніж звичайний світильник. Але з іншого боку існує необхідність зберегти ландшафтні особливості паркової зони.

Висновки

Створена сучасна система електропостачання дендропарку, яка на відміну від існуючої дає змогу вирішити проблему перебірного освітлення і дозволяє реалізувати всі інші задачі дендропарку, мінімізувати витрати електричної енергії на основних об'єктах парку та зробити безпечнішими паркові зони.

Побудована система враховує географічні особливості об'єкту, історичні аспекти, особливості розташування основних об'єктів визначних пам'яток та технічні аспекти реалізації такої системи.

Використання сучасних технологій smart керування дає можливість забезпечити комплексне поєднання в цій системі електропостачання різних підсистем (сонячні батареї, елементи накопичення та інше) для ефективного функціонування усіх систем дендропарку.

Список використаних джерел

1. Освещение как объект комплексного эргономического анализа [Електронний ресурс] // Бизнес-информатика. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://it.rfei.ru/course/~Ylac/~VfelPrP9/~KgcyIpW8> (дата звернення: 18.11.2021).
2. Парки Білої Церкви [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу:

https://uk.wikipedia.org/wiki/Парки_Білої_Церкви (дата звернення: 18.11.2021).

3. Лазарев А. Г. Ландшафтная архитектура / А. Г. Лазарев, Е. В. Лазарева. – Ростов-на Дону: Феникс, 205. – 282 с.

4. Типология и классификация городских парков. Назначение. [Електронний ресурс] // Московский государственный открытый университет им. В. С. Черномырдина. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://studfile.net/preview/5768374/page:43/> (дата звернення: 18.11.2021).

5. Gökçen F. Y. SAFETY CONCERNS ISSUES FOR PARK USERS, CASE STUDY IN ZEYTÝNBURNU WATERFRONT PARK IN ÝSTANBUL / Firdevs Yücel Gökçen. – 2005. – С. 319–330.

6. Про затвердження Правил охорони електричних мереж : Постанова Кабінету Міністрів України від 04.03.1997 №209 // База даних «Законодавство України» / ВР України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/209-97-п> (дата звернення: 18.11.2021).

7. Попова М. Проектирование наружного освещения [Електронний ресурс] / Мария Попова // «МГК «Световые Технологии». – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ltcompany.com/ru/articles/39-proektirovanie-naruzhnogo-osveshchenia/> (дата звернення: 18.11.2021).

8. Історія Державного дендрологічного парку «Олександрія» [Електронний ресурс] // Державний дендрологічний парк «Олександрія» Національної академії наук України. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.alexandria-park.com.ua/istoriya/> (дата звернення: 18.11.2021).

9. ДБН Б.2.2-5:2011 БЛАГОУСТРІЙ ТЕРИТОРІЙ – Чинний від 01.09.2012 - Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2012. – 61 с. – (Офіційне).

10. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення – Чинний від 01.03.2019 - Київ: Мінрегіон України, 2018. – 133 с. – (Офіційне).

11. Насос IML NEW BCC 550T 86м3/ч 75 мм 4,7 кВт 380 В без префільтра подключение 75 мм [Електронний ресурс] // Интернет-магазин «Розетка™». – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://rozetka.com.ua/305666458/p305666458/> (дата звернення: 18.11.2021).

12. SunStay — универсальные уличные светильники на солнечных батареях [Електронний ресурс] // Signify Holding and Philips Electronics N.V. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.lighting.philips.ua/ru/prof/outdoor-luminaires/solar/luminaires/7456095> (дата звернення: 18.11.2021).

13. Unilight - Интеллектуальная система управления освещением [Електронний ресурс] // Группа компаний «АйТи». – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <http://itpss.ru/docs/presentations/20170407-unilight-smart-lighting-control-system.pdf> (дата звернення: 18.11.2021).

14. Светильник уличный Sokol LED-SLN- 100w Lm 6500K IP65 [Електронний ресурс] // Торговый дом «СОКОЛ». – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://sokol.energy/svetilnik-ulichnyj-sokol-led-sln-100w-lm-6500k-ip65.html> (дата звернення: 18.11.2021).

15. КАК «УМНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ» НЕ ДОВЕЛИ ДО УМА, НО ВСЕ ОСТАЛИСЬ НА СВОИХ МЕСТАХ [Електронний ресурс] // Радио Азаттык. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://rus.azattyq.org/a/kazakhstan-pavlodar-lightning-modernisation-investigation/31428286.html> (дата звернення: 18.11.2021).

УДК 621.311.003.13

Панадій М.В.
кафедра електропостачання**ШТУЧНІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ - ОСНОВНІ ФУНКЦІЇ ТА ЗАСТОСУВАННЯ НА ПРАКТИЦІ****ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS - MAIN FUNCTIONS AND APPLICATIONS IN PRACTICE**

***Анотація.** У даній статті проаналізовано основні функції штучних нейронних мереж. Досліджено сприяння впливу штучних нейронних мереж розвитку енергетичного зростання України, вивчено чинники, що стримують розвиток запровадження нейронних мереж та способи вирішення проблем. Представлено досвід застосування нейронних мереж в енергетиці – управління енергетичними системами, управління компонентами технологічного обладнання енергопідприємств, проаналізовано адаптивний алгоритм нейронного управління. Наведено алгоритм адаптивного управління нейронної системи енергопостачання.*

***Ключові слова:** Штучна нейронна мережа, система енергопостачання, управління енергосистемами, прогнозування, навчання, нейрон.*

***Abstract.** This article analyzes the main functions of artificial neural networks. The promotion of the influence of artificial neural networks for the development of energy growth in Ukraine has been studied, the factors hindering the development of the introduction of neural networks and ways to solve problems have been studied. The experience of application of neural networks in power engineering - management of power systems, management of components of the technological equipment of the power enterprises is presented, the adaptive algorithm of neural management is analyzed. The algorithm of adaptive control of the neural power supply system is given.*

***Key words:** Artificial neural network, power supply system, power systems management, forecasting, training, neuron.*

Вступ. Штучні нейронні мережі глибоко увійшли в наше життя і зараз широко використовуються в різних завданнях і активно використовуються, коли традиційні алгоритми рішення неефективні або неможливі. У завдання штучної нейронної мережі довіри входять: розпізнавання тексту, біржові операції, контекстна реклама в Інтернеті, фільтрація спаму, перевірка підозрілих операцій з банківськими картками, системи безпеки, відео спостереження — це ще не все.

Штучна нейронна мережа, як і біологічна нейронна мережа, являє собою обчислювальну систему з великою кількістю простих процесорів, що працюють паралельно, і безліччю з'єднань. Хоча побудова таких мереж зазвичай робить деякі припущення та значні спрощення, щоб відрізнити їх від їхніх біологічних аналогів, штучна нейронна мережа демонструє дивовижну кількість характеристик мозку – це навчання та узагальнення на основі досвіду. Витяг релевантної інформації з даних із надмірності.

Нейронна мережа може змінювати свою поведінку відповідно до стану середовища. Після аналізу вхідного сигналу (можливо, разом із необхідним вихідним сигналом), вони налаштовуються та тренуються, щоб забезпечити правильну відповідь. Навчена мережа може протистояти певним відхиленням вхідних даних, щоб вона могла правильно «бачити» зображення, що містять різні перешкоди та спотворення. У 1950-х роках група дослідників об'єднала біологічні та фізіологічні методи для створення першої штучної нейронної мережі. Тоді здавалося, що ключ до штучного інтелекту знайдено. Однак, хоча ці мережі ефективно

вирішили деякі проблеми штучного бачення — прогнозування погоди та аналізу даних — ця ілюзія швидко розвіялася. Мережа не може вирішувати інші завдання, подібні до завдань, які вона успішно справляє. Відтоді почався період поглибленого аналізу. Створено теорії і доведено багато теорем. Але вже тоді стало зрозуміло, що без залучення серйозної математики розраховувати не слід.

Публікації про штучні нейронні мережі почали з'являтися в наукових журналах у 1970-х роках. Поступово сформувався хороший теоретичний фундамент, і більшість мереж сьогодні створюються саме на цій основі. В останні два десятиліття розроблені теорії активно використовуються для вирішення прикладних задач. Є також компанії, які розробляють прикладне програмне забезпечення для проектування штучних нейронних мереж. Крім того, ознакою 1990-х років став прихід у бізнес штучних нейронних мереж, які показали свою справжню ефективність у вирішенні багатьох проблем (від прогнозування попиту на продукцію до аналізу платоспроможності клієнтів банку).

Сьогодні існує велика кількість різноманітних конфігурацій нейронних мереж з різними принципами роботи, призначених для вирішення різних завдань. Наприклад, розглянемо багат шарову підключену нейронну мережу прямого поширення, яка широко використовується для пошуку закономірностей та класифікації зображень. Повно-зв'язаною нейронною мережею називається багат шарова структура, в якій кожен нейрон довільного шару пов'язаний з усіма нейронами попереднього шару, а у разі першого шару - з усіма входами нейронної мережі. Пряме поширення сигналу означає, що така нейронна мережа не містить петель.[1]

Мета та завдання. Метою даної роботи є дослідження штучних нейронних мереж, їх нагальних проблем та механізмів їх вирішення. Застосування на практиці та можливості використання на підприємстві.

Матеріал і результати досліджень. Розвиток інтернету та процеси глобалізації сприяли тому, що з'явилося дуже багато інформації, опрацювати яку самотужки людина фізично не в змозі. Нейронні мережі знайшли застосування у:

- ✓ аналізі та класифікуванні даних за заданими параметрами;
- ✓ формуванні аналітичних прогнозів, керуючись вхідною інформацією;
- ✓ порівнянні та розпізнаванні ідентичних даних.

Як виконуються обчислення. Існує декілька видів нейронного зв'язку. Найчастіше використовуються синапсоїдальний та ReLU. В першому випадку нейронна мережа використовує дані в діапазоні від -1 до 1 (що фактично відповідає -100% до 100%). В другому вхідні дані передаються через значення 0 та \inf (інформація любого характеру).

Для того, щоб пояснити, як проходить системний аналіз, краще підходить синапсоїдальна функція, оскільки обмежений діапазон вхідної інформації дає більше наочності. Алгоритм обчислення:

- дані поступають на нейрон;
- обчислюється їх вага;
- результати обчислень передаються на наступний нейрон;
- процес повторюється.

Кількість обчислень задається шляхом встановлення кількості шарів. Сучасні нейронні мережі мають десятки, а іноді навіть сотні шарів обчислення. Книги з програмування містять приклади коду на Java, що свідчить про розвиток технології не тільки в сфері десктопних програм, а також і для мобільних платформ. Це свідчить про ефективність нейронних мереж.

Як проходить навчання. Як зрозуміло із попереднього розділу, вхідні дані для нейронної мережі слід привести до встановленого виду. Що це значить? Розглянемо наступний приклад: проаналізувати динаміку ринку акцій.

Ціни в даному випадку будуть значно більше від одиниці. Тому можна звести дані до різниці цін, яка буде виражена через проценти. На виході отримаємо діапазон значень від -1 до 1.

Описана послідовність дій називається нормалізацією вхідних даних. Це перший і основний крок перед початком машинного навчання. Система повинна отримувати інформацію у тому виді, який вона може обробити.

Наступний крок — отримання першого результату обчислень. У 99% випадків він буде відрізнятися від того, що мало бути насправді. Ця обставина пояснюється просто: мережа не має достатньо інформації для правильної аналітики (тобто релевантного розподілення ваги).

На цьому етапі створюється алгоритм навчання — тренувальний сет. Це набір операнд, які задають параметри обробки вхідних даних та допомагають нейронній мережі правильно оцінювати вагу. В залежності від складності задачі може використовуватися від 4 до декількох сотень формул.

Проходження циклу операнд назветься епохою. На момент створення нейронна мережа має епоху під номером 0. Після першого циклу навчання наступає епоха 1, і так далі. С кожним циклом навчання похибка обчислень зменшується. Коли цей показник не перевищує декількох процентів, вважається, що мережа пройшла навчання і придатна для вирішення реальних задач.

Також слід відмітити що нейронні мережі та штучний інтелект — це хоча і схожі, але все ж таки різні терміни. Нейронні мережі мають модулярну систему, де обчислення виконуються на основі встановлених правил. Система вчиться аналізувати лише конкретні дані і підходить для вирішення однієї чітко сформованої задачі.

Добре розвинена та навчена нейронна мережа легко замінить штатного аналітика, але лише в межах одного діапазону даних. Штучний інтелект, говорячи максимально просто, це здатність комп'ютера самотужки створювати та навчати нейронні мережі.[2]

Попередньо проведено розрахунки кореляційного аналізу чинників які впливають на процес енерговикористання. В даному випадку було використано пакет "Аналіз даних" у програмі MS "Excel" для побудови кореляційної матриці Пірсона для кожного набору факторів. Результат представлено у таблиці 1. Коефіцієнт кореляції Пірсона визначається за формулою:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2}}, r_{xy} \in [-1, 1] \quad (1)$$

де \bar{x}, \bar{y} – середні значення змінних, m – обсяг вибірки

$|r_{xy}| = 1$ – існує абсолютна лінійна залежність;

$|r_{xy}| = 0$ – відсутня будь яка лінійна залежність.

Таблиця 1 – матриця кореляції Пірсона

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	Y1	Y2	Y3	
X1	1,00																								
X2	-0,30	1,00																							
X3	-0,31	-0,24	1,00																						
X4	0,64	-0,42	-0,36	1,00																					
X5	0,35	0,10	-0,21	0,19	1,00																				
X6	0,49	-0,18	-0,12	0,65	0,34	1,00																			
X7	0,58	0,16	-0,21	0,14	0,69	0,18	1,00																		
X8	0,59	-0,13	-0,62	0,61	0,35	0,37	0,52	1,00																	
X9	0,41	-0,51	-0,46	0,40	-0,04	0,07	0,30	0,66	1,00																
X10	0,73	-0,26	-0,52	0,42	0,47	0,20	0,68	0,77	0,68	1,00															
X11	0,50	-0,05	-0,49	0,38	0,55	0,13	0,55	0,82	0,48	0,68	1,00														
X12	0,25	0,41	-0,31	0,07	0,76	0,13	0,47	0,36	-0,21	0,29	0,71	1,00													
X13	0,19	0,45	-0,26	-0,23	0,58	-0,05	0,61	0,43	0,05	0,44	0,71	0,81	1,00												
X14	0,50	-0,50	-0,53	0,62	0,17	0,31	0,30	0,73	0,78	0,76	0,36	-0,18	-0,10	1,00											
X15	-0,22	0,54	0,17	-0,35	0,17	-0,16	-0,19	-0,51	-0,79	-0,45	-0,08	0,54	0,29	-0,82	1,00										
X16	0,32	0,18	-0,44	0,32	-0,16	0,05	0,18	0,73	0,36	0,31	0,59	0,22	0,33	0,27	-0,25	1,00									
X17	0,07	0,45	-0,10	-0,39	0,40	-0,20	0,59	0,32	0,08	0,32	0,61	0,65	0,95	-0,22	0,23	0,34	1,00								
X18	0,24	0,40	-0,37	-0,18	0,53	-0,21	0,67	0,49	0,22	0,53	0,79	0,75	0,94	-0,01	0,18	0,41	0,92	1,00							
X19	0,32	0,27	-0,37	0,01	0,36	0,03	0,54	0,67	0,33	0,60	0,82	0,64	0,90	0,15	0,02	0,61	0,86	0,88	1,00						
X20	0,51	0,10	-0,60	0,23	0,29	0,43	0,48	0,53	0,48	0,60	0,29	0,16	0,36	0,51	-0,34	0,21	0,26	0,29	0,41	1,00					
X21	0,42	0,00	-0,64	0,11	0,60	-0,09	0,58	0,59	0,53	0,77	0,78	0,60	0,69	0,43	-0,08	0,21	0,57	0,77	0,67	0,54	1,00				
Y1	0,03	0,67	-0,30	-0,32	0,33	-0,22	0,58	0,37	0,05	0,30	0,57	0,63	0,90	-0,17	0,23	0,47	0,93	0,91	0,84	0,29	0,52	1,00			
Y2	0,34	-0,43	-0,19	0,42	-0,08	0,30	-0,42	0,19	0,03	0,03	0,19	0,07	-0,22	0,16	0,05	0,23	-0,37	-0,25	-0,10	-0,03	0,00	-0,46	1,00		
Y3	-0,01	0,71	-0,27	-0,11	0,20	0,06	0,14	0,27	-0,42	0,07	0,28	0,56	0,57	-0,18	0,40	0,49	0,45	0,44	0,54	0,10	0,09	0,61	-0,01	1,00	

Всі значення X – це потенційні чинники взяті з другого розділу магістерської дисертації, значення Y – це споживання типу енергії які впливають на чинники. Дивлячись на таблицю коефіцієнтів бачимо, що певні пари чинників колінеарні між собою, тому при регресійному аналізі частину чинників необхідно вилучити.

Багатовимірні моделі лінійної регресії дозволяють встановлювати кількісні зв'язки між конкретними цільовими змінними та незалежними змінними векторами. При моделюванні лінійної регресії використовуйте лінійні функції для моделювання відносин.

Між цільовою змінною та незалежною змінною встановлюється лінійна залежність, а невідомі параметри базуються на вхідних даних. Функція лінійної регресії набуває такого вигляду:

$$\tilde{y}_i = \theta_0 + \sum_j \theta_j x_{ij}, \quad (2)$$

де θ_0 - перетин з віссю координат (в контексті даної задачі – постійне навантаження на об'єкті);

θ_j - лінійні коефіцієнти, або параметри моделі для кожної незалежної змінної(чинника);

x_i - незалежна змінна; i – номер вибірки;

j – номер незалежної змінної; y - залежна(цільова) змінна.

При пошуку оптимальних параметрів моделі використовується метод найменших квадратів. Після вирішення рівнянь отримують значення лінійних коефіцієнтів, які відповідають умовам рівнянь.

Для розрахунку базового рівня споживання енергії використовуйте метод збільшення з екстремальним градієнтом. Метод лінійної регресії є найбільш часто використовуваним методом для встановлення зв'язку між змінними в машинному навчанні. Переваги цього методу - легка реалізація, корисна інтерпретація результатів та велика кількість показників верифікації. Основною статистичною ідеєю цього методу є припущення, що між цільовою та незалежною змінною існує детермінований лінійний зв'язок.

Існуюча лінійна кореляція має певні переваги при побудові регресійних моделей, а саме:

- велика кількість методів кількісної оцінки залежності між двома факторами (наприклад коефіцієнт кореляції Пірсона, який не чутливий до нелінійних типів взаємодії)
- наявність при побудові функціональної залежності між параметрами
- велика кількість методів валідації моделей, побудованих на лінійній залежності

Після проведення першої ітерації регресійна статистика електричного споживання представлено в таблиці 2:

Вывод итогов								
<i>Регрессионная статистика</i>								
Множественный R	0,992484019							
R-квадрат	0,985024529							
Нормированный R-квадрат	0,950081763							
Стандартная ошибка	17779,18866							
Наблюдения	11							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	Значимость F			
Регрессия	7	62375161343	8910737335	28,18965529	0,009733804			
Остаток	3	948298648,2	316099549,4					
Итого	10	63323459992						
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	-2020449,154	8034423,979	-0,251474052	0,817689666	-27589572,06	23548673,75	-27589572,06	23548673,75
9450	86,93212126	225,9315583	0,384771929	0,726063042	-632,0829313	805,9471745	-632,0829313	805,9471745
6245	-646,4390711	222,5312119	-2,90493664	0,062251998	-1354,632704	61,75456197	-1354,632704	61,75456197
6356	401,3995974	421,1781798	0,953039869	0,410879447	-938,9773448	1741,77654	-938,9773448	1741,77654
1232	-204,3583848	192,1237253	-1,063681149	0,365499398	-815,7818244	407,0650548	-815,7818244	407,0650548
14236	194,6877326	499,659815	0,389640565	0,722816677	-1395,452799	1784,828265	-1395,452799	1784,828265
4600	100,279568	86,61987793	1,157696945	0,330787371	-175,3835424	375,9426785	-175,3835424	375,9426785
2926	40,71430225	17,20798545	2,366012126	0,098860092	-14,04918747	95,47779197	-14,04918747	95,47779197

Бачимо що більшість чинників має значення $>0,1$, відповідно це пояснюється тим що є відсутність лінійного зв'язку або наявність колінеарності між чинниками. Відкидаємо ці значення та проводимо другу ітерацію.

Результат встановлення БР для процесу споживання електроенергії на підприємстві представлено в таблиці 3

Вывод итогов								
<i>Регрессионная статистика</i>								
Множественный R	0,924017351							
R-квадрат	0,853808065							
Нормированный R-квадрат	0,817260081							
Стандартная ошибка	34017,23673							
Наблюдения	11							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	Значимость F			
Регрессия	2	54066080835	27033040417	23,36129045	0,000456766			
Остаток	8	9257379157	1157172395					
Итого	10	63323459992						
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	1211621,715	1022377,785	1,185101763	0,269984888	-1145985,682	3569229,113	-1145985,682	3569229,113
6356	-153,9988867	162,2059495	-0,949403442	0,370210448	-528,0464768	220,0487033	-528,0464768	220,0487033
2926	50,60139715	10,20834643	4,956865198	0,001111261	27,06090809	74,14188621	27,06090809	74,14188621

Тому, за формулою (2) рівняння лінійної регресії за споживанням електричної енергії набуває вигляд:

$$Y = 1211621,715 - 153,99 \cdot x_1 + 50,6 \cdot x_2$$

де x_1 – плоско-шліфувальні операції;

x_2 – гідро випробувальні операції.

За формулою розрахуємо очікуване значення споживання електричної енергії за 2020 рік та перевіримо з фактичним значенням за відповідний період. Результат розрахунку

представлено на рисунку 1

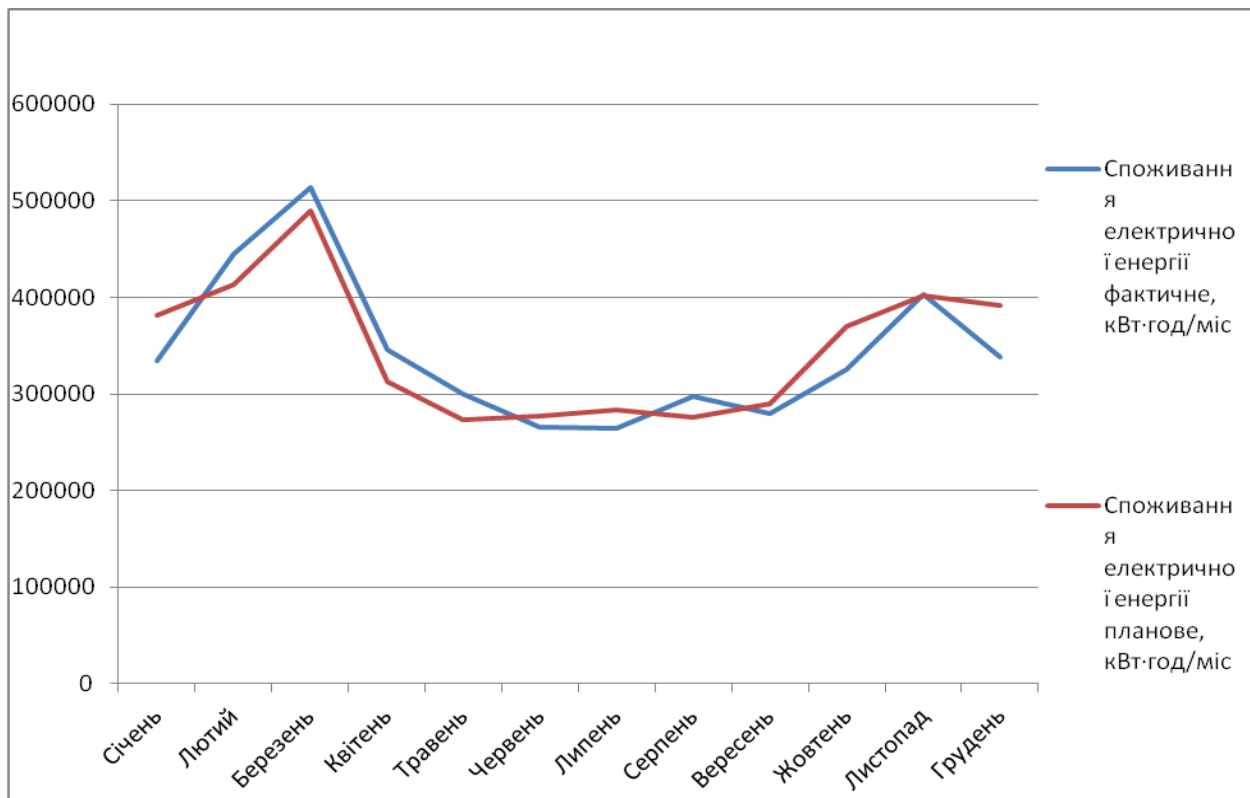


Рисунок 1 – Фактичне та планове споживання електричної енергії за 2020 рік

Результат встановлення БР для процесу споживання стисненого повітря на підприємстві представлено в таблиці 4

Вывод итогов								
Регрессионная статистика								
Множесті	0,955442552							
R-квадрат	0,91287047							
Нормиров	0,782176175							
Стандарті	15,09742614							
Наблюдеі	11							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	Значимость F			
Регрессия	6	9552,33635	1592,056058	6,984776733	0,040430636			
Остаток	4	911,7291042	227,932276					
Итого	10	10464,06545						
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересеч	1902,996948	672,1273644	2,831304078	0,047282472	36,87221682	3769,121679	36,87221682	3769,121679
9450	0,021571368	0,068977401	0,312730945	0,770111186	-0,1699406	0,213083335	-0,1699406	0,213083335
6245	-0,23124023	0,29719578	-0,778073731	0,47998133	-1,056387999	0,59390754	-1,056387999	0,59390754
6356	-0,053919183	0,249097468	-0,216458174	0,839221802	-0,745524629	0,637686263	-0,745524629	0,637686263
1232	0,080042906	0,079671968	1,004655815	0,371906759	-0,141161939	0,301247751	-0,141161939	0,301247751
2926	0,014730249	0,010512042	1,401273781	0,233748366	-0,014455859	0,043916358	-0,014455859	0,043916358
3853	-0,017567446	0,025370566	-0,692434141	0,526763322	-0,088007431	0,052872539	-0,088007431	0,052872539

Тому, за формулою (3.2) рівняння лінійної регресії за споживанням стисненого повітря набуває вигляд:

$$Y = 1902,99 + 0,02 \cdot x_1 - 0,23 \cdot x_2 - 0,05 \cdot x_3 + 0,08 \cdot x_4 + 0,01 \cdot x_5 - 0,01 \cdot x_6$$

де x_1 – свердлильні операції;

- x_2 – координатно-шліфувальні операції;
- x_3 – плоско-шліфувальні операції;
- x_4 – механічна обробка корпусних деталей на обробних центрах;
- x_5 – гідро випробувальні операції;
- x_6 – Приймально-здавальні та періодичні випробовування.

За формулою розрахуємо очікуване значення споживання стисненого повітря за 2020 рік та перевіримо з фактичним значенням за відповідний період. Результат розрахунку представлено на рисунку 2

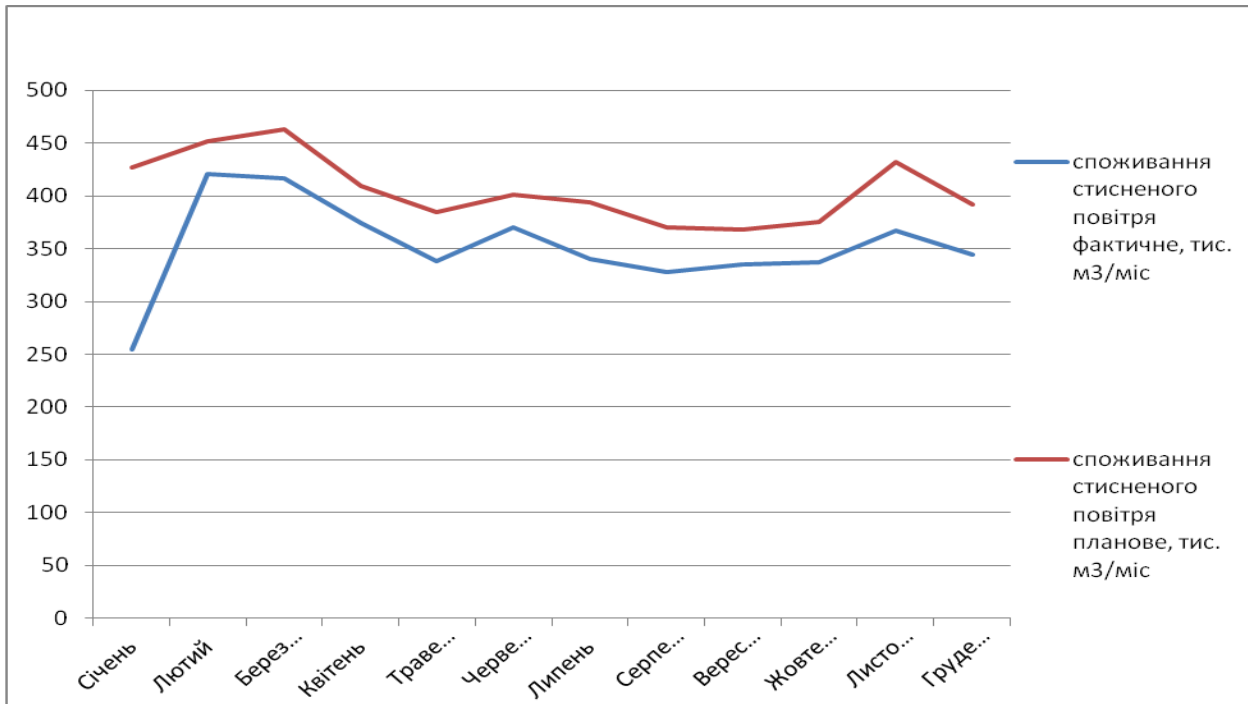


Рисунок 2 – Фактичне та планове споживання стисненого повітря за 2020 рік

Результат встановлення БР для процесу споживання води на підприємстві представлено в таблиці 5

Вывод итогов								
Регрессионная статистика								
Множественный R	0,245035312							
R-квадрат	0,060042304							
Нормированный R-квадрат	-0,17494712							
Стандартная ошибка	969,782827							
Наблюдения	11							
Дисперсионный анализ								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>			
Регрессия	2	480604,6926	240302,3463	0,255510665	0,780608421			
Остаток	8	7523829,853	940478,7316					
Итого	10	8004434,545						
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>	<i>Нижние 95,0%</i>	<i>Верхние 95,0%</i>
Y-пересечение	4154,450223	933,361038	4,451064544	0,002136275	2002,115811	6306,784634	2002,115811	6306,784634
2926	-0,032793514	0,534192271	-0,061388972	0,952555412	-1,2646431	1,199056071	-1,2646431	1,199056071
1232	-0,292593163	1,591993653	-0,183790408	0,858750897	-3,963737107	3,37855078	-3,963737107	3,37855078

Тому, за формулою (3.2) рівняння лінійної регресії за споживанням води набуває вигляд:

$$Y = 4154,45 - 0,03 \cdot x_1 - 0,29 \cdot x_2$$

де x_1 – гідровипробувальні операції;

x_2 – механічна обробка корпусних деталей на обробних центрах.

За формулою розрахуємо очікуване значення споживання води за 2020 рік та перевіримо з фактичним значенням за відповідний період. Результат розрахунку представлено на рисунку 3

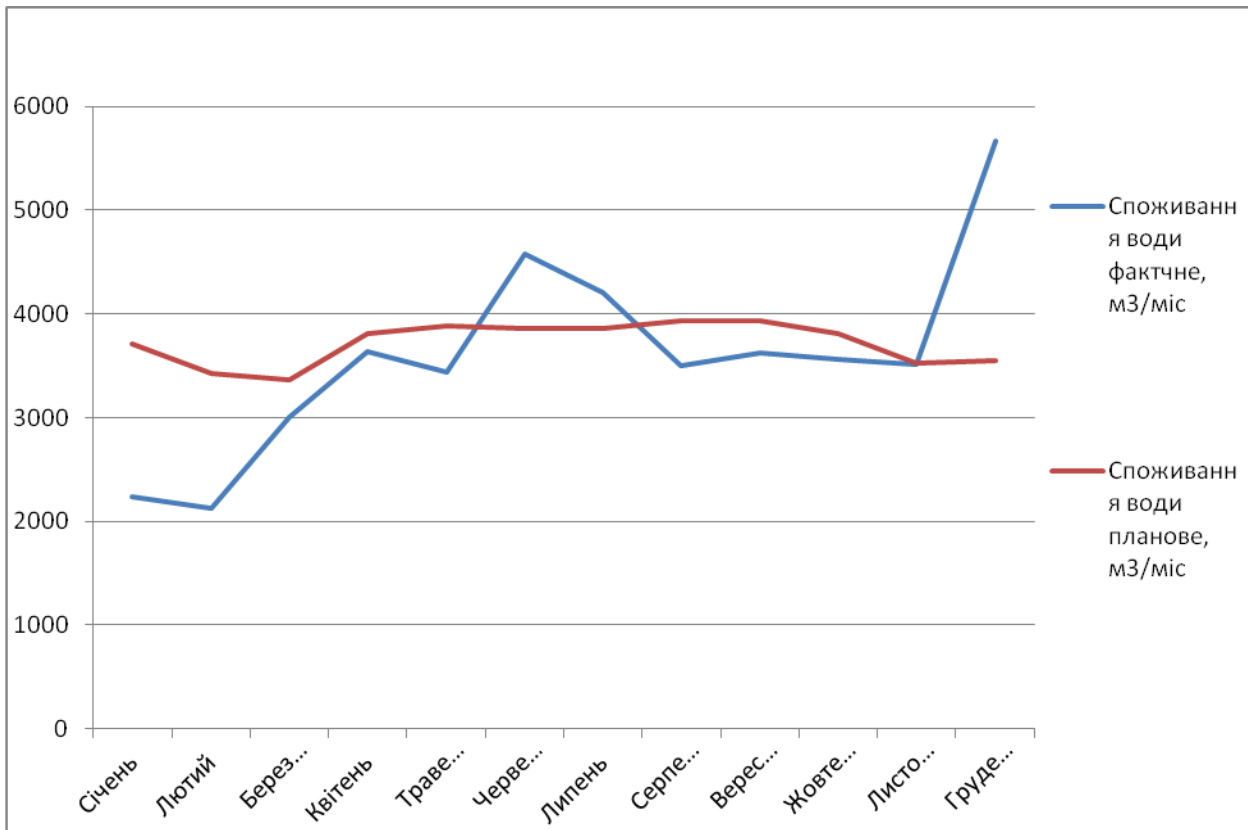


Рисунок 3 – Фактичне та планове споживання води за 2020 рік

Досвід застосування ШНМ для моделювання. Енергооб'єкт є чудовою платформою для подальшого вирішення завдань управління ними в рамках нейромережових технологій. З ТАУ добре відомо, що рівень складності регулятора як сукупності динамічних ланок вбирається у складності ОУ. Звідси можна дозволити собі аналогію – структурна складність НР навряд чи має перевищувати складність НЕ. Інакше кажучи, якщо Вам вдалося синтезувати НЕ, синтез НР для того самого ОУ не повинен викликати особливих труднощів. Напевно, тому завдання, зазначені у табл. 6 цієї публікації, багато в чому перегукуються задачами, переліченими у табл. 6.[3]

Таблиця 6 - Завдання управління енергооб'єктами, в яких застосування ШНМ визнано високоефективним

№	Тип завдання
1	Управління електроенергетичними системами
	– демпфування низькочастотних та субсинхронних резонансних коливань у багатомашинній енергосистемі
	– керування високовольтними лініями постійного струму
	– економічна диспетчеризація енергосистем
	– природоохоронна диспетчеризація енергосистеми
2	Управління компонентами технологічного обладнання енергопідприємств
	– керування температурою пари на виході котла
	– керування режимами роботи парогенератора для мінімізації викидів NOx
	– управління електроприводами власних потреб електростанцій та теплових мереж
	– управління інверторами та фільтрами
	– керування навантаженням у розподільчих мережах
– керування споживанням реактивної енергії	
3	Управління якістю тепlopостачання у великих системах централізованого тепlopостачання
	– керування добовими обсягами відпустки тепла від ТЕЦ
	– керування температурою теплоносія, що відпускається від ТЕЦ
4	Управління енергоспоживанням у будинках

Тут же доречно відзначити, що серед новітніх технологій управління в енергетиці основним конкурентом НР є нечіткі логічні регулятори або, як їх називають, транслітеруючи англomовний термін, фаззи-регулятори (ФР) [4]. Добре формалізуючи експертний досвід "ручного" управління, накопичений оперативно-диспетчерським персоналом енергооб'єктів та енергосистем, ФР мають високі шанси зайняти лідируюче становище серед сучасних засобів автоматизації, проте лише там, де розмірність змінних, що характеризують технологічний процес, невисока. Там же, де кількість факторів, які необхідно брати до уваги при прийнятті управлінських рішень, перевищує 4-5, проблеми реалізації ФР стають настільки відчутними.

НСЕП, що імітує алгоритм адаптивного управління. В цьому випадку як СЕП використовується багатошаровий перцептрон, навчений за допомогою АОР імітувати роботу адаптивного СЕП зі зміщенням полюсів. Адаптивний СЕП є контролером структурою "один вхід – один вихід". Отже, синтезований НСЕС також є системою того самого типу. Враховуючи, що час рахунку ШНМ дуже малий, описаний у [5] НСЕП поєднує в собі гарну якість роботи адаптивного СЕП зі швидкістю реакції ШНМ. Як вхід для НСЕП використовується відхилення швидкості обертання ротора ТГ $\Delta\omega$. Враховуючи динамічний характер генератора як ОУ, на вхід ШНМ подається не тільки поточна координата $\Delta\omega(k)$, а й передісторія перехідного процесу, тобто лагові значення $\Delta\omega(k-1)$, $\Delta\omega(k-2)$ та $\Delta\omega(k-3)$. Були спроби використати та глибші затримки, проте, як зазначається, це не мало значного впливу на роботу системи.

Таким чином, у НР 4 входи. Вихід НР є сигналом управління $V_{\text{СЭС}}$. Зі структури НСЕП (рис. 4) видно, що обчислення лагових значень вхідних сигналів здійснюється у самому НСЕП.

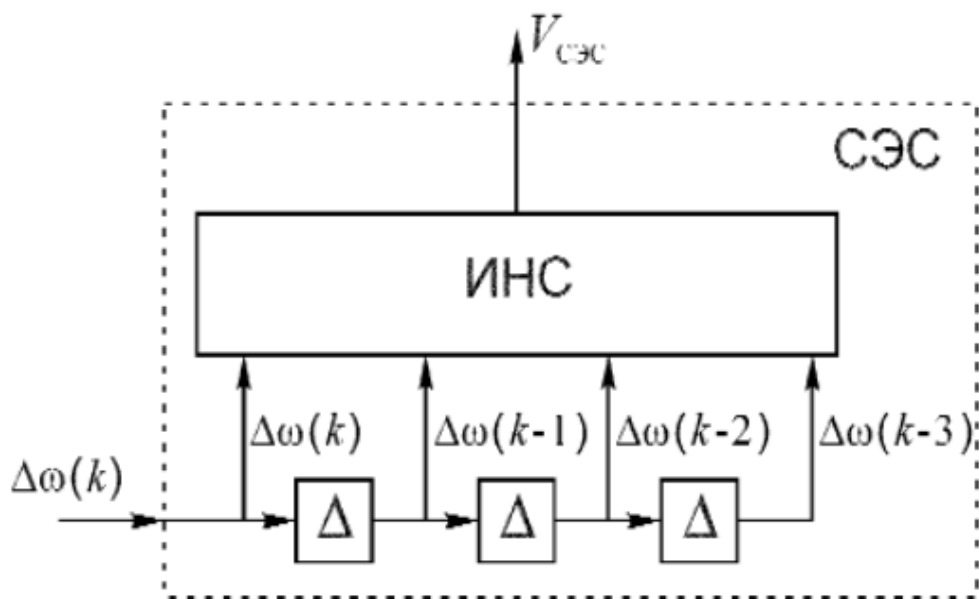


Рисунок 4 – НСЕП з одним входом і одним виходом

Оскільки як ЕМ, що використовується для навчання НСЕП, передбачалося використовувати дані, отримані під час роботи ТГ під управління адаптивного СЕП, були виконані комплексні дослідження перехідних процесів, що розвивалися під впливом різних збурень.

Обурення включали: зміна еталонної напруги і напруги шини нескінченної потужності в діапазоні $\pm 5\%$; зміна моменту на валу ТГ у межах $\pm 20\%$; відключення однією з ліній, що передають; трифазне пошкодження в одному ланцюзі дволанцюгової лінії електропередачі. Так було отримано 35 000 пар шаблонів "вхід-вихід", що утворили ЕМ для НСЕП. З цього набору для навчання НСЕП було використано 20000 пар, а 15000 пар, що залишилися, застосовувалися для тестування якості навчання. На підставі чисельних експериментів, виконаних з моделлю експериментальної установки, автори [5] дійшли висновку, що навіть найпростіший НСЕП має хороші демпфуючі властивості і здатний суттєво покращити динаміку системи.

Висновки: Енергетика України сьогодні є самодостатнім техноценозом, який

сформувався 30-35 років тому на базі передових для того часу технологій управління і більш-менш успішно адаптувався (завдяки інтелектуальним зусиллям самих же енергетиків) до нових умов господарювання в період відносної стабільності ціни енергоносіїв, що мала місце межі століть. Зростання цін на паливо, що почалося півтора роки тому, відкрило нову сторінку у її розвитку, пред'явивши суспільству новий рівень вимог щодо економічності виробництва, передачі, розподілу та споживання всіх видів енергії. Щоб виконати ці вимоги, енергетика має знайти та освоїти нові способи організаційно-економічного та технологічного управління, концентруючі увагу всіх учасників процесу енергопостачання на необхідності зростання енергоефективності. Поява нових цілей та нових методичних підходів для їх досягнення відкриє дорогу новим обчислювальним технологіям, які напрацювали до теперішнього часу великий заділ прийомів рішення складних багато параметричних та багатокритеріальних завдань. І серед них, без сумнівів, виявляться ШНМ, які вже довели свою виключно високу ефективність, принаймні, при вирішенні завдань моделювання енергооб'єктів та короткострокового прогнозування їхньої поведінки.

Список використаних джерел

1. Нейронні мережі: на порозі майбутнього, 02.11.2020р., сайт <https://compress.ru/article.aspx?id=9663>
2. Як працюють нейронні мережі?: ел. ресурс / Драгуцан Андрій, студент кафедри АПЕПС, ТЕФ, сайт <http://apeps.kpi.ua/neural-networks/en>
3. Вороновський Г.К., Махотило К.В., Сергеев С.А. Проблеми та перспективи використання штучних нейронних мереж в енергетиці. 1. Моделювання // Проблеми загальної енергетики. - 2006, №14. - С. 50-61.
4. Momoh J. A., Ma X., Tomsovic K. Overview and Literature Survey of Fuzzy Set Theory in Power System // IEEE Trans. on Power Systems. – 1995. – pp. 1676-1690.
5. An artificial neural network based adaptive power system stabilizer / Y.Zhang, G.P.Chen, O.P.Malik, G.S. Hope // IEEE Trans. on Energy Conversion. – 1993. – v.8, N1. – p. 71-77.

наук.керівник: канд.техн.наук, доцент каф.електропостачання Бориченко О.В.

УДК 621.314

Гілевич К.М., Луцик Т.М., Оніщенко Ю.Є.
Кафедра електропостачання**АНАЛІЗ ФУНКЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ОЦІНКИ ПРОЕКТУ У ПРОГРАМІ
АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ARCHICAD**

Розглянуто проблеми, які виникають при сучасному будівництві енергоефективних будівель. Проведено огляд інструментів Graphisoft EcoDesigner, інтегрований у програму архітектурно-будівельного проектування ArchiCAD, які дають змогу виконати енергетичні розрахунки на стадії розробки і проектування будівель.

Ключові слова: енергоефективність проектних рішень, енергетична оцінка будівель, енергетичні втрати житлового будинку, EcoDesigner.

The problems that arise in the modern construction of energy efficient buildings are considered. A review of Graphisoft EcoDesigner tools, integrated into the architectural and construction design program ArchiCAD, which allows to perform energy calculations at the stage of development and design of buildings.

Keywords: energy efficiency of design solutions, energy assessment of buildings, energy losses of a residential building, EcoDesigner.

Вступ. Енергоефективність будівлі – незамінна нормативна складова сучасного житлового будівництва. Україна маючи намір вступити в європейську спільноту не тільки підтримує напрями енергозбереження, а й на законодавчому рівні впроваджує вимоги для створення енергоефективних будівель. При проектуванні будівель необхідно враховувати та мінімізувати можливі енергетичні втрати під час експлуатації об'єкта, що дозволить ухвалити найбільш ефективні та раціональні проектні рішення. Тенденції розрахунку будівель на енергоефективність в європейських країнах і Україні стрімко зростає.

Мета: дослідити програмне забезпечення для розрахунку енергоефективності будівель.

Завдання: вивчити структуру та роботу програмного комплексу ArchiCAD, EcoDesigner.

1. Огляд програмного забезпечення для розрахунку енергоефективності будівель

З метою полегшення архітектурно-будівельного проектування в області енергоефективності у 2009 році компанія Graphisoft, що спеціалізується на BIM-проектванні (Building Information Modeling), розробник ArchiCAD, анонсувала програмне рішення для оцінки енергетичних втрат будівлі – EcoDesigner [1].

Ефективність застосування BIM-технологій у будівництві очевидна та доведена. Однак, питання підвищення енергоефективності будівель, що також впливає на проектні дані (час, вартість, ресурси), залишається досі цілком недослідженими BIM-моделюванням у повній мірі.

Graphisoft EcoDesigner – це інструмент, інтегрований до ArchiCAD, графічний програмний пакет архітектурно-будівельного проектування. EcoDesigner продовжує свій розвиток, як невід'ємна частина нової версії програми ArchiCad 18, випущеної в 2014 році [2]. Компанія Graphisoft додаток EcoDesigner розвивають свої інструменти орієнтуючись на

архітекторську діяльність але з перспективою виконання енергетичних розрахунків на початковій стадії проектування будівель і її мереж. Можливість проведення таких розрахунків дозволяє виявити на ранніх стадіях проектування недоліки у інженерних розрахунках і полегшує заключні стадії проектних робіт.

EcoDesigner будуючи алгоритм і технологічні забезпечення за допомогою BIM-проектування надає можливість в динамічному режимі проводити аналіз будівлі, де враховано конструкційні особливості, функціональне призначення об'єкта, що проектується, параметри навколишнього середовища (розташування проектованої будівлі, кліматичні дані, захист від вітру, дані по ґрунту і т.д.).

Зручний інтерфейс програми виключає складність введення даних параметрів об'єкта і його освоїти доволі легко на достатньому рівні. Також даний інструмент містить дані виділення CO₂ об'єктом (вуглецевий слід), що дозволяє проаналізувати на різних стадіях проектування екологічність будівлі. EcoDesigner надає можливість оперативно приймати рішення для оптимізації енергетичних показників будівлі під час проектування та дозволяє розрахувати базові економічні показники енергоспоживання під час експлуатації об'єкта у майбутньому.

Як приклад візьмемо побудовану 3D модель будинку з урахуванням проектних характеристик будівлі (рис. 1).

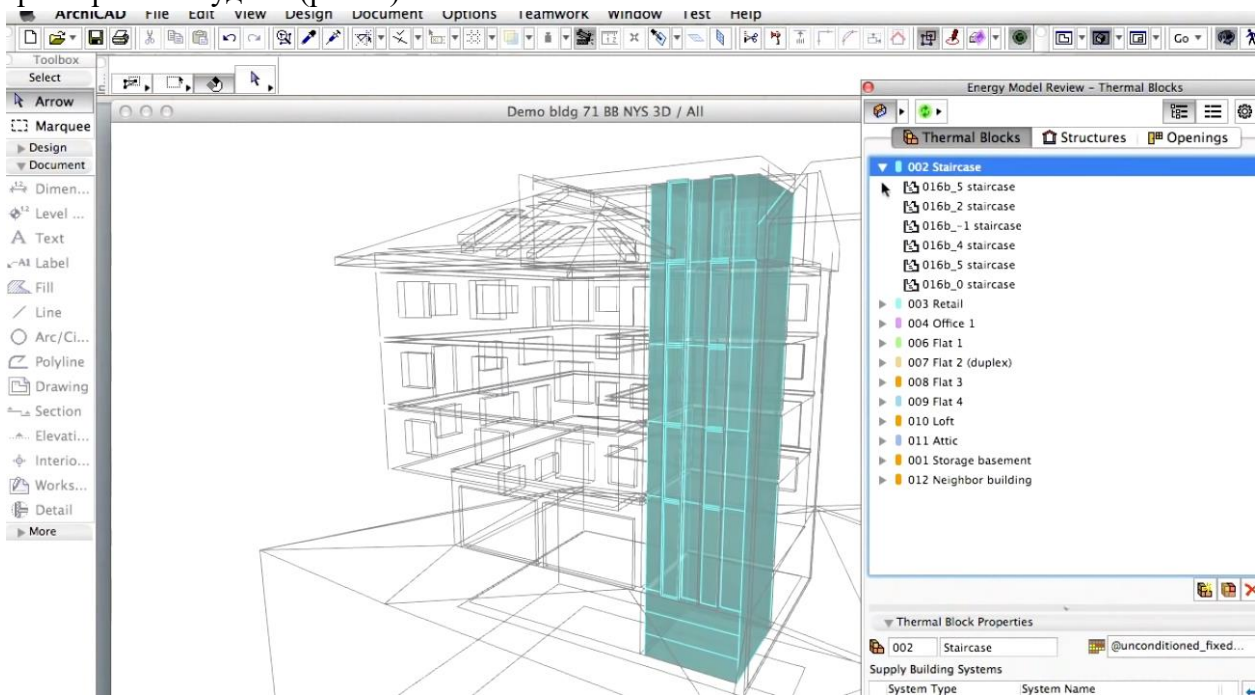


Рисунок 1 – 3D-модель житлового будинку, побудована у програмі ArchiCad для проведення енергетичної оцінки у EcoDesigner

У вкладці меню Параметри – Реквізити елементів – Будівельні матеріали програми можна задати відповідні матеріали огорожувальних конструкцій житлового будинку. Завдяки великому каталогу будівельних матеріалів з урахуванням фізичних властивостей які вбудовані в ArchiCad (рис.2).

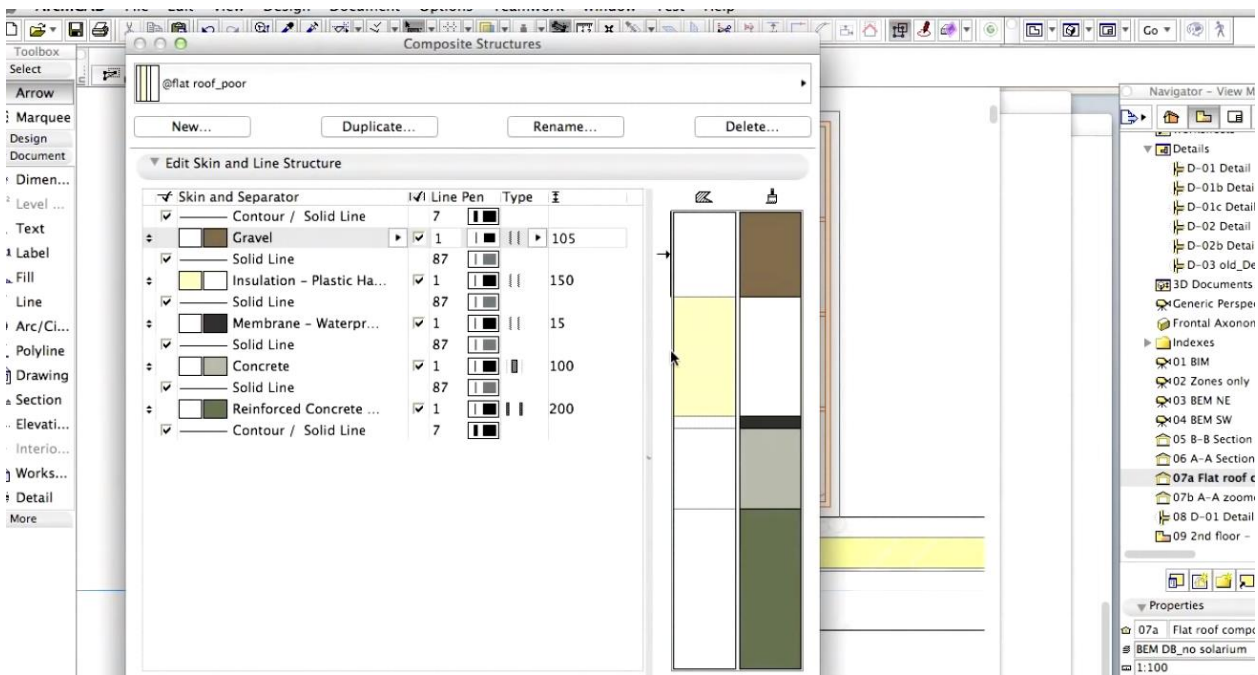


Рисунок 2 – Перелік фізичних властивостей матеріалів огорожувальних конструкцій
 Основне вікно програми EcoDesigner активізується в меню Конструювання/Дизайн –
 Оцінка енергоефективності – Перегляд енергетичної моделі.

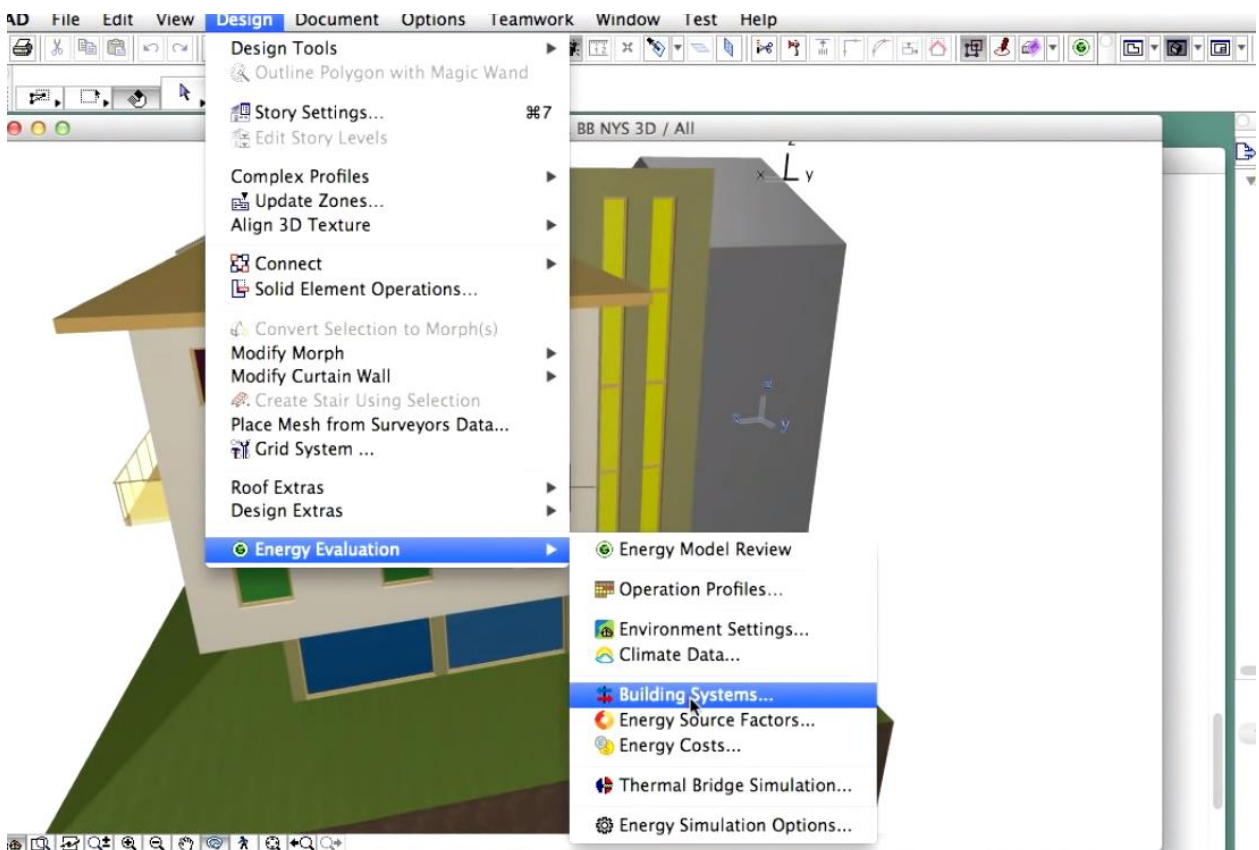


Рисунок 3 – Приклад активізації оцінки енергоефективності

Для заповнення кліматичних даних можна скористатися Google Maps, що запускається з програми EcoDesigner. Програма враховує дані щодо захисту від вітру та затінювання будівлі по сторонах світла відповідно до навколишнього середовища. Кліматичні дані, що надходять

в онлайн режимі із сервера StruSoft, цілком корелюються з нормативними показниками району будівництва.

Розрахунок енергетичної ефективності будівлі проводиться близько хвилини. Одиниці вимірювання енергії показників оцінки енергетичної ефективності об'єкта, на вибір, можуть бути призначені в кВт·год, кБте (британська термічна одиниця) та Мега Дж.

Висновок

EcoDesigner є ефективним програмним забезпеченням, яке дозволяє моніторити енергоефективність будівлі, екологічні і технічні параметри. Розрахунковий інструмент можна використовувати не тільки для проектування будівель, а й у виконанні курсових і дипломних розрахунках.

Список використаних джерел

1. Graphisoft EcoDesigner – екологія органічески вписывается в процесс архитектурного проектирования // CADmaster. Журнал для профессионалов в области САПР. URL: http://www.cadmaster.ru/press/news/news_20090428.html (дата відвідання: 31.10.2021).
2. Електролнне джерело URL: http://www.graphisoft.com/archicad/ecodesigner_star/ (дата відвідання: 31.10.2021)
3. Хабибулина А. Г. Анализ функции энергетической оценки проекта в программе архитектурно-строительного проектирования ArchiCAD [Электронный ресурс] / А. Г. Хабибулина // Казанский государственный архитектурно-строительный университет. – 2014. – Режим доступа до ресурсу: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-funktsii-energeticheskoy-otsenki-proekta-v-programme-arhitekturostroitel'nogo-proektirovaniya-archicad>.

УДК 621.314

Вишневська О.В.
Кафедра електропостачання

ОСОБЛИВОСТІ ВІДБОРУ ЧИННИКІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА ДЛЯ ПОБУДОВИ БАЗОВОГО РІВНЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

Анотація. У даній роботі здійснено аналіз нормативно-правової бази сфери енергоефективності в Україні та світі, досліджено методи побудови БРЕ як основного інструменту контролю та прогнозування енергоспоживання, розроблено алгоритм для визначення впливових чинників при розрахунку параметрів БРЕ. Отримані результати можуть бути використані у приватному та державному секторі промисловості України для запровадження або вдосконалення системи контролю та моніторингу рівня ефективності використання енергоресурсів.

Ключові слова: промислові підприємства, енергоефективність, енергоспоживання, базовий рівень енергоспоживання, енергоменеджмент, енергетична безпека.

Annotation. It was provided in this work an analysis of the regulatory framework of energy efficiency, explores methods for constructing BEC as the main tool for monitoring and forecasting energy consumption, developed an algorithm for determining influential factors for BEC. The obtained results can be used in the private and public sector of industry of Ukraine for introduction or improvement of the system of control and monitoring the level of efficiency energy use.

Keywords: industrial enterprises, energy efficiency, energy consumption, baseline of energy consumption, energy management, energy security.

Вступ

Станом на 2019 рік сектор промисловості України покриває біля 34,1% загального випуску продукції та послуг, 20% валової доданої вартості та 14,9% кількості працюючих. Понад 30% загальних витрат енергії відповідають саме за промисловість, яка є одним з найбільшим споживачів енергетичних ресурсів в Україні. Водночас рівень ефективності споживання енергії на виробництві є на досить низькому рівні. Це наочно демонструє показник енергоемності ВВП, що в Україні вищий за середнє світове значення більше, ніж удвічі. У порівнянні з Європою показник енергоемності Україні відрізняється у 3-4 рази.

Важко підрахувати втрати державного бюджету через низький рівень ефективності використання енергії. Підняття рівня енергоефективності скорочує затрати підприємств на виробництво, а отже зменшує собівартість продукції. Також впровадження систем та технологій з енергозбереження дадуть змогу підвищити продуктивність та якість виробництва товарів. Сукупність таких заходів позначається на конкурентоспроможності підприємства на українському ринку та закордоном [1].

Для аналізу доцільності впровадження тих чи інших заходів з енергозбереження слід запровадити енергетичну політику підприємства, що дозволить функціонування систем енергетичного менеджменту, буде здійснювати моніторинг та контроль використання енергоресурсів.

Результати дослідження

Для ефективного контролю впроваджених заходів з енергоефективності на об'єктах, системах, процесах і обладнанні необхідно бути обізнаним у тому, як використовують енергію на підприємстві і скільки її споживають протягом певного тривалого періоду. З метою якісного моніторингу застосовують показники енергоефективності, порівнюють їх з базовими та, врешті-решт, пропонують певні зміни для безперервного покращення

результативності енергетичної політики.

На основі даних про споживання енергетичних ресурсів за попередні періоди визначається базові показники енергоспоживання. Згідно зі стандартом ДСТУ ISO 50006:2016 « базовий рівень енергоспоживання, що є довідковим показником, характеризує та кількісно визначає рівень досягнутої/досяжної енергоефективності організації протягом певного періоду часу » [2].

Далі потрібно виміряти зміну енергетичних показників відносно базової лінії. Метою побудови базового сценарію є, наприклад, оцінка покращення чи погіршення енергетичної результативності від впровадження системи енергетичного менеджменту на підприємстві. Тому організація повинна періодично вимірювати наявний рівень своєї енергоефективності у порівнянні з базовим.

Існує п'ять головних кроків для встановлення базового рівня енергоспоживання:

1. Слід окреслити межі системи, що розглядається.
2. Визначити усі джерела енергії у даній системі.
3. Визначити базовий період.
4. Проаналізувати чинники, що впливають на використання енергоресурсів.
5. Встановити показники енергоефективності (ПЕЕ).

Найчастіше проблемним є четвертий етап, під час якого виконується дослідження чинників, що впливають на базовий рівень енергоефективності. Це пов'язано з відсутністю точної та надійної інформації щодо даних.

Побудова якісної базової лінії енергоспоживання може виявитись найскладнішим етапом при плануванні системи енергетичного менеджменту. Неточний базовий рівень енергоефективності може знищити усі переваги впровадження СЕМ, у зв'язку з некоректною оцінкою енергетичних характеристик та неправильним визначенні впливу заходів з підвищення рівня енергоефективності [3].

При розробці прогнозу для математичної моделі енергоспоживання виконується аналіз усіх можливих факторів, що можуть мати вплив на зміну стану системи у майбутньому. Проте, переважно до розгляду беруться лиш основні фактори, котрі у більшій кількості випадках мають значний вплив на споживання та використання енергоресурсів на підприємстві чи у будь-якій іншій системі. Дія більшості з цих параметрів на зміну кількості споживання енергії носить нелінійний характер.

Тому, якщо при розрахунку математична модель не враховує достатль параметрів, що значно впливають на її зміну, або ж параметри враховуються некоректно, то є ймовірність, що прогноз не справдиться.

Слід підкреслити, що протилежна ситуація, коли враховуються фактори, котрі не відображаються на зміні стану системи, може призвести до перевитрат ресурсів та значно ускладнити процедуру розрахунку прогнозу [4].

Для якісного відбору чинників, що впливають на енергоспоживання необхідно провести досить складну процедуру відбору. Вона включає в себе такі етапи як:

1. Застосування експертних методів.
2. Оптимізація чинників за важливістю.
3. Розрахунок рівня впливовості чинників методами аналізу багатовимірних даних.

Групу експертів повинні складати фахівці або ж персонал підприємства, котрий безпосередньо працює з досліджуваним об'єктом чи системою. Анкетування проводиться в декілька раундів, доки не буде досягнуто консенсусу. Визначення кінцевого переліку чинників проводиться із застосуванням найбільш поширеного для цих цілей методом головних компонент.

Висновки

1. Сьогодні існує величезна нормативно-правова база у сфері енергоефективності. Міжнародні стандарти серії ISO 50000 були успішно перекладені та затвердженні і в Україні.

ISO 50001 встановлює вимоги щодо системи енергетичного менеджменту на підприємстві, становлення ПЕЕ та відповідних БРЕ, а ISO 50006 надає організаціям методологічні вказівки щодо того, як їх забезпечити.

2. Планування та моніторинг споживання енергоресурсів на підприємстві є базою для розробки та впровадження СЕМ та покращення енергетичної політики організації. Даний крок забезпечить прийняття якісних та обґрунтованих рішень щодо впровадження заходів з енергозбереження у майбутньому задля постійного вдосконалення рівня енергоефективності. Без точного базового сценарію ефективність системи енергетичного менеджменту не може бути відслідкована, а отже, неможливі коригувальні дії та покращення.

3. Вибір методології для окреслення чинників, котрі мають значний вплив на величину споживання енергоресурсів є важливим завданням для розробки коректної математичної моделі прогнозування майбутніх періодів. Для будь-якої окремої системи чи об'єкта сукупність параметрів, котрі потрібно враховувати для прогнозу енергоспоживання є різним. Це означає неможливість визначення єдиного вичерпного переліку, що дав би змогу розрахунку точного та якісного прогнозу навіть для схожих за графіком навантаження, призначенням та потужністю об'єктів.

Список використаних джерел

1. Совершенствование информационного обеспечения задач моделирования и управления режимами СЭС в условиях реформирования электроэнергетики/ А. Праховник, В. Попов, В.Ткаченко, Е. Луцько//Енергетика: економіка, технології, екологія, № 1, 2010, стор. 42-47

2. ДСТУ ISO 50006:2016 Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання рівня досягнутої енергоефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності. Загальні положення і настанова (ISO 50006:2014, IDT) – [Чинний від 01.09.2016]. –(Державний стандарт України).

3. Особливості короткострокового прогнозування електричного навантаження енергосистеми із суттєвою складовою промислового електроспоживання / П. О. Черненко, О. В. Мартинюк, В. О. Мірошник // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. - 2016. - Вип. 43. - С. 24-31.

4. Шульга Ю.И. Проблемы нормирования энергопотребления и направления их решения / Ю.И. Шульга, В.Ф. Находов, Е.А. Глухонина 202 //Доклады международной научно-технической конференции «Энергоэффективность» – 2002. – С. 76-81.

наук.керівник: канд.техн.наук, доцент каф.електропостачання Бориченко О.В.

УДК 621.314

Запорожченко М.А.
Кафедра електропостачання

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДЖЕРЕЛ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Анотація. В роботі наведено аналіз використання відновлюваних джерел енергії в промисловості, а також обґрунтовано вибір доцільних для вітчизняного виробництва сучасних нетрадиційних джерел енергії задля забезпечення енергозбереження країни. Перспективним напрямком подальших досліджень є розробка методики моніторингу процесів використання альтернативних джерел енергії на промислових підприємствах.

Ключові слова: промислові підприємства, енергоефективність, енергоменеджмент, енергетична безпека, використання альтернативних джерел енергії.

Annotation. It was provided in this work an analysis of using of alternative energy sources in the industry as well as reasonably feasible choice for modern native production of alternative energy sources to ensure energy saving in country.

Keywords: industrial enterprises, energy efficiency, energy management, energy security, use of alternative energy sources.

Вступ

Неефективне використання енергетичних ресурсів, мале використання поновлюваних джерел енергії, неекономне чи нераціональне використання електроенергії підприємствами без використання альтернативних джерел змушують серйозно замислитись над проблемою заощадження енергії [1].

Дотримання інтересів національної безпеки України та принципів сталого розвитку вимагає особливої уваги до питання розвитку підприємств промисловості. Промисловість є фундаментом, на якому базується та розвивається економіка держави, відбуваються інноваційні зміни та розвивається людський капітал. Пошук нових шляхів розвитку промисловості, зокрема, за кризових умов господарювання є основним завданням державної економічної політики.

Зі свого боку підприємства промисловості в Україні практично постійно перебувають у стані протистояння численним внутрішнім і зовнішнім загрозам. Без єдиної ефективної державної стратегії розвитку промисловості та відсутності сталого середовища розвиток таких підприємств є вкрай ускладненим, а досягнення ефективності діяльності залежить виключно від якості менеджменту.

Відтак, метою статті є обґрунтування особливостей використання альтернативних джерел енергії на промислових підприємствах.

Результати дослідження

Відновлювальні джерела енергії – невикопні джерела енергії, які постійно існують або періодично з'являються в навколишньому природному середовищі, такі як енергія сонця, вітру, геотермальна, аеротермальна, гідротермальна, енергія хвиль та припливів,

гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів [2].

Причинами використання ВДЕ стало вичерпання запасів органічних видів палива, різке зростання їхньої ціни, низька ефективність технологій застосування та шкідливий вплив на довкілля.

Великі виробництва вимагають значного споживання енергії, особливо електроенергії. Згідно з доповіддю про відновлювану енергію у виробництві від Міжнародної агенції з відновлюваної енергетиці, «електроенергія становить близько 20% від кінцевого енергоспоживання у виробництві і використовується для виробництва алюмінію, обладнання, освітлення та охолодження на заводах. Енергоємні сектори, а саме залізо і сталь, хімічні та нафтохімічні, кольорові метали, неметалеві корисні копалини, целюлоза і папір, як і раніше, використовують більше 75% промислового використання енергії. Однак вони становлять менше 5% всіх світових виробничих підприємств [2]».

ВДЕ пропонують найефективніший метод зменшення споживання енергії, і виробники в усьому світі впроваджують унікальні способи використання відновлюваної енергії з цією метою.

В Україні, як і в європейських країнах, діє система стимулювання розвитку відновлюваної енергетики. Ця система включає номіновані в євро «зелені» тарифи, диференційовані за типом та потужністю об'єктів, а також за строками введення в експлуатацію об'єктів енергетики. Держава зобов'язується купляти у станцій ВДЕ електроенергію за «зеленим» тарифом до 2030 року [3].

Встановлені потужності генерації електроенергії з відновлюваних джерел становлять лише 1 375 МВт. Вони генерують менше 2% електроенергії, що споживається в Україні, хоча у нас один з найбільш вигідних «зелених» тарифів серед європейських країн.

«Зелений» тариф – один із способів підтримки генерації з ВДЕ, що використовувався у десятках країн. Його суть у тому, що оператор ринку викупує енергію з ВДЕ за спеціальною підвищеною ціною.

Розвиток ВДЕ в Україні загалом спрямований на сприяння залученню інвестицій у розвиток сфери відновлюваної енергетики України, тобто на будівництво електростанцій, що працюють на ВДЕ. Світова економіка, заснована на викопному паливі, а також збільшення викидів парникових газів, викликає радикальні зміни кліматичної системи, що визнається загрозою сталому розвитку [4]. Важливість імплементації принципів сталого розвитку у діяльності підприємств безперечно має важливе соціальне значення, однак, відображується і на ефективності їх діяльності та економічній безпеці.

Промислові підприємства України достатньо енергоємні виробництва, для яких електроенергія і газ – вагомими компонентами виробничої собівартості. Питання забезпечення енергетичної безпеки підприємств – питання майбутнього. В умовах нестабільності зовнішнього середовища, непередбачуваності енергетичної політики держави і кон'юнктури світових ринків вже сьогодні необхідно шукати шляхи використання альтернативних джерел енергії на підприємствах. Використання альтернативних джерел енергії на підприємствах може бути економічно вигідним.

До альтернативних джерел енергії, які можна використовувати на вітчизняних підприємствах відносяться: сонячна енергія, енергія вітру і енергія біомаси. На відміну від викопних палив ці форми енергії не обмежені геологічно накопиченими запасами. Це означає,

що їх використання не веде до неминучого вичерпання запасів [5].

Енергія сонця – нескінченна, безкоштовна, найбільш безпечна для довкілля серед усіх видів енергії. Ця енергія може вироблятися там, де це необхідно. Сонячні теплові та фотоелектричні установки не виробляють забруднюючих газів та шкідливих викидів. Сонце здатне забезпечити стійкість та надійність поставок та енергетичну незалежність, що вкрай важливо у нинішній ситуації енергетичної кризи.

В умовах нашого клімату сонячні системи здатні виробляти як електроенергію, так і тепло практично на всій території (з різною ефективністю) протягом усього року. Це означає, що теплоенергетична геліоустановка працюватиме, згідно різних оцінок, з віддачою в 50% і більше від 7 до 9 місяців на півдні, 5 – 7 місяців – у північних областях. Взимку ефективність роботи падає, але не зникає. Оптимально підібране обладнання зменшує річне використання енергії для підігріву води до 50–60% та електроенергії з мережі до 50–70%.

Вітроенергетика на даний час є найбільш розвиненим видом нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні. Україна має власні розробки вітроенергетичних установок (ВЕУ) та власне промислове виробництво, є і ліцензійні ВЕУ. Переваги виробництва електроенергії за допомогою вітру: абсолютно екологічно чисте виробництво (відсутність шкідливих відходів); значна економія; доступність; практична невичерпність. Для промислових підприємств можна використовувати ВЕУ невеликої потужності, щоб покривати власні витрати електроенергії, або ж її частини.

Біоенергетика – галузь електроенергетики, заснована на використанні біопалива, яке створюється на основі використання біомаси. До біомаси відносять біологічно відновлювальні речовини органічного походження, що зазнають біологічного розкладу (відходи сільського господарства (рослинництва і тваринництва), лісового господарства та технологічно пов'язаних з ним галузей промисловості, а також органічна частина промислових та побутових відходів). До біопалива відносяться: біогаз, біодизель, гранули, брикети із біомаси. Використання біопалива дозволяє відмовитись від традиційного палива. Підприємства використовуючи практично відходи власного виробництва мають можливість отримувати екологічно чисте пальне.

Висновки

Встановлено, що використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії доводить їх велику перспективність для задоволення енергетичних потреб промисловості. За результатами проведеного дослідження виявлено та охарактеризовано низку особливостей використання альтернативних джерел енергії на промислових підприємствах:

- цей процес відповідає цілям сталого розвитку та стратегії європейської інтеграції України;
- на державному рівні підтримка та моніторинг впровадження практики використання альтернативних джерел енергії на промислових підприємствах практично відсутні, основний акцент здійснюється на виробництві та збуті енергії;
- організаційне забезпечення використання альтернативних джерел енергії на промислових підприємствах передбачає розробку та впровадження системи енергоменеджменту для підвищення ефективності та рентабельності відповідних змін.

Перспективним напрямком подальших досліджень є розробка методики моніторингу процесів використання альтернативних джерел енергії на промислових підприємствах.

Список використаних джерел

- 1- Панасюк М. В. Порівняльна характеристика поновлюваних джерел енергії / М. В. Панасюк // XLIV науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету за участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області. – Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/ineeem/txt/panasyuk-shulle.pdf>
- 2- Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Під заг. ред. А. К. Шидловського. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2007. – 560 с.
- 3- Цілі сталого розвитку. Ціль 7: відновлювана енергія. URL: <https://www.ua.undp.org/content/ukraine/uk/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>
- 4- Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підруч. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом підготов. "Електротехніка та електротехнології" та "Електромеханіка" / С. О. Кудря; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т". – К.: НТУУ "КПІ", 2012. – 489 с.
- 5- Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: навч. посіб. / І. О. Сінчук [та ін.]; під ред. д-ра техн. наук, проф. Сінчука О. М. – Кременчук : Щербатих О. В., 2013. – 192 с.

наук.керівник: канд.техн.наук, доцент каф.електропостачання Бориченко О.В.

УДК 621.314

Усенко А.О.
Кафедра електропостачання**ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНИХ СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПОБУТОВОГО СЕКТОРУ**

Анотація. В роботі наведено аналіз використання гібридних систем електропостачання побутового сектору. Моніторинг процесу використання застосування комбінованих систем в побуті.

Ключові слова: енергоефективність, гібридні системи, споживач.

Annotation. The analysis of the use of hybrid power supply systems of the household sector is given in the work. Monitoring the process of using combined systems in the home.

Key words: energy efficiency, hybrid systems, consumer.

Вступ

На теперішній час у світі відбуваються значні зміни у підходах до формування енергетичної політики держав: здійснюється перехід від застарілої моделі функціонування енергетичного сектору, в якому домінують великі виробники, викопне паливо, неефективні мережі, недосконала конкуренція на ринках природного газу, електроенергії, вугілля – до нової моделі, в якій створюється більш конкурентне середовище, вирівнюються можливості для розвитку й мінімізуються домінування одного з видів виробництва енергії або джерел та шляхів постачання палива. Разом з цим віддається перевага підвищенню енергоефективності й використанню енергії з альтернативних та відновлювальних джерел.

Зазвичай при цьому враховуються та впроваджуються заходи із підвищення надійності функціонування енергосистем, а також, як результат, зменшення шкідливих викидів в атмосферу та адаптації до змін клімату. Наразі це ставить перед Україною нові економічні та технологічні виклики, для того щоб бути ваговим гравцем на енергетичному ринку в континентальній Європі. Але водночас відкриває нові можливості для пошуку та впровадження інноваційних розробок у галузі видобутку, переробки викопних видів палива, виробництва, трансформації, постачання і споживання енергії, що зумовлює потребу у формуванні нової енергетичної політики держави. Україна використовує для власних потреб різноманітні джерела енергії, такі як нафта, природний газ, вугілля, атомна і гідроенергія, енергія вітру і сонця тощо [16]. Вона є і в перспективі прагне залишатися одним із найбільших виробником вуглеводнів та надійним транзитером енергоресурсів, забезпечуючи безпечно і надійне їх постачання як власним споживачам, так і споживачам суміжних ринків, а також вносить свій внесок в продовження економічного зростання і процвітання для українців. Проте сучасний стан вітчизняної електроенергетики такий, що система централізованого електропостачання не в змозі забезпечити вимоги високотехнологічного обладнання щодо надійності електропостачання та якості електричної енергії. Перерви в електропостачанні складають близько 10% від загального часу технологічних процесів протягом року (проти 0,1% у розвинених країнах), а тривалість споживання неякісної електроенергії (особливо для

сільських споживачів) складає близько 45% від загального часу роботи. Більша частина генеруючих активів та мереж енергопостачання зношена та неефективна. Переважна більшість блоків теплових електростанцій перевищили межю фізичного зношення й потребує ґрунтовної модернізації або заміни, більшість блоків атомних електростанцій наближається до межі проектного терміну експлуатації. Баланс потужності енергосистеми України характеризується дефіцитом регулюючих потужностей, що зумовлює нераціональне використання існуючих потужностей та високий рівень втрат.

Результати дослідження

На теперішній час у світі відбуваються значні зміни у підходах до формування енергетичної політики держав: здійснюється перехід від застарілої моделі функціонування енергетичного сектору, в якому домінують великі виробники, викопне паливо, неефективні мережі, недосконала конкуренція на ринках природного газу, електроенергії, вугілля – до нової моделі, в якій створюється більш конкурентне середовище, вирівнюються можливості для розвитку й мінімізуються домінування одного з видів виробництва енергії або джерел та шляхів постачання палива.

Разом з цим віддається перевага підвищенню енергоефективності й використанню енергії з альтернативних та відновлювальних джерел. Зазвичай при цьому враховуються та впроваджуються заходи із підвищення надійності функціонування енергосистем, а також, як результат, зменшення шкідливих викидів в атмосферу та адаптації до змін клімату. Організація резервного електропостачання особливо актуальна в умовах сильного зносу загальних електромереж.

У багатьох випадках, відключення електроенергії навіть на кілька годин може спричинити за собою величезні витрати. Якість електроенергії, яка виробляється автономними електрогенераторами, має параметри на рівні, а часом і кращі, ніж в централізованій мережі. Це особливо важливо при використанні їх як джерел енергії для об'єктів, оснащених обладнанням, чутливим до якості електроенергії.

Ступінь участі електрообладнання відновлюваної енергетики в електрифікації об'єкта залежить від багатьох факторів, серед яких найважливішими є: енергетичний потенціал ВДЕ і його зміна в часі, потреби 51 об'єкта в потужності і енергії, вимоги до надійності електропостачання, економічні показники. Залежно від цих та інших чинників вибирається склад і структура автономної системи електропостачання об'єкту.

Висновки

За існуючими оцінками, економічний потенціал ВДЕ має дуже великі перспективи для розвитку та впровадження на території України. Основною перешкодою є залежність від існуючих економічних умов; вартості, наявності та якості запасів корисних копалин паливно-енергетичних ресурсів; регіональних особливостей і т.д. Відновлювана енергетика здатна зробити значний вклад у вирішення проблем підвищення надійності електропостачання споживачів та сприятиме децентралізації системи ОЕС України. Найбільш перспективним варіантом побудови комбінованих автономних систем електропостачання є впровадження проектів з комбінації централізованого електропостачання разом з вітро та фотоелектричними генеруючими установками.

Список використаних джерел

1. Лукутин Б.В. Децентрализованные системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие/ Лукутин Б.В., Муравлев И.О.,
2. Плотников И.А. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 100 с.
3. Виссарионов, В.И. Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии / В.И. Виссарионов, С.В. Белкина, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин -М., 2004. 448 с
4. Праховник А.В. Контроль ефективності енерговикористання – ключова проблема управління енергозбереженням / А.В. Праховник, В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2009. - №8 (66). – С. 41-54.
5. Праховник А. В. Побудова автоматизованих систем обліку електроенергії для енергетичних об'єктів / А.В. Праховник, В.П. Калинин, О.В. Дегтярьов // Новини енергетики. – 2007. – №5. – С.55-58.
6. Ковалко М.П. Особливості формування енергозберігаючої політики в Україні / М.П. Ковалко, С.П. Денисюк. – К.: Держкоменергозбереження України, 1996. – 72 с. 30.
7. Праховник А.В. Практичний посібник з енергозбереження для об'єктів промисловості, будівництва та житлово-комунального господарства / А.В. Праховник, В.В. Прокопенко, О.М. Закладний, В.І. Дешко та інші. – Луганськ: Місячне сяйво, 2010. – 696 с.
8. Гелетуха Г.Г. Україна: нетрадиційні та відновлювані джерела енергії / Г.Г. Гелетуха, С.О. Кудря // Зелена енергетика. - 2005.- №2.- С. 6-8.

наук.керівник: канд.техн.наук, доцент каф.електропостачання Калинин В.П.

Савіцький Д.О., студ. гр. ОН-301мп

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕРГАРМОНІКИ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ ПАКЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ

Анотація. У статті розглядається дослідження інтергармоніки на основі застосування пакетного вейвлет-перетворення. Висвітлюється результати дослідження.

Ключові слова: якість напруги, гармоніки, інтергармоніки, вейвлет-перетворення, дерево вейвлет-пакетного розкладання.

Інтергармоніки є струми або напруги, які не є кратними основній частоті змінного струму. Повного розуміння природи електромагнітних збурень, що асоціюються з інтергармоніками, ще немає, і в даний час до цього явища виник підвищений інтерес. Інтергармонік завжди присутні в системі електропостачання, але останнім часом з різким збільшенням силових електронних систем їх практичний вплив стало більш відчутним. При аналізі форми синусоїди змінного струму інтергармоніки визначаються як компоненти спектра в квазістійкому стані в певному діапазоні частот. У (таблиці 1.1) наведено математичні визначення інтергармоніки і не тільки.

Таблиця 1.1 - Спектральні складові хвилі (частоти f)

Гармоніки	$f = nf_1$ де n – ціле число більше нуля
Компоненти постійного струму	$f = nf_1$ для $n = 0$
Інтергармоніки	$f \neq nf_1$ де n – ціле число більше нуля
Субгармоніки	$f > 0$ Гц і $f < f_1$
f_1 = основна частота напруги (основна гармоніка)	

Джерелами інтергармонік є споживачі, які працюють постійно або тимчасово в перехідному режимі. Інтергармоніки можуть генеруватися на будь-якому рівні напруги і переносяться між рівнями, тобто інтергармоніки, створені в системах високої напруги і середньої напруги, вбудовуються в систему низької напруги та навпаки. Їх величина рідко перевищує 0,5% напруги основної гармоніки, хоча можуть виникати і більш високі рівні в умовах резонансу.

Інтергармоніки виникають внаслідок модуляції основної частоти і гармонік іншими частотними компонентами і спостерігається під час експлуатації статичних перетворювачів частоти, зокрема циклоконверторами, асинхронними двигунами, асинхронними перетворювальними каскадами, дуговими печами, зварювальними машинами тощо. Через це дослідження їх виникнення, поширення і агрегації важливе для забезпечення якості та надійності від джерела живлення.

Існують два основні механізми які призводять до появи інтергармонік. Перший полягає у виникненні складових у частоті напруги живлення в його гармоніках в результаті зміни їх амплітуд і кутів фаз. Це викликається швидкою зміною значень струму в електроустановках та устаткуванні, які можуть бути причиною перепаду напруги. Обурення викликаються навантаженнями в перехідних режимах постійно або тимчасово або у багатьох випадках у разі модуляції струмів і напруг. Ці обурення носять випадковий характер і залежить від устаткування і процесів.

Другим механізмом є асинхронне перемикання (тобто несинхронізоване із частотою живлення) напівпровідникових пристроїв статичних перетворювачів. Типовим прикладом є перетворювачі частоти та пристрої з широтно-імпульсною модуляцією. Вироблені ними інтергармоніки можна виявити практично в будь-якій частині спектру живлення.

Вплив інтергармонік може призводити до порушень роботи пристроїв, що приймають сигнали, що передаються силовими лініями. На дискретних частотах, близьких до основної, інтергармоніки можуть призвести до флікера. Це пов'язано з тим, що дані частоти можуть викликати амплітудну модуляцію основної частоти струму, яка буде особливо відчутною при частоті модуляції, близької до 10 Гц. Тривалий вплив може призвести до додаткового нагрівання обладнання, що призводить до скорочення термінів служби та пошкодження конденсаторів, машин, що обертаються, та інших пристроїв.

На сьогоднішній день існує велика кількість методів які дозволяють виміряти або ще кажучи визначити інтергармоніки. Вимірювання інтергармонік завжди викликав серйозну стурбованість при проблемах якості енергії, контролем, а також захистом енергосистеми. В даний час існує цілий ряд алгоритмів аналізу форми хвилі струму і напруги. Оцінка їх ефективності включає в себе визначення точності і швидкодії. На (рис. 1.1) зображено основні методи які допоможуть визначити інтергармоніки.

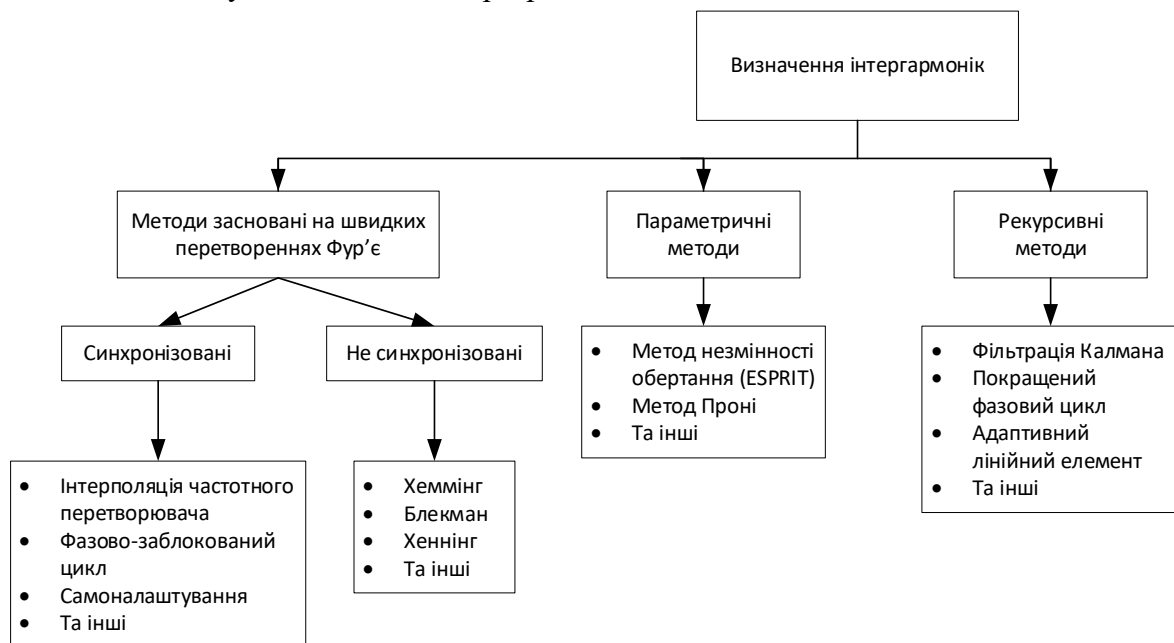


Рисунок 1.1 - Класифікація основних методів визначення інтергармонік

Алгоритм визначення інтергармонік є наступним. Гармонійний аналіз необхідно проводити до 50 гармоніки, що при часовому вікні 200 мс, частотному розділенні 5 Гц і необхідності виконання умов теореми (Шенона Котельникова) яка призводить до частоти дискретизації вхідного сигналу 6,4 кГц і вейвлет-розкладання до $j = 7$ рівня. На (рис. 2.1) зображено дерево вейвлет-пакетного розкладання з групуванням частотних груп.

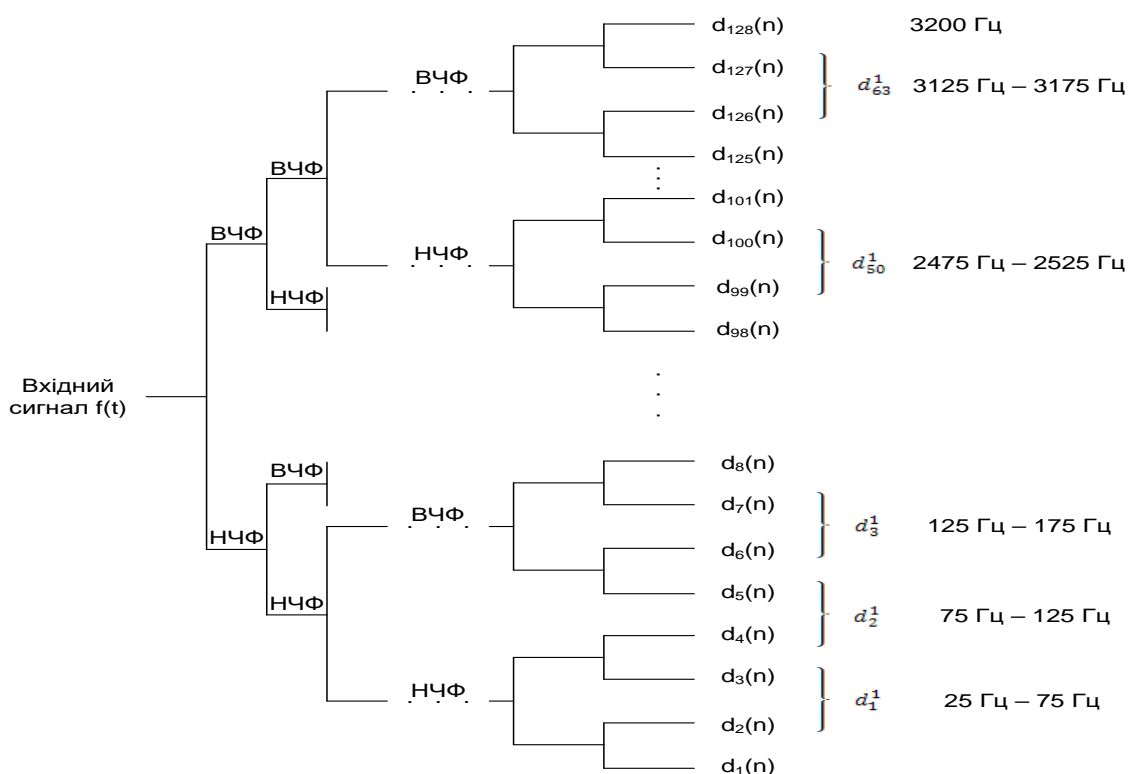


Рисунок 2.1 – Дерево вейвлет-пакетного розкладання з групуванням частотних смуг (діапазонів): $d_1(n), \dots, d_{128}(n)$ – вейвлет-коефіцієнти сьомого рівня розкладання (частотні смуги шириною 3200/128-25 Гц)

Величина будь-якої інтергармонікової групи (ІГ) - це квадратний корінь із суми квадратів величин інтергармонік у цій групі. Наприклад, величина другої інтергармонічної групи, або, простіше кажучи, другої інтергармоніки є квадратним коренем із суми квадратів величин інтергармонічних складових від 125 Гц до 175 Гц. Формула 2.1 – це рівняння, яке використовується для розрахунку величини інтергармонічної групи N , з 11 величин інтергармонічної складової (Y) між N^{th} і $(N+1)th$ гармоніки.

$$I_{GN} = \sqrt{\sum_{k=1}^{11} Y^2(60H_z * N + 5H_z * K)} \quad 2.1$$

Визначимо середньоквадратичне значення кожної групи як корінь квадратний з середнього квадрата коефіцієнтів двох підгруп, що входять до кожної групи. Наприклад:

$$x_{сркв}(1) = \sqrt{\frac{1}{2}(d_1')^2} = \sqrt{\frac{1}{2}(d_2(n) + d_3(n))^2} \quad 2.2$$

У якості досліджуваного сигналу обрано наступний (рис. 2.2):

що має першу, третю, п'яту і сьому гармоніки. Частота дискретизації - 800 Гц (0,00125 с), рівень вейвлет-розкладання - $j = 4$ (16 відліків на період), часове вікно - 10 періодів.

Даний сигнал обраний за результатами аналізу наявності гармонік у електричній мережі. Так, коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги визначається: в мережах з електродуговими сталеплавильними і руднотермічними печами в основному 2, 3, 4, 5, 7 - гармоніками; установок дугового і контактного зварювання - 5, 7, 11, 13 - гармоніками; застосування газорозрядних ламп приводить до появи токів 3 та 5 гармонік (можуть складати

10 % та 3 % від струму основної гармоніки); трансформатори головної понижуючої підстанції дають 5 - ту гармоніку при несинусоїдальній напрузі на їх вводах.

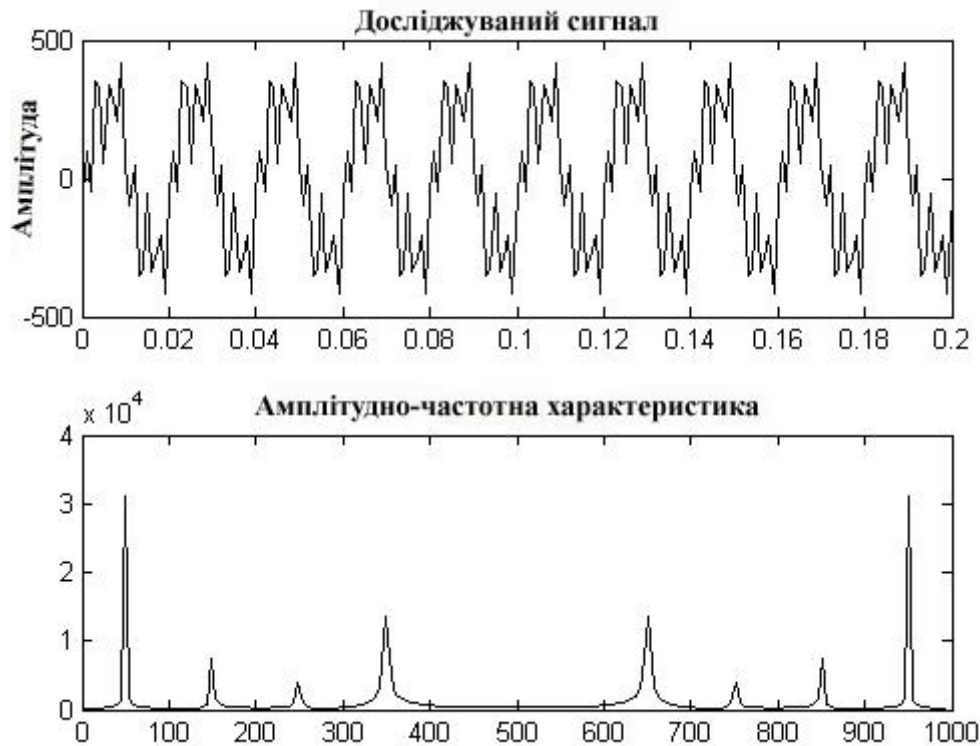


Рисунок 2.2 - Досліджуваний сигнал і його амплітудно-частотна характеристика

Розрахунок гармонічних груп проводився за допомогою ДПФ і вейвлет-аналізу з різними типами вейвлетів. Результати обчислень представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Порівняльний аналіз виміру гармонічних груп за ДПФ і вейвлет перетворенням

Частотна смуга (діапазон), Гц	Гармонічна група	ДПФ	Вейвлет-аналіз			
			Добеші		'haar'	'morl'
			'db2'	'db9'		
25-75	1	220,001	220,0013	220,86	219,05	220,03
125-175	3	55,006	55,004	55,009	54,98	55,01
225-275	5	29,61	30,009	30,067	29,48	30,01
325-375	7	120,006	119,896	120,12	120,16	120,015
Сумарне значення	258,27		258,267	259,10	257,51	258,35
Помилка, %	0,015		0,016	-0,3	0,309	-0,0155

В якості вейвлет-базисів використовувалися вейвлети Добеші, Хара і Морле. Як видно із таблиці 2.1, результати визначення гармонічних груп за алгоритмом ДПФ і вейвлет-аналізом різняться в четвертому знаку після коми, тобто є еквівалентними.

Висновки. У цій доповіді проаналізовано визначення інтергармоніки на основі застосування пакетного вейвлет-перетворення. Для найефективнішого дослідження інтергармонічних груп доцільно використовувати пакетні вейвлет-перетворення. Оскільки за рахунок того, що пакетне вейвлет-перетворення є адаптивним – це не потребує додаткових відомостей про статистичні відомості сигналів і є більш точним з мінімальною кількістю вейвлет-коефіцієнтів. Завдяки цьому при використанні інтергармонічних груп досягається синхронізація з основною частою для визначення інтергармонік.

Література:

1. Пивняк Г.Г. Інтергармоніки в системах електропостачання / Г.Г. Пивняк, І.В. Жежеленко, Ю.А. Папаїка, О.Г. Лисенко // Науковий вісник НГУ. – 2017. – №6. – С.109-114.
2. Воробьев В.И. Теория и практика вейвлет-преобразования / В.И. Воробьев, В.Г. Грибунин. – С.-Петербург: ВУС, 1999. – 204 с.
3. . Soltani H. Interharmonics Analysis and Mitigation in Adjustable Speed Driver: дис. ... доктора. філософії : 28.02.2016 / Hamid Soltani. – Aalborg, Denmark, 2013. – 133 p.
4. Hanzelka Z. Power Quality Application Guide : [Harmonics Interharmonics] / Z.Hanzelka, A. Bien. – AGH University of Science and Technology, 2004. – 22 p.
5. Волошко А.В. Щодо застосування вейвлет-перетворення для визначення та оцінки показників якості електричної енергії / А.В. Волошко, А.Л. Харчук // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2013. – №1. – С. 30-34.

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

Андрійчук А.А.
Кафедра електропостачання

БАГАТОРІВНЕВА СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЯК ІНФОРМАЦІЙНИЙ ЗАСІБ СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ ПТАХОФАБРИКИ

Анотація. Актуальність обраної теми зумовлено необхідністю в інформаційному забезпеченні системи енергоменеджменту птахофабрик. Метою статті є розгляд результатів розробки структури та схеми впровадження системи енергетичного моніторингу. Кількість використаних наукових джерел – 6, кількість рисунків – 2.

Ключові слова: багаторівнева система енергомоніторингу, енергоефективність, енергетичний менеджмент, енергетичний моніторинг, птахофабрика.

Abstract. The relevance of the chosen topic is due to the need for information support of the energy management system of poultry farms. The purpose of the article is to consider the results of the development of the structure and scheme of implementation of the energy monitoring system. Number of used scientific sources - 6, number of drawings - 2.

Keywords: Energy efficiency, energy management, multilevel energy monitoring system, poultry.

Вступ. В реаліях сучасної української промисловості лише невелика кількість підприємств має якісну систему комерційного обліку паливно-енергетичних ресурсів(ПЕР), про технічний облік мова йде дуже рідко, хоча дані системи необхідні та сприяють підвищенню рівня енергетичної ефективності, особливо в купі з впровадженням системи енергоменеджменту(СЕНМ)[1]. Важливою деталлю СЕНМ є встановлення базових рівнів енергоспоживання для суттєвих споживачів енергії, якість базового рівня енергоспоживання(БРЕ) впливає на оцінку енергоефективності всього підприємства, а також дозволяє краще оцінювати економію від заходів з енергоефективності. Система енергомоніторингу є основою створення якісних математичних моделей базових рівнів на підприємствах[2].

Мета та завдання. Розробка структури та схеми впровадження багаторівневої системи енергетичного моніторингу.

Матеріал і результати досліджень. Результатом є створення структури багаторівневої системи моніторингу (рисунок 1). Структура системи складається з:

1. Система вимірювання та збору даних, включає в себе об'єкти для яких буде проводитися моніторинг, за допомогою комплексу обладнання, такого як лічильники електроенергії/газу, датчики контролю додаткових параметрів, які наведено вище, а також набір документації для кожного окремого об'єкту. В якості об'єкту моніторингу може виступати окреме обладнання, технологічних процес, тощо.

2. Система локального моніторингу, основною задачею даної системи є проведення моніторингу даних отриманих з об'єктів моніторингу, а також їх передача до системи обробки даних.. Передача інформації може виконуватись як автоматично, через інтернет і системи управління базами даних(БД), так і відповідальним персоналом. Необхідність блоку збору даних передбачається обмеженістю передачі даних в автоматичному режимі[3].

3. Система обробки даних реалізує аналіз даних, моделює та прогнозує попит на ПЕР, створює ПЕБ, оцінює рівень енергорезультативності, створює звіти, може включати процесу нормування витрат ПЕР. Операції аналізу здійснюються спеціальним програмним забезпеченням, наприклад, таким як: MS Excel, Statista, MatLab, Python, RStudio[4], та інше.

Передбачається, що засоби вимірювальної техніки будуть здійснювати вимірювання

одночасно, через певні проміжки часу які можуть бути задані технічним персоналом в залежності від обставин та необхідності, зазвичай цей інтервал складає від 30 хвилин до кількох годин[16]. До складу вимірювальних комплексів також входять трансформатори напруги(ТН), трансформатори струму(ТС), основні та дублюючі лічильники, показники якості електроенергії. ТН та ТС здійснюють масштабне перетворення первинних значень напруги і струму в точці вимірювання у вторинні значення напруги і струму, які сприймаються лічильниками. Лічильними вимірюють активну та реактивну енергію.

Пристрої збору та передача даних, які включені в систему локального моніторингу здійснюють:

- Відлік часу від заданого початкового значення та формування інтервалів часу на підставі показників інтегрованого годинника;
- Зберігання в ПБД параметрів обліку та інших службових даних;
- Зчитування первинних даних обліку та інших даних з ПБД;
- Оброблення зчитаних даних за заданими алгоритмами, зокрема обчислення втрат енергії або верифікування даних;
- Обчислення відхилень поточних даних і прогнозованих параметрів режимів енергоспоживання;
- Передачу виміряних даних на верхні рівні системи за певним розкладом або запитом;

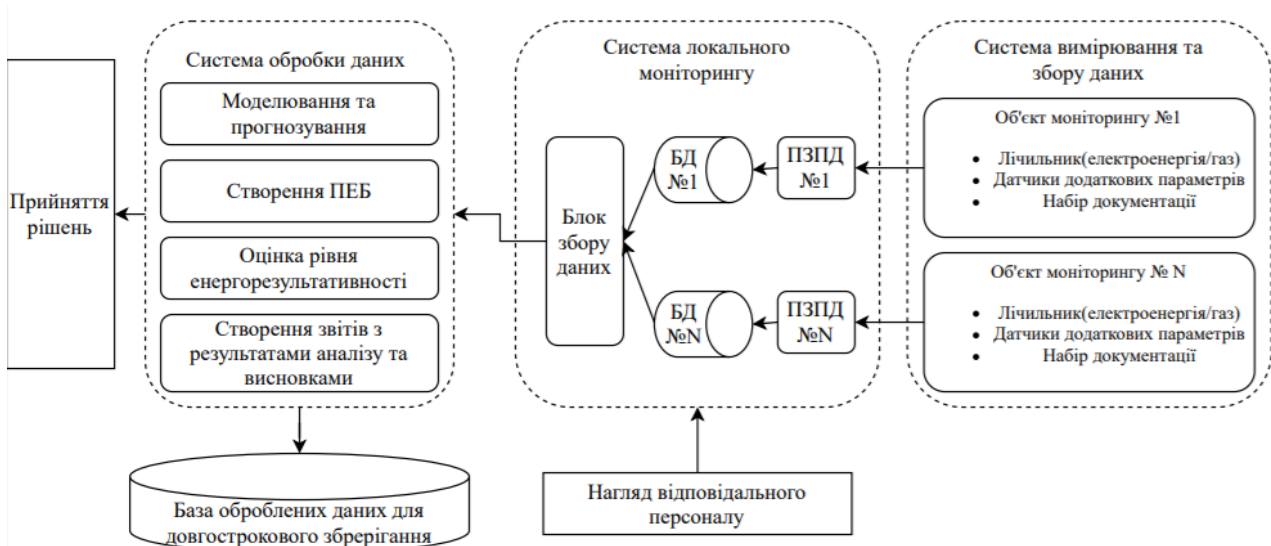


Рисунок 1 – Графічне зображення структури системи енергомоніторингу[5]

Впровадження багаторівневої системи моніторингу передбачає комплексний підхід до задачі. Користуючись світовими практиками, та спираючись на та мною розроблений план впровадження системи на основі циклу Plan-Do-Check-Akt(Палнуй-Виконуй-Перевірай-Дій), зображено на рисунку 2, який описує 4 основні задачі які мають виконуватися в процесу впровадження та реалізації системи енергетичного моніторингу. Особливістю даного циклу є постійне поліпшення, що відбувається за рахунок вживання певних заходів на етапі «Дій», ці заходи базуються на інформації яка отримана в результаті діяльності системи, і дозволяє поступово підвищувати рівень енергоефективності та якості моніторингу споживання ПЕР. Детальніше розглянемо кожен етап циклу:

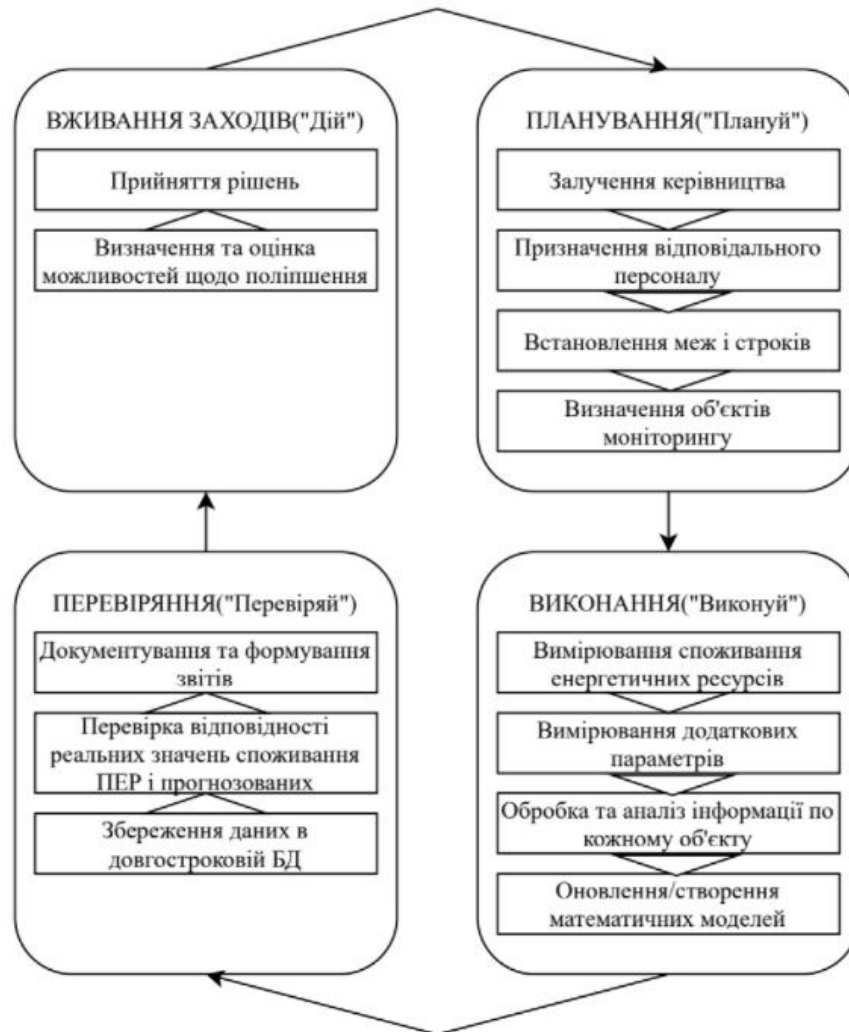


Рисунок 2 - Цикл PDSA для впровадження багаторівневої системи енергомоніторингу[6]

Детальніше розглянемо кожен етап циклу:

1. ПЛАНУВАННЯ («Плануй») – перший етап впровадження передбачає залученість керівництва підприємства, керівництво має в повній мірі розуміти переваги та прийняти рішення, щодо впровадження системи енергомоніторингу. Наступний етапом є призначення відповідального за впровадження персоналу, персонал має володіти достатньою для даної задачі кваліфікацією(освіта, знання в сфері моніторингу, енергетики, знання ринку надавачів послуг з встановлення лічильників, їх комутації). Також призначення відповідального персоналу включається виділення ресурсів, в тому числі грошових. Далі встановлюються межі діяльності системи, часто систему енергомоніторингу важко встановити для підприємства в цілому, тому зазвичай починають з окремих об'єктів або процесів, якими варто вибирати суттєві споживачі, так як це дасть найбільший результат. До даного етапу відноситься також встановлення строків виконання робіт.

2. ВИКОНУЙ («Виконання») – даний етап передбачає безпосереднє виконання задач системи енергомоніторингу, таких як: вимірювання всіх необхідних параметрів об'єктів моніторингу(в тому числі й неенергетичних параметрів), передача інформації до системи обробки даних, та їх аналіз. Важливим кроком є створення/оновлення математичних моделей, які доповнюються даними, та прогнозують попит на енергетичні ресурси і оцінюють обсяг енергозбереження або перевитрати.

3. ПЕРЕВІРЯННЯ («Перевірй») – включає зберігання оброблених даних в базі даних довгострокового зберігання. Перевірка відповідності реальних значень споживання ПЕР та значення спрогнозованих БРЕ. Важливим етапом є формування звітів для «передачі» отриманих результатів в наступний етап для їх подальшого аналізу відповідальним персоналом та керівництвом.

4. ВЖИВАННЯ ЗАХОДІВ («Дій») – на основі звітів отриманих на попередньому етапі визначається оцінка можливостей, щодо поліпшення функціонування системи та покращення рівня енергоефективності. Після оцінки можливостей керівництвом та відповідальним персоналом приймаються рішення, щодо безпосередньої реалізації можливостей. Даний етап є дуже важливим, так як забезпечує процес постійного поліпшення.

Висновки. Створено структуру багаторівневої системи енергетичного моніторингу, яка відрізняється від аналогів тим, що збирає дані не енергетичні дані об'єктів моніторингу, а й неенергетичні. Неенергетичні дані в подальшому передаються до системи обробки даних, де використовуються в якості факторів, що впливають на енергоспоживання при прогнозуванні попиту на ПЕР та встановлення БРЕ. Всі отримані дані аналізуються та зберігаються в БД. На основі діяльності системи енергомоніторингу створюються звіти, ознайомившись з якими відповідальний персонал та керівництво птахофабрики може приймати управлінські рішення, які призводять до підвищення ефективності роботи підприємства.

Перелік використаних джерел:

1. ДСТУ ISO 50006:2016 Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання рівня досягнутої/досяжної енергоефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності. Загальні положення та настанова (ISO 50006:2014, IDT);

2. ПРАКТИЧНИЙ ПОСІБНИК З ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ / А. Чернявський, А. Сафьянц, Н. Усенко, О. Соловей, О. Бориченко, П. Пертко, Ю. Шишко, А. Гоєнко// 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.

3. Енергетичний аудит: Навчальний посібник / О.І. Соловей, В.П. Розен, Ю.Г. Лега, О.О. Ситник А.В. Чернявський, Г.В. Курбаса. –Черкаси, 2005.

4. Коцар О.В., Автоматизовані системи контролю, обліку та управління енерговикористанням, 2017

5. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МОЛОЧНОЙ ОТРАСЛИ, Чернявский А., Быковский А., 2018.

6. Керівництво з впровадження системи енергетичного менеджменту відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 50001:2018 / О. Бориченко, Є. Іншеков, П. Пертко, О. Соловей, А. Чернявський.// Під редакцією Є. Іншекова та А. Чернявського. – UNIDO: Проект UNIDO-GEF UKR-IEE, 2021.

Науковий керівник: к.т.н., доцент кафедри електропостачання Чернявський А.В.

СЕКЦІЯ 2.
ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА ІНЖИНІРИНГ

УДК 621.31

Демченко В.В.
кафедра теплотехніки та енергозбереження

ВПЛИВ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ В ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРІ НА БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Надано рекомендації щодо підвищення ефективності використання енергії, за допомогою інтеграції теплових акумуляторів в побутовому секторі. Продемонстровано, що це позитивно вплине на стабільність роботи Smart Grid мережі та регулювання нестабільності та невідповідності часу між постачанням та попитом на енергію. Розглянуто конкретний приклад використання в побуті теплового акумулятора та результати від його впровадження. Означені перспективи розвитку таких систем в майбутньому.

Ключові слова: Smart Grid мережа, система, тепловий акумулятор, ефективність

Recommendations for improving energy efficiency through the integration of heat storage in the household sector are given. It has been shown that this will have a positive effect on the stability of the Smart Grid network and the regulation of instability and time mismatch between supply and demand for energy. A specific example of the use of heat storage in the home and the results of its implementation are considered. Prospects for the development of such systems in the future are identified.

Keywords: Smart Grid network, system, heat-storage, efficiency

Вступ

Адміністративні, громадські та житлові будівлі споживають 40% загальної енергії, що постачається в усьому світі. Означені будівлі, як правило, мають значні коливання в теплових та електричних потребах, як на короткостроковій, так і на довгостроковій основі.

Зберігання енергії в будівлях має величезний потенціал. Власникам та операторам будинків зберігання енергії забезпечує гнучкість експлуатації, що дозволяє оптимізувати енергоспоживання. Ця оптимізація призводить до підвищення енергоефективності, зменшення рахунків за комунальні послуги, покращення стійкості та надійності в процесі експлуатації.

Інтелектуальна Smart Grid (розумна енергосистема) це електрична або тепла мережа, оснащена розподіленими та взаємопов'язаними технологіями автоматизації для підвищення ефективності, мінімізації втрат, максимального використання потужності обладнання генерації та щонайбільшого використання наявних відновлюваних джерел енергії [1].

Це цілісна концепція, яка включає весь енергетичний ланцюг, від джерела теплоти до споживачів. В сучасних умовах на розвиток Smart Grid мережі впливають наступні чинники - обмеження потужності, великі втрати та відсутність надійності, що спричинені старінням транспортної та розподільчої інфраструктури; зростаючого коливання генерування енергії від відновлюваних джерел. Головна ціль керування мережею, що витікає із концепції Smart Grid, полягає у відповідності попиту та пропозиції. Технології розумних мереж допомагають досягти цієї мети, дозволяючи управління здійснювати попит споживання, що неможливо досягти за допомогою класичних моделей управління. Це вирішується, в інтелектуальній

мережі, впровадженням інформаційно-комунікаційних технологій в енергетичному ланцюзі [2].

Наразі управління навантаженням та попит донині було прерогативою виключно великих споживачів, таких, як промислові об'єкти, великі офісні та комерційні будівлі та інші. Однак завдяки розповсюдженню Інтернету, постійно зростаючій кількості інтелектуальних лічильників у малих побутових споживачів, систем диспетчеризації з дистанційним збором даних збо переходу на технології Інтернету речей, збільшенню кількості електромобілів та великої кількості побутових приладів у житловому секторі, в останній час, використання в побуті теплових акумуляторів вельми впливає на систему теплопостачання та може стати важливим елементом керування попиту на енергію [3].

Основні матеріали дослідження.

Динаміка навантаження в пікові періоди залежить насамперед від здатності системи теплозабезпечення акумулювати енергію. Ця особливість може бути значно подвоєна завдяки локальному накопиченню енергії у приватних споживачів. На жаль, накопичення електричної енергії за допомогою використання електрохімічних акумуляторів заважають економічні та екологічні чинники. Навпаки, використання системи теплового акумулювання (TES) є вкрай дешевшим та екологічним.

TES має незначну питому вартість для будь-якого типу акумулятора, в першу чергу для теплоакумуляторів з використанням акумулюючого середовища з фазовим переходом (PCM). На рисунку 1 показано температурний діапазон використання PCM, а саме: алколідів, евтектичних водних розчинів солей, парафінів, аксоїдів і фенолів та гідратів для теплових акумуляторів [4].

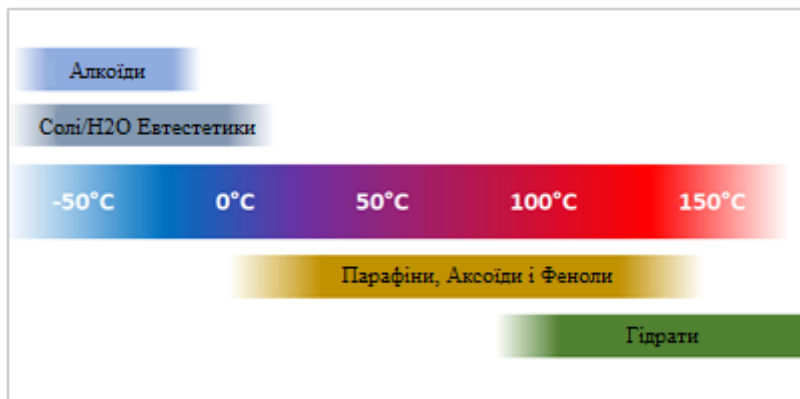


Рисунок 1. Матеріали з фазовим переходом для теплових акумуляторів

Вибір матеріалів PCM для акумулювання енергії може забезпечити приблизно вдвічі більше питомої ємності (Вт / кг) у порівнянні зі свинцево-кислотними електричними акумуляторами. Однак, основним обмеженням використання TES є то, що накопичену теплоту не рентабельно перетворювати навпаки в електричну енергію. Це обмежує галузь застосування TES тільки до сфери теплових побутових приладів, а саме для водонагрівачів, холодильників, морозильних камер та опалення, вентиляції та кондиціонування приміщень (HVAC). Однак це не зменшує його важливості, оскільки в більшості будинків найбільше

споживання енергії відбувається внаслідок нагрівання води, споживання якої, часто збігається з піковими годинами - та, у багатьох кліматичних зонах в системах HVAC.

Отже, разом зі звичними холодильниками та морозильними камерами, внутрішні TES з PCM з часом неодмінно стануть частиною Smart Grid мереж у приватних споживачів завдяки економічній вигоді та широкому використанню джерел відновлювальної енергетики. На рисунку 2 представлено, один з прикладів використання TES в побутовому секторі, який складається з двоконтурної системи кондиціювання повітря житлових та промислових приміщень за допомогою акумулятора теплової та холодної енергії [5].

Як можна бачити контур теплового насоса з компресором і повітряним конденсатором об'єднаний крізь випарник з циркуляційним контуром TES з PCM. У якості PCM може бути використано - водні розчини евтектичних солей або водорозчинних полімерів, гідрати солей або синтетичні та природні парафіни. У якості теплоносія в контурі теплового насоса використовують фреони, в контурі TES циркулює поліетиленгліколь або інші антифризи. Тепловий акумулятор розміщено в надійно теплоізолюваному контейнері.

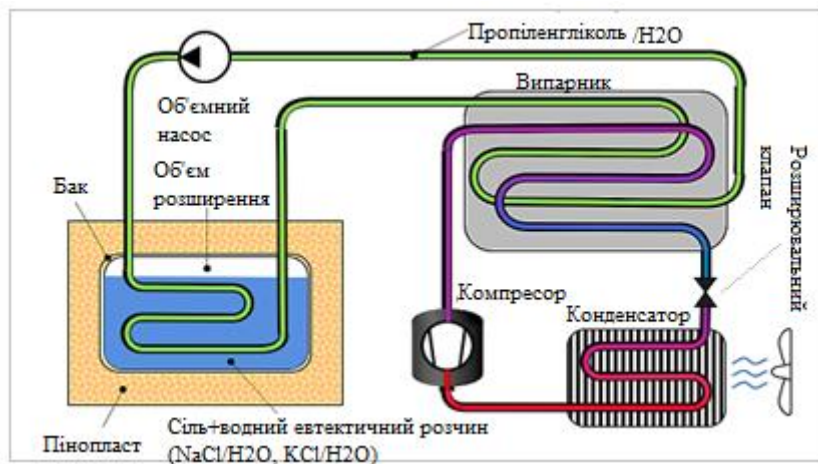


Рисунок 2. Схема нагріву та охолодження приміщень за допомогою теплового насоса з акумулятором теплоти/холоду із використанням PCM

В об'ємі контейнера TES передбачена компенсація обсягу розширення PCM [6]. Об'єм PCM вибирається з розрахунку питомої теплоємності акумуляційної рідини, для водних розчинів солей це складає 20-25 літрів на 1,0 кВт теплової потужності системи HVAC, а у випадку використання матеріалів з фазовим переходом близько 10 літрів на 1,0 кВт. Розрахунки показують, що інтеграція TES в систему HVAC може зменшити пікове навантаження на 30% і заощадити річні витрати на електроенергію на 5%, що призводить до зменшення річних викидів CO₂ на 8% [7].

Огляд ринку

Очікується, що ринок систем накопичення енергії в житловому секторі має потенціал росту споживання понад 19% протягом 2021-2026 років. Прогнозування ринку показує, що у 2019 році світовий ринок індивідуальних систем накопичення енергії в житловому секторі складав 2,2 мільярда доларів США. У 2019-2020 р. він суттєво постраждав від спалаху COVID-19. Проте прогноз розвитку ринку може сягати понад 8,5 мільярдів доларів США у 2026 році.

Посилення торгівельних обмежень через поширення COVID-19 вплинуло на ланцюг поставок у всьому світі [8].

Великі компанії, скоротили виробництво через зниження попиту в 2020 році. Однак широке поширення сонячних фотоелектричних батарей в Європі, Азіатсько-Тихоокеанському регіоні та Північній Америці спричинило попит на зберігання енергії в житлових приміщеннях. Очікується, що такими факторами, як зростання попиту на безперебійне та надійне електропостачання та поширення сонячних дахових систем у житловому секторі, будуть основними рушійними силами досліджуваного ринку.

Урядові ініціативи по впровадженню «зеленого тарифу», та встановлення інтелектуальних мережних лічильників електричної енергії, були та залишаються одним із головних факторів у впровадженні дахових сонячних фотоелектричних батарей, які, як очікується, спричиняють попит на системи зберігання енергії в майбутньому.

Проте, очікується, що висока вартість встановлення систем сонячної та акумуляторної батареї перешкоджатиме зростанню ринку систем зберігання енергії для житлових будинків у країнах, що розвиваються та слаборозвинутих у найближчі роки.

Висновки

Smart Grid мережа це сучасний тренд вдосконалення керування генерацією, розподіленням та попитом теплової та електричної енергії. У зв'язку з цим виникає ряд нових завдань щодо забезпечення надійності тепло- енергопостачання та накопичення енергії з подальшим її використанням. Актуальними є питання ефективного контролю навантаження на стороні споживача та регулювання попитом використання енергії з дотриманням вимог до параметрів мікроклімату.

Потрібно відзначити, що контроль навантаження зі сторони споживача має значні переваги перед балансуванням генерацією на джерелі енергії тому як парадігма управління змінюється з центрального управління до розподіленого. Зберігання енергії допомагає розв'язати ці питання. На відміну від акумуляторів електричної енергії теплові акумулятори можуть бути легко інтегровані в житлові приміщення приватних та багатоквартирних будинків. Існує велика кількість прикладів застосування теплових акумуляторів в житлових секторі міського типу і котеджній забудові.

Широке розповсюдження систем зберігання теплової енергії в побуті може мати важливий локальний і системний вплив на стабільну генерацію енергії, зменшення пікових навантажень, підвищення споживання електричної енергії в нічний час, заощадження паливно-енергетичних ресурсів, зменшення шкідливого впливу на довкілля та, що надважливо, вартості опалення та кондиціонування повітря для кінцевого споживача.

Література

1. Advantages of Smart Grids. URL: <http://circuitor.com/en/documentation/articles/4162-advantages-of-smart-grids> (дата звернення: 08.11.2021).
2. Д. С. Гришин и др., Особенности внедрения интеллектуальных энергосетей SMART GRID, Модели, системы, сети в экономике, технике, природе, 2017. № 1 (21). с.109-116.
3. A. Sharma, V. V. Tyagi, C. R. Chen, and D. Buddhi, "Review on thermal energy storage with phase change materials and applications," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 2, pp. 318–345, 2009.
4. I. Sarbu, C. Sebarchievici, "A Comprehensive Review of Thermal Energy Storage", *Sustainability*, vol. 10, no. 2, p. 191, 2018, <https://doi.org/10.3390/su10010191>

5. Harald Mehling Luisa F. Cabeza, “Heat and cold storage with PCM”, 2013.
6. Luis Sousa Rodrigues, Ferreira JAF, Household Thermal Energy Storage in the Context of Smart Grids: Viability and Potential Impact of Small Residential Consumers in Demand-Side Load Balancing with The Use of Phase-Change Materials, DOI: 10.13140/RG.2.2.29585.56169, Conference: TEchMA 2021– 4th International Conference on Technologies for the Wellbeing and Sustainable Manufacturing Solutions
7. Konyk A.V., Demchenko V.V., Integration Technologies of heat storage into District Heating Systems, <https://jntes.tu.kielce.pl/wp-content/uploads/2021/06/Integration-of-Heat-Storage-Technologies-in-Central-Heating-Systems.pdf>
8. RESIDENTIAL ENERGY STORAGE SYSTEMS MARKET - GROWTH, TRENDS, COVID-19 IMPACT, AND FORECASTS (2021 – 2026), доступне за посиланням <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/residential-energy-storage-system-market>

**ОСОБЛИВОСТІ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ В УМОВАХ
КАРАНТИННИХ ОБМЕЖЕНЬ**

***Анотація.** Пандемія COVID-19 на початку 2020 року суттєво вплинула на попит на енергію в Україні. Щоб уникнути непотрібного використання енергії та забезпечити належне функціонування будівель, стає важливим мати краще розуміння та планування використання опалення в умовах пандемії. Незважаючи на це, огляд літератури показав недостатню поінформованість щодо роботи системи опалення у будівлях під час блокування COVID. У цій статті розглядаються проблеми аналізу профілів використання тепла та розробки сценаріїв для навчальних корпусів в Україні. Порівняння профілів використання тепла як у попередньому році, так і в період карантину показало, що робота системи опалення залишилася на тому ж рівні, хоча заповнюваність була значною мірою зменшена. Більше того, місяць після відкриття будівель характеризувався значним збільшенням використання тепла, незважаючи на тепліші погодні умови. Для планування використання тепла в освітніх закладах було розроблено такі сценарії: сценарій 1 – робота за нормальним роком; Сценарій 2 – зниження опалення до рівня використання нічного тепла; та Сценарій 3 – з використанням налаштувань, які були застосовані під час блокування. Результати показали, що застосування сценарію 2 може дозволити нам заощадити 21 кВтг/м². Сценарій 1 - робота з нормального року; Сценарій 2 – зниження опалення до рівня використання нічного тепла; та Сценарій 3 – з використанням налаштувань, які були застосовані під час карантину. Чисельне моделювання домашнього господарства виконується у EnergyPlus.[1-2]*

***Ключові слова:** Використання тепла у навчальному корпусі, COVID-19 пандемія, профілі використання тепла, енергоефективність, сценарний аналіз, аналіз даних.*

***Abstract.** The COVID-19 pandemic in early 2020 significantly affected energy demand in Ukraine. To avoid unnecessary energy use and to ensure the proper functioning of buildings, it becomes important to have a better understanding and planning of heating use in a pandemic. Nevertheless, a review of the literature showed a lack of awareness of the operation of heating systems in buildings during the COVID lockout. This article considers the problems of analysis of heat use profiles and development of scenarios for educational buildings in Ukraine. Comparison of heat use profiles both in the previous year and in the quarantine period showed that the operation of the heating system remained at the same level, although occupancy was significantly reduced. Moreover, the month after the opening of the buildings was characterized by a significant increase in heat use, despite warmer weather conditions. To plan the use of heat in educational institutions, the following scenarios were developed: scenario 1 - work for a normal year; Scenario 2 - reduction of heating to the level of night heat use; and Scenario 3 - using the settings that were applied during the lock. The results showed that the application of scenario 2 can allow us to save 21 kWh / m². Scenario 1 - work from a normal year; Scenario 2 - reduction of heating to the level of night heat use; and Scenario 3 - using the settings that were applied during quarantine. Numerical modeling of the household is performed in EnergyPlus.*

Keywords: Heat use in the educational building, COVID-19 pandemic, heat use profiles, energy efficiency, scenario analysis, data analysis.

Вступ

COVID-19 – це потенційно смертельне коронавірусне захворювання, яке може спричинити серйозні проблеми з дихальною системою людини. З початку 2020 року це захворювання почало стрімко поширюватися світом. Доведено, що соціальне дистанціювання та особиста гігієна є основними заходами, які можуть допомогти запобігти розповсюдженню COVID-19. Тому, щоб уникнути скупчення людей та скупчень людей, більшість країн запровадили часткову або повну ізоляцію навчальних закладів, а також комерційних та промислових компаній. Такі кардинальні зміни в поведінці споживачів енергії значно впливають на попит на енергію і призводять до суттєвих проблем в енергетичному секторі.

Це проблеми, пов'язані із зміною енергетичних навантажень енергосистеми під час пандемії COVID-19. Статистично спостерігається значне зниження споживання електроенергії. крива навантаження електроенергії помітно згладжується під час пандемії, особливо в години пік з 7:00 до 11:00 ранку та з 17:00 до 19:00 вечора.

Вплив обмежень на енергоспоживання у країнах ЄС. Країни ЄС індивідуально підійшли до обмежень, пов'язаних із пандемією COVID. Аналіз енергоспоживання показав, що країни, які запровадили суворіші обмеження, зазнали більшого скорочення попиту на енергію.

Повний локдаун спричинив зниження енергоспоживання на 17,6% порівняно з прогнозом на 2020 рік. Всебічний огляд використання електроенергії в Італії, Японії, США та Бразилії показує, що пандемія призводить до невизначеності у попиті на електроенергію та створює проблеми для системних операторів. На закінчення слід зазначити, що зміни у профілях попиту на енергію в період COVID створюють труднощі для точного прогнозування навантаження.

Дослідження роботи енергосистеми стверджує, що під час пандемії COVID загальний попит на електроенергію в багатьох країнах знизився приблизно на 10–30%. Необхідно запровадити набір рекомендацій для подолання поточної кризи та досягнення стійкої роботи енергосистем. Системи виробництва енергії у країні зіткнулися з проблемами, пов'язаними з можливостями регулювання та гнучкістю. ТЕЦ були змушені працювати на мінімальному рівні. Майже дворазове збільшення додаткових ринкових витрат за системні операції. Глобальний сектор відновлюваних джерел енергії також постраждав від обмежень пандемії та зіткнувся з додатковими труднощами та ризиками, пов'язаними з експлуатацією існуючих установок, а також з реалізацією нових проектів. Додаткові витрати під час пандемії COVID-19 пов'язані з необхідністю для енергетичних систем забезпечити балансування навантаження, контроль частоти та формування резервів.

Негативний вплив пандемії COVID-19 на енергетичний сектор можна пом'якшити за рахунок забезпечення енергоефективного функціонування кінцевих користувачів, кращого планування енергоспоживання, швидкої адаптації до нових умов та запровадження належних експлуатаційних заходів.

З усіх технічних систем у будівлях ЄС опалення приміщень і гаряче водопостачання (ГВП) часто є найбільш значними споживачами енергії. До пандемії споживання тепла ТГ та ГВП разом становило понад 20% від загального щорічного попиту на енергію в ЄС. Однак

пандемія суттєво вплинула на використання тепла у будинках. Поточні профілі використання тепла для нормальних умов є описовими в умовах пандемії. Тим не менш, використання тепла в будинках під час пандемії COVID-19 вивчено недостатньо, особливо для нежитлових будинків.

У посібнику не рекомендується повністю відключати системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря у тимчасово незайнятій будівлі. Він пропонує використовувати спеціальний «Режим незайнятості», який підтримує будівлю в розумному діапазоні температурних та вологих умов, одночасно знижуючи споживання енергії під час зупинки. Наприклад, кількість працюючих котлів слід скоротити до необхідного мінімуму. Однак, щоб уникнути подальших проблем із роботою системи, котли повинні працювати не рідше одного разу на тиждень протягом щонайменше 1 години в нормальному режимі.

У статті розглядається кілька умов використання енергії у типовому господарстві: S1 – еталонний випадок, S2 – помірні заходи захисту, S3 – напівкарантинні заходи, S4 – повний карантин. Чисельне моделювання домашнього господарства виконується в EnergyPlus. Як вхідні дані для імітаційної моделі використовувалися профілі зайнятості в будівлі для сценаріїв. Моделювання показує, що присутність мешканців у їхніх будинках під час пандемії корони призвела до збільшення використання опалення. В нормальних умовах до оголошення надзвичайного стану споживання енергії на опалення у березні становило 3414 кВтг. Однак в умовах м'яких заходів захисту, напівкарантинних заходів та повного карантину він може бути збільшений до 4509 кВтг, 4487 кВтг та 4465 кВтг відповідно. Загалом потреба у тепловій енергії досягла 62% від загальної потреби.

Мета та завдання

Метою дослідження було спрямоване на покращення існуючих знань щодо використання тепла у будівлях корпусів в Україні в період пандемії COVID-19.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання:

1. Дослідити, порівняти профілі в будівлі під час пандемії COVID та в період після пандемії з профілями, отриманими до пандемії.
2. Розробити сценарії використання тепла у будівлі в умовах ізоляції від пандемії.
3. Запропонувати сценарії використання тепла в українських навчальних корпусах.

Матеріали та результати досліджень

У зв'язку з високою активністю підрастаючого покоління навчальні заклади належать до типу будівель, де насамперед накладаються обмеження. Під час карантину всі заходи проводяться віддалено. Навчальні корпуси закриті, доступ співробітників до цих будинків обмежений. Потреба в опаленні та ГВП у будинках у цей період знижується. Отже, експлуатація системи опалення, як до карантину, стає надмірною та неефективною. Непотрібного використання енергії можна уникнути, застосувавши правильні налаштування системи опалення будівлі відповідно до цих змін попиту. Щоб вибрати правильні налаштування та оцінити переваги їх реалізації, необхідно виконати сценарне моделювання. Крім того, потенціал економії енергії можна оцінити шляхом порівняння сценарію, який представляє поведінку використання опалення в нормальних умовах з альтернативними сценаріями на період блокування. Тому в цьому розділі наведено підходи до моделювання трьох різних сценаріїв використання тепла в будівлях під час карантинних обмежень. Цей

розділ складається з трьох підрозділів. У кожному підрозділі представлені методи розробки конкретного сценарію використання тепла у будинках під час пандемії.

Сценарій 1 - Моделювання використання тепла на основі поведінки у звичайний рік. Коли будівля працює у звичайному режимі, на який не впливають несподівані зміни кількості людей, температура зовнішнього повітря може розглядатися як основний фактор, який пояснює зміну використання тепла у будівлях. Модель, яка виражає взаємозв'язок між використанням тепла в будівлі, що спостерігається, і температурою зовнішнього повітря, називається кривою енергетичної сигнатури (ESC). ESC широко використовується для енергетичного планування у будинках. Зазвичай, ESC містить дві підмоделі, розділені температурою точки зміни (CPT). CPT - це критична температура, яка встановлює межу між початком та закінченням опалювального сезону.

Добре відомо, що споживання тепла в будинках також варіюється в залежності від днів тижня та години дня. Через розмаїття графіків роботи в робочі дні в години, коли проводяться основні заходи, споживання тепла у навчальних корпусах є набагато вищим, ніж у решту часу. З цієї причини, щоб планувати використання тепла у звичайному режимі, ми розробили окремі моделі ESC для кожної години у будні та вихідні дні.

Щоб сформулювати використання тепла в Сценарії 1, дані про температуру зовнішнього повітря для типових холодних та теплих метеорологічних років (ТМУ) були застосовані як вхідні дані для моделі ESC. Дані про температуру виходять шляхом вибору кожного місяця з «найтипівішими» умовами за останні 10 років. Таким чином, використання типових холодних та теплих температур дозволило мені отримати очікувані межі використання тепла для кожної години типового року в Сценарії 1 (тобто для нормальних умов, коли не було внесено жодних змін до роботи системи опалення будівлі).

Сценарій 2 - Моделювання на основі годинника використання тепла вночі У порівнянні зі сценарієм 1, сценарій 2 розглядав кращі робочі параметри системи опалення під час пандемії. У цьому сценарії передбачається, що під час блокування споживання тепла будинками має підтримуватись на рівні використання тепла у нічний час у нормальних передпандемічних умовах. В освітніх корпусах найменше споживання тепла зазвичай спостерігається в нічний час з 1:00 до 5:00 годин у робочі дні, коли в будинках немає людей і система опалення працює з мінімальним енергетичним навантаженням, необхідним для підтримки мінімально допустимих температур.

Щоб виразити можливе скорочення використання тепла в будівлях, було розроблено модель ESC, яка базується лише на використанні тепла в нічний час. Після цього, аналогічно сценарію 1 модель ESC була застосована до даних про температуру зовнішнього повітря для типових холодних і теплих метеорологічних років. Таким чином, були отримані можливі межі використання тепла для кожної години типового року в Сценарії 2 (тобто для умов, коли система опалення працювала на нічному рівні).

Сценарій 3 - Моделювання на основі поточних налаштувань, які використовувалися в будинках під час блокування від COVID. Сценарій 3 був призначений для пояснення того, як поводитиметься використання тепла в будівлі, якщо налаштування, які фактично були застосовані до системи опалення під час блокування COVID, постійно використовуватимуться протягом звичайного року. Сценарій 3 був розроблений на основі середньомісячного споживання тепла, яке спостерігалось до та під час пандемії COVID-19. Блок-схема алгоритму, застосованого до Сценарію 3, показано малюнку 1 .

Крок 1. Визначте модель, яка відображає взаємозв'язок між місячним використанням тепла та зовнішньою температурою в нормальних умовах.

Крок 2. На основі моделі, визначеної на кроці 1, розрахуйте очікуване місячне споживання тепла для типових холодних і теплих років.

Крок 3. Розрахуйте місячні коефіцієнти коливань для типових років.

Крок 4. Визначення середньомісячного споживання тепла протягом місяців із заборonoю на COVID-19.

Крок 5. Екстраполяція споживання тепла для решти року на основі місячних коефіцієнтів коливань.

Рисунок. 1 . Блок-схема алгоритму визначення використання тепла Сценарії 3.

Детальний алгоритм визначення меж використання тепла за Сценарієм 3 був наступним:[3]

Крок 1. Визначте модель, яка відображає взаємозв'язок між щомісячним використанням тепла та температурою зовнішнього повітря в нормальних умовах.

Добре відомо, що місячна потреба у теплі в будинках змінюється протягом року через зміни зовнішньої температури. Середньомісячне споживання тепла та температура зовнішнього повітря лінійно залежать. Щоб пояснити ці відносини, було розроблено модель лінійної регресії на основі даних за 2019 рік.

Крок 2. На основі моделі, визначеної на кроці 1, розрахуйте очікуване щомісячне споживання тепла для типових холодних та теплих років.

На цьому етапі середні місячні температури зовнішнього повітря для типових років використовувалися як вхідні дані для регресійної моделі (див. Крок 1). Таким чином, було отримано значення очікуваного щомісячного використання тепла для типових холодних та теплих років.

Крок 3. Розрахуйте місячні коефіцієнти варіації для типових років.

Відповідно до очікуваного щомісячного використання тепла протягом типового року, коефіцієнти щомісячної зміни використання тепла були розраховані як:

$$K_i = E_{t,i} / \bar{E}_t$$

де K_i - місячні коефіцієнти варіації для i -го місяця, $E_{t,i}$ - очікуване споживання тепла для i -го місяця типового року, \bar{E}_t - середньомісячне споживання тепла за типовий рік.

Крок 4. Визначення середньомісячного споживання тепла на місяці пандемії COVID. Маючи дані за 2020 рік, було визначено фактичне щомісячне споживання тепла на момент пандемії COVID-19. Аналіз показав, що різниця між місячними температурами зовнішнього повітря в березні 2020 року та типовим теплим роком склала всього 0,4 К. Навпаки, за температурою зовнішнього повітря у 2020 році квітень був ближчим до холодного року з перепадом температур у 1 К. З цієї причини передбачалося, що використання тепла у березні

для типового теплого року дорівнювало використанню тепла у березні 2020 року, а використання тепла у квітні для типового холодного року дорівнювало використанню тепла у квітні 2020 року.

Крок 5. Екстраполяція використання тепла на частину року, що залишилася, на основі факторів місячних коливань. Використовуючи коефіцієнти щомісячної варіації, середньомісячне споживання тепла на момент блокування COVID-19 було екстраповано на типові холодні та теплі роки. Таким чином, ми отримали межі середньомісячного споживання тепла в Сценарії 3 (тобто для умов, коли система опалення мала працювати при налаштуваннях, які використовувалися в будівлях під час пандемії COVID).

Опис навчального корпусу, що спостерігаються

Дослідження у цій статті були виконані на основі даних, отриманих із навчального корпусу. Об'єктом дослідження був навчальний корпус №11 “КПІ ім. Ігоря Сікорського”, показано на малюнку 2.

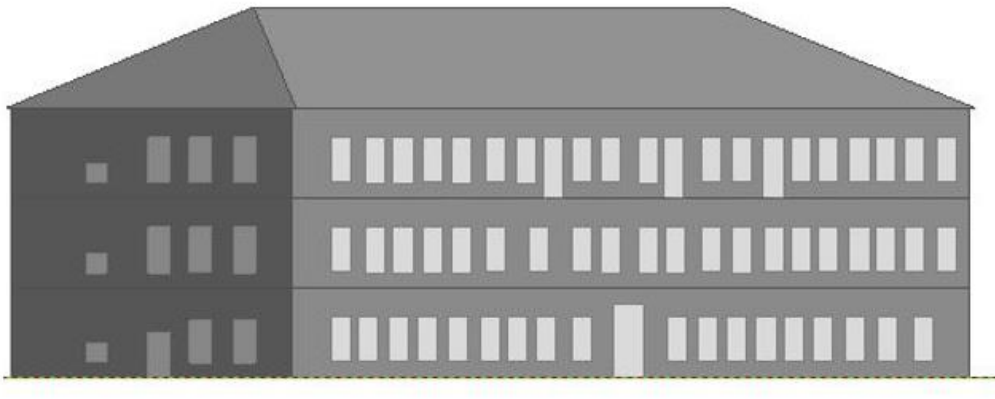


Рисунок 2 . Модель корпусу в програмному продукті.

Ця будівля була збудована у 1963 році і згодом кілька разів ремонтувалася. Його площа складає 1200 м². Дані щодо використання тепла для цієї будівлі були зібрані із системи енергоспоживання. Аналізований будинок використовує систему централізованого теплопостачання (ЦТ) як основне джерело теплопостачання. У дослідженні враховувалося вплив погодних умов використання тепла. Для цього використовувалися дані найближчої метеостанції, яка розташована в аеропорту Бориспіль.

Аналіз профілів використання тепла в освітній установі до та під час пандемії COVID. Україна входить до країн, які ввели суворі обмеження, коли пандемія COVID-19 почала поширюватися на початку 2020 року. Одним із цих обмежень було тимчасове закриття навчальних закладів.[10] Відповідно, у цьому розділі основна увага приділяється порівнянню використання тепла у березні, квітні та травні 2019 та 2020 років. Березень і квітень включали лише дні, коли було накладено карантин.

Профілі використання енергії – це потужний інструмент, який дозволяє нам відображати зміни у використанні тепла у різні проміжки часу. У нашій роботі профілі використовувалися для аналізу мінливості використання тепла до та під час пандемії COVID-19. Хоча температура зовнішнього повітря впливає на використання тепла у роботі було вирішено порівнювати справжні профілі, а чи не значення з поправкою на температуру. Це дозволяє нам зосередитися на реальних даних без будь-яких упереджених речень. Проте при

аналізі профілю враховувалися температури зовнішнього повітря у 2019 та 2020 роках. Вважалося, що середня зовнішня температура у березні 2019 року становила 0°C, а у березні 2020 року – 1,7°C. У квітні 2019 року температура на вулиці становила 7,2°C, а у квітні 2020 року – 3,9 ° С. Тоді як у травні 2019 року було 7,9 ° С, а в травні 2020 року - 6,4 ° С. Слід зазначити, що у квітні та травні 2020 року температура була трохи нижчою, ніж у 2019 році, а в березні – трохи тепліше.

Оскільки у будні та вихідні дні використовуються різні схеми використання тепла, їх профілі розглядалися окремо. Використання тепла зазвичай збільшувалося з 7:00 до 16:00 години з піком використання тепла о 9:00 години, і значне зниження тепла зберігається з 20:00 до 6:00 години наступного ранку. З мал.3 можна відмітити, що форма профілів використання тепла до і під час пандемії в освітньому закладі залишалася практично незмінною. Профілі показують, що для навчального корпусу пік тепла було перенесено на годину тому у квітні та на дві у травні, тоді як у березні 2020 року було відзначено набагато менше споживання тепла у неробочий час.

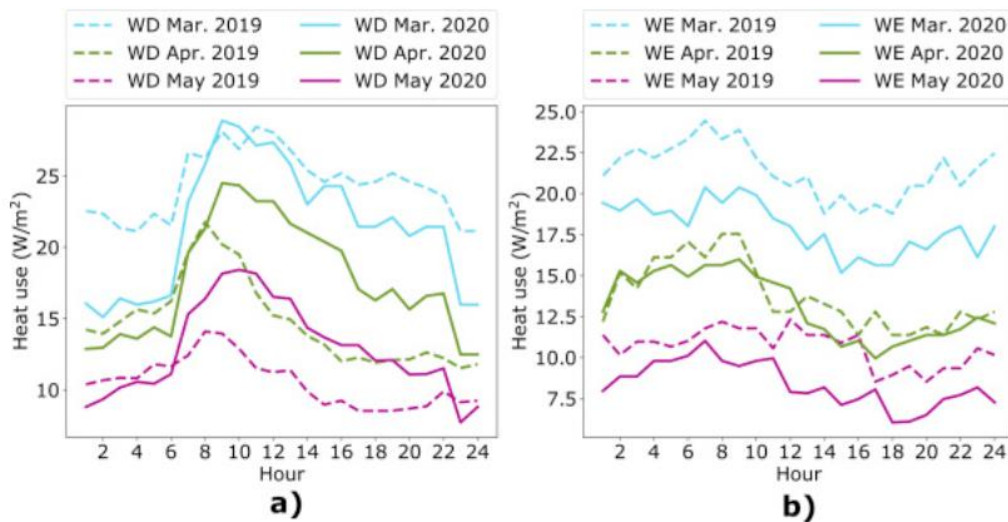


Рисунок 3 . Профілі використання тепла для навчального корпусу, де: а) профілі для будніх днів; б) профілі для вихідних.

В Україні навчання у навчальних закладах у вихідні не проводиться. Таким чином, теплове навантаження у вихідні дні було набагато нижчим, ніж у будні дні, і більше відповідало тепловому навантаженню у будні дні в нічний час. На мал 3, можна відзначити, що мінімальне використання тепла у вихідні було з 12:00 до 20:00 години. Ймовірно, що в цей період система опалення працювала з мінімальним навантаженням, а температура у приміщенні підтримувалася переважно за рахунок теплової інерції. мал. 3 а) показує, що у будні дні у березні 2020 року споживання тепла скоротилося порівняно з тим самим періодом 2019 року. Однією з причин цього може бути те, що установа могла не працювати під час пандемії COVID.[5]

Незважаючи на карантин, у квітні 2020 року споживання тепла було трохи вищим, ніж у квітні 2019 року. Цей факт можна пояснити кількома причинами. По-перше, причина полягає в тому, що квітень 2019 року був теплішим, ніж квітень 2020 року, що призвело до зниження енергоспоживання у 2019 році. Друга причина – підготовка до відкриття будівлі наприкінці

квітня 2020 року. Наприклад, були потрібні роботи з очищення та дезінфекції, а також тестування продуктивності системи опалення, що призвело до збільшення використання тепла.

Для будівлі профілі показали, що роботу систем опалення під час пандемії слід змінити, щоб зробити її ефективнішою. Тому для досягнення цієї мети необхідно розробити рекомендації та сценарії роботи систем опалення у різних умовах.

Сценарії аналізу використання тепла в освітньому закладі

У цьому розділі досліджуються три сценарії роботи системи опалення в освітній установі під час пандемії. Усі сценарії розробили з використанням реальних статистичних даних, отриманих навчального корпусу.[8]

Сценарій 1 досліджував роботу системи опалення у тому режимі, як і до пандемії. Модель ESC для кожної години у будні та вихідні дні була розроблена з урахуванням даних за 2019 рік. Таким чином споживання тепла для будівлі було представлено моделлю ESC. Для моделі ESC значення СРТ, що дорівнює 14°C, показало найкраще наближення.

Приклад моделі ESC для використання тепла о 13 годині в корпусі показано на мал.4. Для більш детального аналізу фактичне використання тепла у 2019 році та під час пандемії у 2020 році також було нанесено на графік на мал.4. Як видно з малюнку 5, використання тепла під час пандемії COVID близьке до передпандемічними даними та моделями. Цей факт свідчить про те, що робота системи опалення практично не змінилася під час карантину у 2020 році.

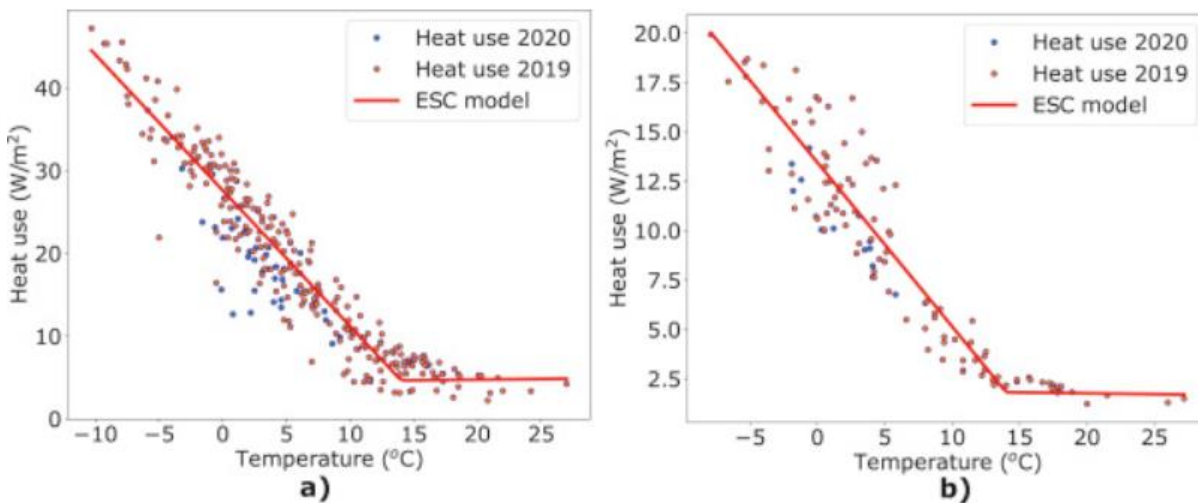


Рисунок 4. Модель ESC на 13 год, де: а) ESC для будніх днів; б) ESC для вихідних.

Слід зазначити, що в певний час у будні дні лінія після СРТ мала невеликий позитивний нахил (див. мал. 4 а)). З теоретичної точки зору з підвищенням температури зовнішнього повітря споживання тепла повинно зменшуватися. Такий позитивний нахил можна пояснити використанням системи охолодження у спекотні дні.

Потенціал економії енергії можна оцінити, порівнявши Сценарій 1 з іншими сценаріями, які представляють ефективніші налаштування системи опалення.

Сценарій 2 передбачає, що під час блокування споживання тепла у будинках має підтримуватися на рівні нічних умов за нормальних умов. Роботу системи опалення в таких умовах можна пояснити моделлю ESC, визначеною з використання тепла в 2019 році в нічний

час. Приклад моделі ESC для корпусу показано на мал.5. У цій моделі представлені періоди, коли система опалення працювала з мінімальним навантаженням через низьку завантаженість будівель.

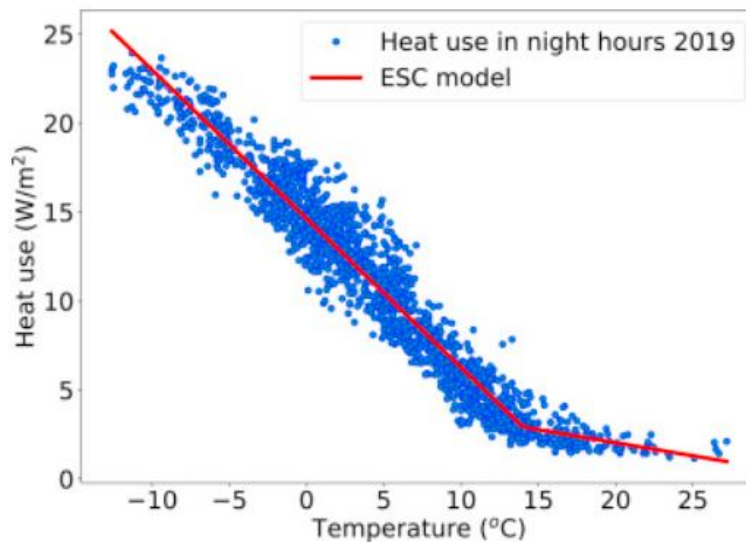


Рисунок. 5. ESC для нічного налаштування використання тепла.

Типові холодні та теплі температури були застосовані до моделі ESC для визначення можливих меж використання тепла у сценарії 2. Використання тепла протягом усього року для цього сценарію представлено на мал. 7. У порівнянні зі Сценарієм 1, Сценарій 2 представляє розумний підхід до скорочення використання тепла під час пандемії, коли в будинках немає людей.[7]

Сценарій 3 продемонстрував середньомісячні значення використання тепла за умов, коли система опалення працювала з налаштуваннями, які дійсно застосовувалися під час пандемії COVID 2020 року. Як і в попередніх сценаріях, сценарій 3 був скоригований з використанням типових холодних і теплих років. Для розробки Сценарію 3 було визначено модель щомісячного використання тепла на 2019 рік.[9] Дослідження показало, що взаємозв'язок між середньомісячним споживанням тепла у навчальному корпусі та температурою зовнішнього повітря можна описати за допомогою моделі лінійної регресії, як показано на мал.6.

Середньомісячні температури зовнішнього повітря для типових холодних і теплих років використовувалися як вхідні дані для моделі для Сценарію 3. Таким чином, було визначено очікуване щомісячне споживання тепла для типових років.

Чинники місячних коливань відбивають сезонність використання тепла. Вони показали, що найбільше споживання тепла у навчальному корпусі припадало на січень, березень та грудень. Найнижча витрата тепла спостерігалася влітку, коли система опалення приміщень не використовувалася. Для типового холодного року різниця між опалювальним сезоном та літніми місяцями була значною, ніж для типового теплого року. Це може пояснюватися тим фактом, що на використання тепла істотно вплинула температура зовнішнього повітря. Отже, більш високі температури зовнішнього повітря призвели до зниження використання тепла у будівлі та навпаки.[4]

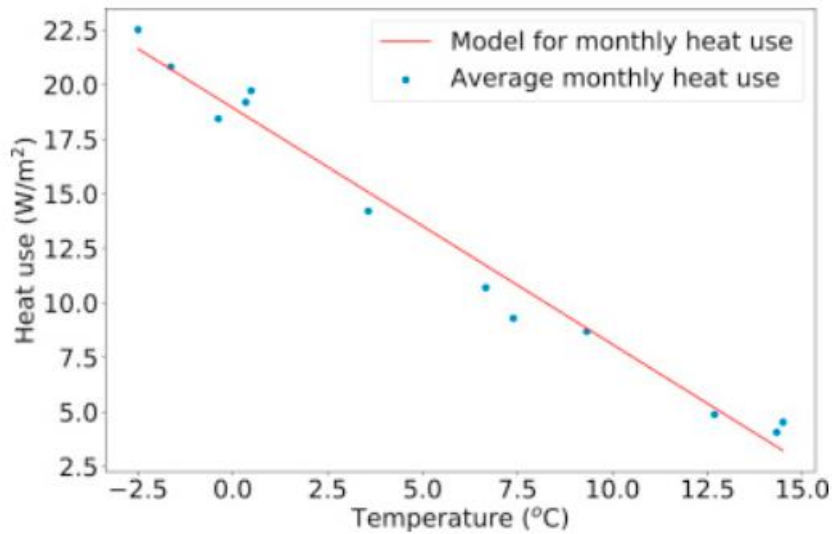


Рисунок 6. Місячна модель використання тепла для навчального корпусу.

Границі використання тепла за Сценарієм 3 для будівлі корпусу представлені на мал.7. Сценарій 3 також вказує на місяці з найбільшим розкидом використання тепла між типовим холодним та теплим роком. Серед цих місяців січень, жовтень та грудень були найпомітнішими, що можна побачити за допомогою великих затінених квадратів на мал. 7.

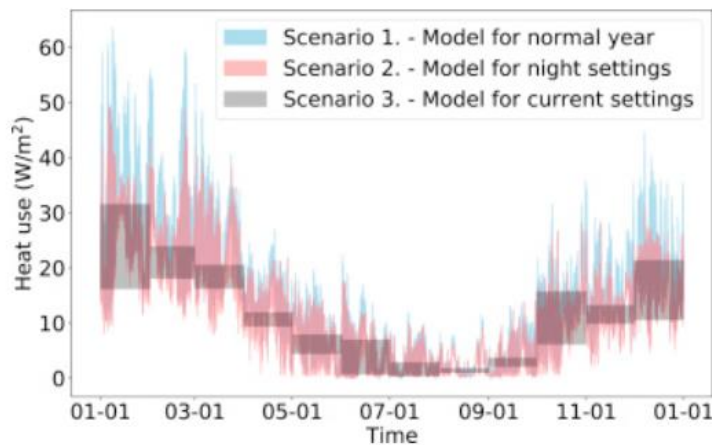


Рисунок 7. Три сценарії використання тепла у будівлі корпусу

Сценарій 3 був створений з використанням середньомісячних значень, тому він не був таким точним, як сценарії 1 та 2 з погодинними значеннями. Однак при розгляді середньомісячних значень Сценарій 3 вимагатиме більш високого використання тепла, ніж Сценарій 2, тому що він не відповідає кращому енергозберігаючому налаштуванню системи опалення.

Пропоновані сценарії можна використовувати для планування використання тепла та оцінки потенційної економії енергії. Наприклад, аналіз показав, що застосування нічних налаштувань, як у Сценарії 2, під час карантину у березні може дозволити нам заощадити 80

Втч/м² на рік на будівлю корпусу. У нормальних умовах питома річне споживання тепла у корпусі – 123 кВт-год/м² на рік. Отже, якщо зважити на щорічне використання тепла, застосування Сценарію 2 може заощадити для будівлі корпусу 43 кВтг/м² на рік. Очікується, що правильне налаштування системи опалення під час пандемії знизить споживання енергії та заощадить гроші.

Обговорення та обмеження дослідження

Ізоляція COVID у навчальному закладі триває й досі. Порівняння профілів використання тепла в даній роботі проводилося лише для березня, квітня та травня. Крім того, через обмеження, що вводилися поступово, схеми використання тепла можуть змінюватися кілька разів під час та після пандемії. Тому ця робота була зосереджена на розробці різних сценаріїв використання тепла під час пандемії. Ці сценарії були скориговані з урахуванням температури зовнішнього повітря типових холодних і теплих метеорологічних років. Типові температури є приблизними для останніх 10 років і тому можуть відрізнятись від фактичних температур у наступні роки. Відповідно, їх можна використовувати лише для оцінки можливих меж використання тепла в будинках, а не для точного прогнозування. Сценарії 1 та 2 були розроблені на основі фактичного використання тепла за весь 2019 рік. У цих сценаріях не було зроблено жодних суттєвих припущень. Навпаки, сценарій 3 був заснований на щомісячному використанні тепла у березні та квітні 2020 року, яке було екстраповано на типові холодні та теплі роки. Така екстраполяція була заснована на кількох припущеннях. По-перше, очікувалося, що місячні коефіцієнти варіації, визначені на основі даних за 2019 рік, будуть застосовні до умов пандемії. Незважаючи на несуперечність цього припущення, підтвердити його наявними даними неможливо.

Друге припущення використало той факт, що щомісячні температури зовнішнього повітря у березні та квітні 2020 року були близькі до температур того ж місяця у типові роки. Однак навіть через незначні відмінності в температурах може виникнути неточність щодо твердих частинок у сценарії 3. З цієї причини, якщо можна буде зібрати додаткові дані, необхідно провести додаткову роботу щодо покращення сценарію 3. Крім того, можуть бути визначені кращі сценарії. У проаналізованих у цьому дослідженні будівлі як основний метод теплопостачання використовується ЦТ та електрика для електроприладів.

Висновки

Пандемія COVID-19 створює серйозні проблеми для енергетичного сектору, як в Україні, так і в багатьох інших країнах. Ці проблеми насамперед пов'язані з коливаннями енергоспоживання будівель, викликаними обмеженнями, спрямованими на припинення поширення інфекції. На роботу освітніх закладів суттєво вплинули ізоляція на початку 2020 року та інші обмеження. Розуміння змін у використанні енергії, спричинених пандемією, має важливе значення для подальшого енергетичного планування, запобігання надмірному використанню енергії та забезпечення належної експлуатації будівель. Серед усіх технічних систем у будинках система опалення є найбільшим споживачем енергії в Україні. Незважаючи на це, дослідження показало, що робота систем опалення та використання тепла у навчальних корпусах під час та після пандемії COVID ще недостатньо досліджена. У статті висвітлено проблему аналізу профілів використання тепла та розробки сценаріїв для навчального

корпусу.

Дослідження показало, що форма профілів використання тепла у будні дні до та під час пандемії залишається практично незмінною та значно відрізняється від профілів на вихідних. Профілі показали, що у березні 2020 року споживання тепла було нижчим, ніж у той же період 2019 року. У квітні 2020 року споживання тепла було трохи вищим, ніж у квітні 2019 року. На відмінності між профілями у березні та квітні в основному вплинули зміни у температурі зовнішнього повітря, а не зміни налаштувань системи опалення. Таким чином, можна констатувати, що під час блокування від COVID енергосистема у багатьох будинках працювала неефективно.

Для освітнього закладу були розроблені наступні сценарії: 1) Сценарій 1 – Моделювання на основі налаштувань для звичайного року; 2) Сценарій 2 – Моделювання відповідно до нічних налаштувань використання тепла; пандемії. Усі сценарії були скориговані з урахуванням температури зовнішнього повітря типових холодних і теплих років. Метод ESC показав високу точність при моделюванні сценаріїв 1 та 2. Сценарій 3 розроблено з урахуванням місячних коефіцієнтів варіації використання тепла. Ці фактори використовувалися для прогнозування сезонних коливань використання тепла за умов карантину COVID. Пропонований сценарій може бути використаний для планування використання тепла та оцінки потенційної економії енергії. Наприклад, аналіз показав, що застосування нічного режиму, Сценарій 2, може дозволити нам знизити денне споживання тепла до 54% в порівнянні зі звичайними налаштуваннями, Сценарій 1. Для навчального корпусу може бути зменшено до 248 Втч / м². Методи та результати дослідження можуть бути застосовані до аналогічних типів будівель.

Перелік використаних джерел

1. International Energy Agency. EBC Annex 53: Total energy use in buildings: analysis and evaluation methods. - November 14, 2013. – 132 pp. URL: https://www.iea-ebc.org/Data/publications/EBC_Annex_53_Main_Report.pdf
2. Environmental Comfort Indicators for School Buildings in Sustainability Assessment Tools. / Saraiva, T.S.; de Almeida M., Bragança, L., Barbosa, M.T.. // Sustainability. – 2018. – №10, 1849 – 11 pp.
3. Katić D. Energy Performance of School Buildings by Construction Periods in Federation of Bosnia and Herzegovina / D. Katić, H. Krstić, S. Marenjak. // Buildings. – 2021. – №11, 42. – 21 pp.
4. Zhiyuan H. A framework for estimating the energy-saving potential of occupant behaviour improvement / H. Zhiyuan, H. Tianzhen, C. S.K.. // Applied Energy. – 2021. – №287. – 13 pp.
5. Occupant behaviour: a major issue for building energy performance / [Y. Laaroussi, M. Bahrar, M. Elmankibi et al.]. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – №609, 072050 – 7 pp.
6. Ivanko D. Heat use profiles in Norwegian educational institutions in conditions of COVID-lockdown / D. Ivanko, N. Nord, Y. Ding. // REHVA Journal. – 2021. – P. 55 – 58.
7. A. Bahmanyar. The impact of different COVID-19 containment measures on electricity consumption in Europe/ A. Bahmanyar, A. Estebarsari, D. Ernst //Energy Research & Social Science. – 2020. – №68. – 4 pp.

8. Закон України: «Про енергетичну ефективність будівель» від 22.06.2017 № 2118-VIII. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>
9. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010. – [Чинні від 2011-11-01] // Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с. – (Національний стандарт України).
10. J. Guan, N. Nord, S. Chen Energy planning of university campus building complex: energy usage and coincidental analysis of individual buildings with a case study Energy Build., 124 (2016), pp. 99-111

УДК 697.1, 697.27

Ряго В.В.

кафедра теплотехніки та енергозбереження

**ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ВЕЛИКОЇ ВИСТАВКОВОЇ ЗАЛИ
ДЕРЖАВНОГО ПОЛІТЕХНІЧНОГО МУЗЕЮ****ENERGY SAVING MEASURES OF THE LARGE EXHIBITION HALL OF THE
STATE POLYTECHNICAL MUSEUM**

Анотація. У даній статті розглядаються заходи з енергозбереження великої виставкової зали корпусу №6 Державного політехнічного музею. У першу чергу було проаналізовано споживання електричної та теплової енергії за 2017-2020 рр. Обстежено огорожувальні конструкції будівлі, розраховано витрати тепла та електричне навантаження, проаналізовано основні споживачі електроенергії об'єкта. Розроблено технічні рекомендації з підвищення класу енергоефективності корпусу. Здійснено енергетичне моделювання будівлі в програмному середовищі DesignBuilder. Здійснено проектування альтернативних джерел енергії зі встановленням ФЕС. Запропоновано заходи з енергозбереження.

Ключові слова: енергозбереження, заходи з енергозбереження, споживання енергії, витрати теплоти, електричне навантаження, енергетичне моделювання, альтернативні джерела енергії, ФЕС, енергоефективність.

Abstract. This article considers energy saving measures in the large exhibition hall of the building №6 of the State Polytechnic Museum. First of all, the consumption of electric and thermal energy for 2017-2020 was analyzed. The enclosing structures of the building were inspected, heat consumption and electric load were calculated, the main consumers of electricity of the object were analyzed. Technical recommendations for improving the energy efficiency class of the building №6 have been developed. Energy modeling of the building in software environments RETScreen, DesignBuilder is carried out. The design of alternative energy sources has been carried out: installation of FES. Energy saving measures are proposed.

Key words: energy saving, energy saving measures, energy consumption, heat consumption, electric load, energy modeling, alternative energy sources, FES, energy efficiency.

Вступ. За останні роки зі значним подорожчанням енергоносіїв, як перший захід було впроваджено зниження енергоспоживання, яке на сам перед використовується в системах опалення будівель. В Україні близько 70 тис. бюджетних закладів, 80 тис. багатоповерхівок, 6,5 млн приватних домогосподарств потребують термомодернізації. За оцінкою експертів для термомодернізації всіх цих будівель потрібно щонайменше 50 млрд доларів. Приведення існуючої будівлі лише до мінімальних сучасних вимог по утепленню та вимогам до інженерних систем, дозволяє заощадити на опаленні до 70%. Потенціал скорочення споживання газу може становити 8 млрд м³.

Значні за розміром з світлопрозорими конструкціями корпуси навчальних закладів страждають при цьому в першу чергу. Зменшення опалення до мінімального рівня на період

відсутності студентів або взагалі його відключення, набуло найбільшого поширення в цьому «енергозбереженні». За вимірювання температури до карантинних часів та в карантинний час в аудиторіях стовпчик термометра не підіймався вище 15°C. Температура тільки на в кінці занять наближалась до 18°C. Найбільш холодними - нижче комфортної температури залишались зовнішні стіни та світлопрозорі конструкції. До таких аудиторій відноситься велика виставкової зали корпусу №6 Державного політехнічного музею, в якій зберігаються історичні експонати розвитку промисловості України.

Для проведення термомодернізації попередньо потрібно розглянути практику, яка впроваджується європейських країнах: енергоменеджмент, енергосервіс, механізми державного фінансування енергоефективних заходів, пільгові кредити тощо.

Основні етапи модернізації об'єкту складаються з наступного:

- Проведення енергоаудиту та оцінки технічного стану.
- Утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій не нижче вимог стандартів.
- Енергоощадні вікна, заміна входних дверей та утеплення під'їздів та входів.
- Заміна освітлювальних приладів на енергоощадні світлодіодні
- Встановлення енергоефективного обладнання з опалення, прибирання довгих теплових транспортуючих комунікацій.
- Встановлення терморегулюючого обладнання в тепловий пункт, балансувальних клапанів та, радіаторних терморегуляторів.
- Модернізація вентиляції з використанням рекуператорів, та кондиціонування повітря.
- Використання альтернативних джерел енергії та автономних систем для опалення, гарячого водопостачання, освітлення.

Порядок та доцільність наведених етапів потребує цільового обговорення та розглядає можливості після виконання енергоаудиту здійснювати окремі заходи з наведеного переліку, які є доцільними та вкрай є необхідними після зменшення об'ємів теплопостачання в очікуванні фінансування основних напрямків термомодернізації.

Мета роботи та завдання

Аналіз заходів з енергозбереження корпусу №6 Державного політехнічного музею та великої виставкової зали. Розглянути заходи додаткового теплопостачання на основі альтернативних джерел енергії та автономних джерел теплопостачання.

Нормативні матеріали

Умови в приміщеннях учбових закладів регламентуються ДБН 2018 р. Будинки і споруди «Заклади освіти» з посиланням на ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Опис об'єкту дослідження



Рисунок 1 – Загальний вигляд об'єкту дослідження.

Об'єктом енергоаудиту та досліджень був навчальний корпус №6 НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» знаходиться за адресою: 03056, м. Київ проспект Перемоги 37. У корпусі діє Державний політехнічний музей при НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

В корпусі №6 на початку будівництва у період 1898–1901 рр. були сплановані та розташовані механічні майстерні. У 1998 році до століття заснування КПІ у приміщенні проведено ремонтно-реставраційні роботи.

Нині тут розташовані Державний політехнічний музей та на другому і третьому поверсі навчальні аудиторії, бібліотека та приміщення, що оренднуються.

Споруда цегляна нежитлова, перекриття – дерев'яні балки. П - подібна за планом будівля складається з 3 частин : центрального (нині 3 поверхи) та 2 бічних крила, в яких розташований музей. При побудові використано цеглу та дерево для даху. Загальна площа – 3839 м², опалювальна – 3389 м², площа скління – 579 м², що становить 15 % від загальної площі будівлі.

Річне споживання енергоносіїв

Будівля використовує такі види енергоносіїв: електрична енергія, теплова енергія, вода. Розрахунок за спожиті енергоресурси здійснюється за показами існуючих вузлів обліку тепло- та електроенергії, води для всього корпусу №6 з виставковою залом.

Теплова енергія використовується централізовано на опалення у холодну пору року, ГВП у корпусі немає, а електрична енергія – на освітлення, живлення малопотужних споживачів (телевізори навчальних аудиторій, комп'ютери та інша оргтехніка). Теплова в споживання складає більше 45% від споживання енергоносіїв, яка в кошторисному вигляді складає на рівні 55%.

Обстеження огорожувальних конструкцій будівлі

Стіни. Будівельний матеріал споруди – цегла з шириною кладки 76 см.

Площа стін будівлі – 2547 м², що становить 66 % від загальної площі. Технічний стан

добрий.

Вікна. Вікна корпусу – подвійні, віконні рами дерев'яні, роздільні. Площа оскління – 579 м², що становить 15 % від загальної площі, а від площі стін – 23%. Стан вікон незадовільний. Загальна кількість вікон – 144.

Тепловізійна зйомка показала неналежне функціонування фурнітури й негерметичність ущільнювачів та дефекти монтажу вузлів примикань віконних блоків до стін, що призводить до появи протягів та порушенню мікроклімату в приміщеннях.

Двері. Двері у корпусі дерев'яні та металевих конструкцій. Загальна площа дверей – 114 м², що становить 3 % від загальної площі будівлі. Стан дверей задовільний.

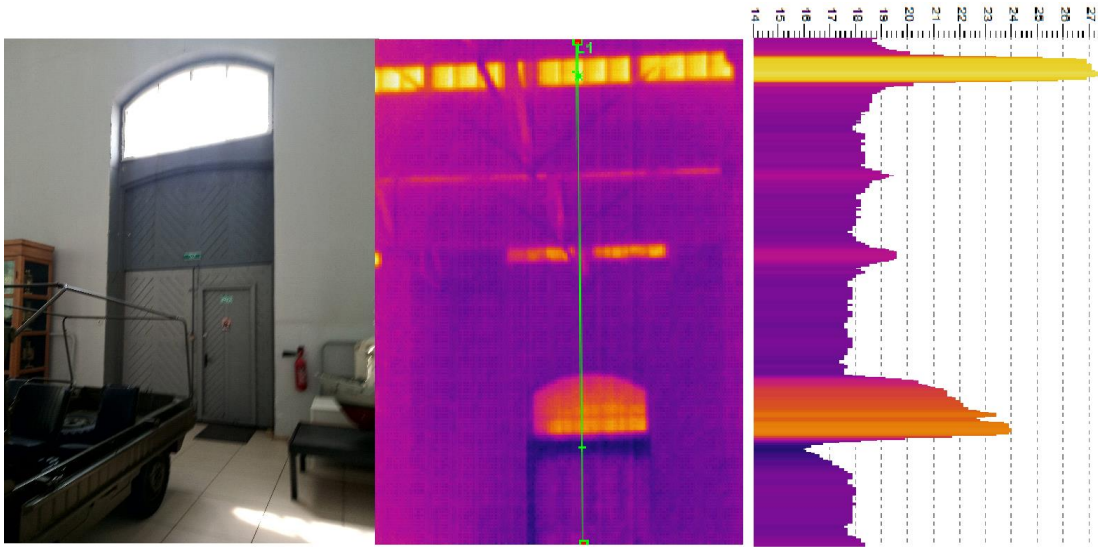


Рисунок 2 – Фото та тепловізійний знімок дверей корпусу з розподілом температур

Дах. Для даху використано покрівельне залізо завтовшки 0,3 мм. Зверху вкрите шаром полімерних фарб. Стан даху добрий. Площа даху становить 16 % від загальної площі.

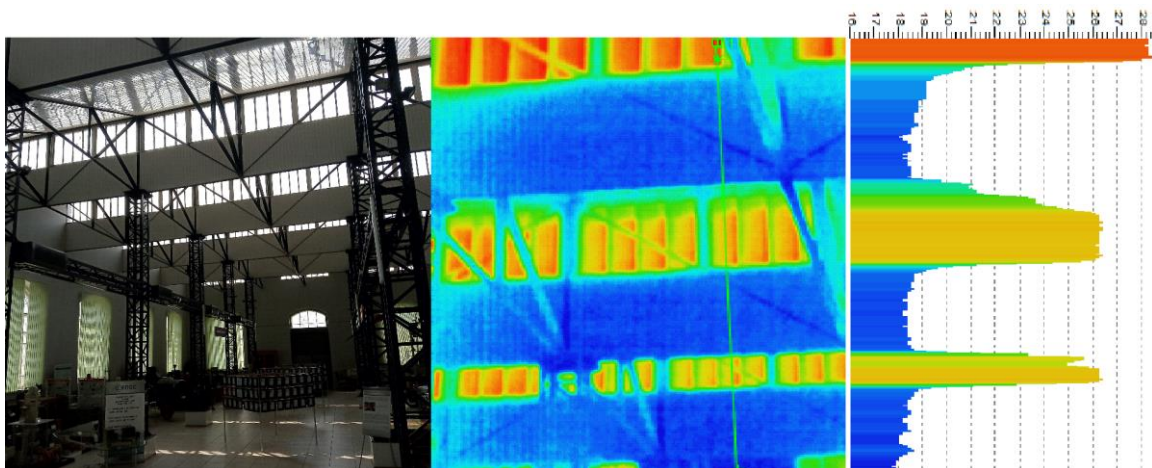


Рисунок 3 – Фото та тепловізійний знімок даху будівлі

Таблиця 1 – Розрахунок характеристик огорожувальних конструкцій

Огорожа	Матеріал огорожі (шару)	Товщина шару	Коефіцієнт теплопровідності	Внутрішній коефіцієнт тепловіддачі	Зовнішній коефіцієнт тепловіддачі	Термічний опір огороження	Нормативний термічний опір	Коефіцієнт Теплопередачі огороження
		δ	λ	$\alpha_{в}$	$\alpha_{з}$	R_0	R_H	K_0
		м	$\frac{Вт}{м \cdot К}$	$\frac{Вт}{м^2 К}$	$\frac{Вт}{м^2 К}$	$\frac{м^2 К}{Вт}$	$\frac{м^2 К}{Вт}$	$\frac{Вт}{м^2 К}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Стіни	Кладка цегляна	0,680	0,68	8,7	23,0	1,28	3,3	0,781
	Розчин цементно-піщаний	0,004	0,76					
Вікна	Подвійні дерев'яні, роздільні					0,187	0,75	5,34
Двері	Металеві					0,16	0,6	6,25
	Дерев'яні					0,333		3,000
Дах						3,3	4,5	0,303

Жодна з огорожуючих конструкцій не відповідає сучасним нормативним вимогам по теплозахисту.

Енергетичне моделювання в програмному середовищі DesignBuilder

Для оцінки впровадження сучасних заходів з енергозбереження було проведено моделювання теплотехнічного стану будівлі в програмному середовищі RETScreen, яке дозволяє розглянути всі інженерні мережі будівлі (теплові та електричні) та будівельні конструкції, запропонувати декілька варіантів покращень з повним описом таких важливих показників як економічність, екологічність та енергоефективність, програма вираховує динамічний термін окупності заходів з енергозбереження.

У програмному середовищі DesignBuilder було створено фактичну (actual) модель будівлі навчального корпусу з реальними характеристиками її інженерних систем, огорожувальних конструкцій та умов експлуатації (недотримання нормативних температур, відсутня механічна вентиляція). Джерелом кліматичної інформації слугував міжнародний кліматичний файл погоди IWEC з годинним кроком дискретизації даних для м. Київ.

Розроблену модель було модифіковано під фактичний (actual), базовий (baseline), запропонований (proposed) варіанти. Було побудовано тривимірну модель будівлі корпусу №6 Державного політехнічного музею КПІ ім. Ігоря Сікорського та задано всі фактичні характеристики її теплофізичних властивостей. Будівлю було розділено на окремі зони, теплофізичні параметри всередині яких суттєво не відрізняються.

У підрозділах програми Activity для будівлі було задано різні параметри, що описують режим функціонування корпусу, основні параметри мікроклімату тощо.

У підрозділах програми Construction та Openings були задані теплофізичні властивості огорожувальних конструкцій будівлі.

У підрозділі програми HVAC System було прийнято конфігурацію системи опалення, з параметрами теплоносія теплопостачальної організації, та автоматичним регулюванням системи опалення відповідно з використанням терморегуляторів в зонах будівлі.

Просимулювавши побудовану модель будівлі були отримані результати річних даних щодо енергоспоживання різних інженерних систем будівлі. Результати моделювання наведено

в таблиці 1 та отримані низка показників.

Таблиця 2 – Аналіз даних по споживанню в програмному середовищі DesignBuilder

Модель	Данні за лічильниками	Actual	Baseline за найбільшим енергоспоживанням	Proposed
Теплова енергія				
Абсолютне значення	147606	156913	197417	99812
Електроенергія				
Абсолютне значення	106213	104716	124847	117789

Дослідження можливого додаткового автономного опалення великої зали музею

За дослідженнями стану в приміщенні великої виставкової зали температурний режим не відповідає вимогам стандартів та вимагає додаткових джерел підтримання температурних та вологісного режимів в приміщенні музею. Одним із можливих заходів є автономний електричний обігрів за рахунок обігрівачів UFO, керамічних електропанелей та нагріву скла вікон. Даний нагрів може бути здійснений періодично нетривалий час: під час екскурсій та виставкових заходів; для зменшення вологості в приміщенні тощо - для створення комфортних умов для відвідувачів та збереження експонатів.

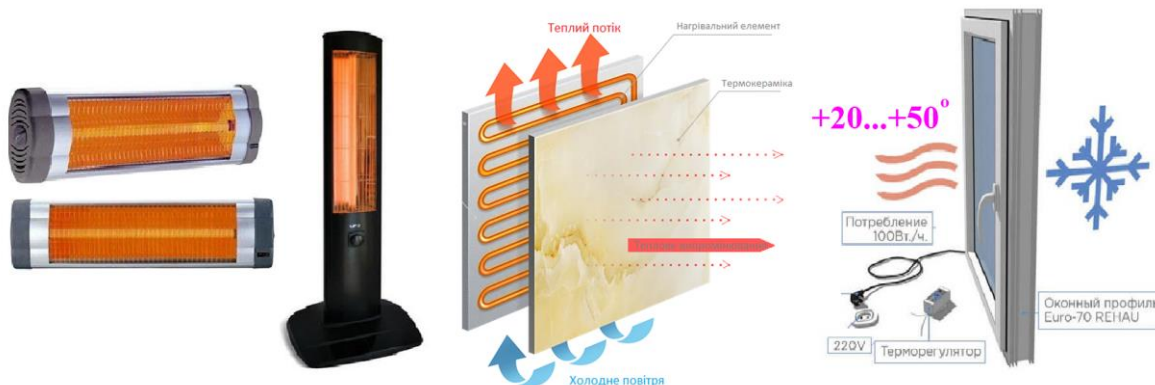


Рисунок 4 – Обігрівачі UFO, керамопанель, скло з м'яким напиленням та нагрівом.

Було розглянуто додаткове електроспоживання, яке для виставкової зали за умов додаткового нагріву інфрачервоними обігрівачами на 6...10...20 К, яка склала за розрахунками фірм виробників, відповідно 30...60...98 кВт/год, із розрахунку 50...100 Вт на м². Скло з нагрівом до температури 20...30 °С за площею скління має споживання на рівні 12...25 кВт/год.

Для впровадження даних заходів було доцільно розглянути альтернативні джерела енергії.

Проектування альтернативних джерел енергії

Проектувати системи альтернативних джерел енергії в програмному середовищі PVSol Premium (ФЕП – фотоелектричні панелі) з візуалізація в 3D-режимі надає детальну інформацію про надходжень сонячної радіації і тіні, подані в різні часи дня і року.

Встановлення фотоелектричної системи (ФЕС)

Пропонується на даху чотириповерхової секції освітнього закладу, будівельні характеристики якого наведені в розділі 1, встановити фотоелектричну систему, яка задовольнятиме частину енергопотребителів корпусу.

Пропонуємо розмістити 172 модулів, спроможних виробити до 102 кВт/год в сонячний день. Середнє вироблення електрики за місяць складає 15 тис...20 тис кВт/год.

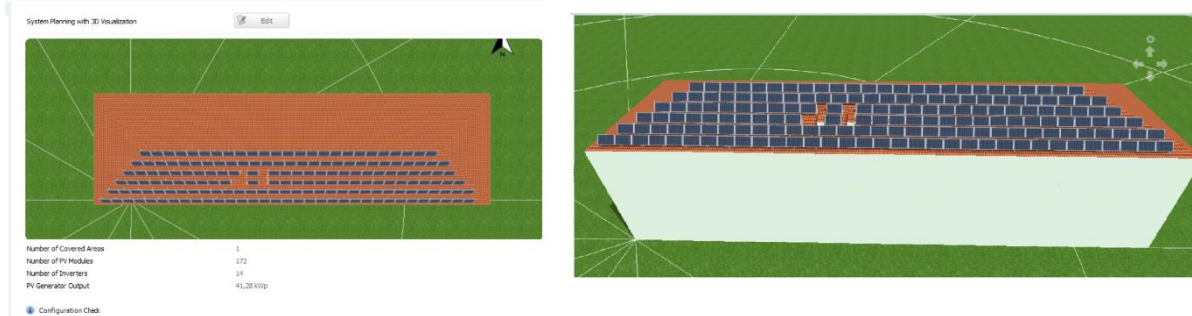


Рисунок 5 – Схема розташування ФЕС на даху корпусу

Данна система забезпечить необхідний додатковий нагрів великої зали музею навіть в зимові місяці, а надлишок можливо використовувати для споживання корпусом.

Висновки

Були проведені розрахунки та оцінювання впровадження заходів з енергозбереження з використанням моделювання теплотехнічного стану будівлі в програмному середовищі RETScreen, та визначено термін окупності впровадження заходів з енергозбереження, який дорівнює 13,7 років.

Моделювання програмному середовищі DesignBuilder дозволило розглянути всі можливі реальні аспекти енергоспоживання за умов експлуатації та погодних умов у вигляді тривимірної моделі за якими можна визначити рішення відносно теплоспоживання, яке можливо знизити на 36,5%.

Для додаткового опалення запропоновано автономні електронагрівачі, які доцільно використовувати за рахунок впровадження ФЕС та їх розрахунку в програмному середовищі PVSol Premium.

Список використаної літератури

1. ДБН В.2.2-3:2018 Будинки і споруди. Заклади освіти.
2. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. 145 с.
3. ДБН В.26-31:2016 «Теплова ізоляція будівель»; чинний від 2017-05-01. // Мінбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2018. – 65 с. – (Державні будівельні норми України).

Науковий керівник: к.т.н., доц. Виноградов-Салтиков В.О.

УДК 697.1:

Ващишин Р.Л.

Кафедра теплотехніки та енергозбереження

**ПОТЕНЦІАЛ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЛІ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ №5****ENERGY SAVING POTENTIAL AND ASSESSMENT OF ENERGY CHARACTERISTICS
OF THE BUILDING OF THE EDUCATIONAL BUILDING №5**

***Анотація:** Для навчального корпусу №5 КПІ ім. Ігоря Сікорського проведено енергетичне обстеження та здійснено техніко-економічну оцінку потенціалу енергозбереження будівлі з побудовою різних моделей в програмах для визначення рівня енергоспоживання. Розраховано теплові втрати будівлі та запропоновано заходи з комплексної термомодернізації огорожувальних конструкцій та інженерних систем. Розраховано базовий рівень енергоспоживання з урахуванням нормативних вимог експлуатації будівлі.*

Ключові слова: енергетична модель, енергоефективність, енергозбереження, навчальний корпус, програмний продукт.

***Annotation:** For the educational building №5 KPI them. Igor Sikorsky conducted an energy audit and a technical and economic assessment of the energy saving potential of the building with the construction of various models in programs to determine the level of energy consumption. Heat losses of the building are calculated and measures on complex thermal modernization of enclosing constructions and engineering systems are offered. The basic level of energy consumption is calculated taking into account the regulatory requirements for the operation of the building.*

***Key words:** energy model, energy efficiency, energy saving, educational building, software product.*

Вступ: сьогодні у всьому світі піднімаються питання зниження використання енергетичних ресурсів та викопного палива для зниження викидів вуглекислого газу. Один із шляхів – підвищення рівня енергетично ефективності існуючого будівельного фонду. Особливо болючою ця проблема є для навчальних закладів в умовах обмеженості бюджетного фінансування та необхідності дотримання умов мікроклімату у будівлях. Вибір енергоефективних заходів повинен супроводжуватися техніко-економічними розрахунками. На ринку існують програмні продукти створені для пришвидшення розрахунків енергетичних характеристик до та після впровадження заходів з термомодернізації, що дозволяє значно підвищити кількість виконаних проектів. В рамках роботи над магістерською дисертацією виконано вивчення можливостей таких програм на прикладі будівлі навчального корпусу №5 КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Мета та завдання дослідження: Мета полягає в проведенні енергетичного обстеження та дослідженні енергетичних характеристик навчального корпусу №5 КПІ ім. Ігоря Сікорського з впровадженням заходів по модернізації системи опалення та зовнішніх стін за допомогою програм Design Builder та Retscreen.

Завдання полягає у таких кроках як: збір даних по навчальному корпусу, уточнення теплотехнічних характеристик та геометричних розмірів, створення 3D моделі, верифікація моделі та порівняння отриманих даних з фактичними даними по споживанню з лічильників за

останні роки, визначення базового рівня енергоспоживання. Робота з програмними продуктами дозволила визначити позитивні та негативні сторони для кращого розуміння управління процесами споживання [1].

Матеріал і результати дослідження: Об'єкт дослідження: навчальний корпус №5 по вул. Політехнічній, 6 (рисунк 1). В будівлі розташовано Теплоенергетичний факультет КПІ ім. Ігоря Сікорського. До складу корпусу входить три будівлі (трьохповерхова, п'ятиповерхова, дев'ятиповерхова). Опалювальний об'єм - 60050 м³. Наявні приміщення різного призначення: лабораторні, навчальні аудиторії, технічні приміщення, підвал, їдальня тощо.

Графік роботи будівлі: понеділок-п'ятниця 8.00 -20.00; субота 8.00 -15.00; неділя - по розпорядженню.

В корпусі знаходиться близько 1946 чоловік, з яких 306 працює (викладацький та допоміжний персонал) та проходить навчання близько 1640 студентів.

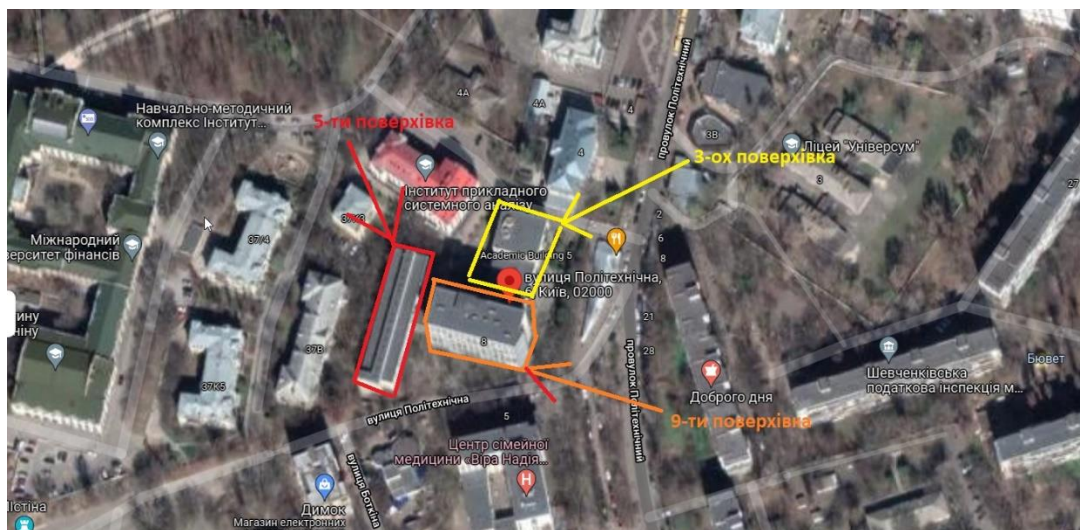


Рисунок 1- Корпус №5 КПІ ім. Ігоря Сікорського

Теплопостачання – централізоване з двома встановленими індивідуальними тепловими пунктами (ІТП). Один ІТП знаходиться під дев'ятиповерховою будівлею з насосною схемою опалення. Другий знаходиться під триповерховою будівлею з елеваторною схемою. Параметри теплоносія – 95/70°C. Гаряче водопостачання відсутнє.

Постачання електроенергії відбувається від розташованого на території корпусу ТП, який в свою чергу отримує живлення від РП-37.

Після проведення обстеження навчального корпусу та проведеними розрахунками тепловтрат, можна зробити висновок про недотримання температурного графіку. Це відбувається через огорожувальні конструкції (ОК), що не відповідають сучасним вимогам, недотримання температурного графіку теплоносія. У таблиці 1 у якості прикладу показано розрахунки тепловтрат основної 9-типоверхової частини будівлі.

Таблиця 1 – Втрати теплоти через огороження будівлі

9-ти поверхова будівля									
ОК	Тип	Орієнтація ОК	Площа ОК, м ²	К, Вт/(м ² ·К)	Δt, °С	n	1+Σβ	Q _o , Вт	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ЗС	Залізобетонні	Пд	855,88	2,166	40	1	1,05	77848,70	
		Зх	629,59			1	1,1	59992,40	
		Пн	837,08			1	1,15	83390,01	
		Сх	332,84			1	1,15	33157,56	
		Пд-Сх	300,46			1	1,05	27329,1	
Вікна	Дерев'яні	Пд	280,6	1,92		1	1,05	29463,00	
		Зх	3,145			1	1,1	345,95	
		Пн	93,15			1	1,15	10712,25	
		Сх	36,4			1	1,15	4186,00	
	Металопластикові	Пд	331,2	1,33		1	1,05	18547,2	
		Зх	0		1	1,1	0		
		Пн	366,85		1	1,15	22500,13		
		Сх	0		1	1,15	0		
Двері	Металеві	Пн	6	3,45	1	1,05	951,72		
Дах	-	-	776,6	0,77	0,9	1	21663,09		
Підлога	-	-	776,0	0,73	0,6	1	13671,15		
								Q _{Σoк}	403728,3

Також було визначено споживання за три роки експлуатації будівлі (рис.2), співвідношення для видів енергії (усереднено за 3 роки) показано на рисунку 3.

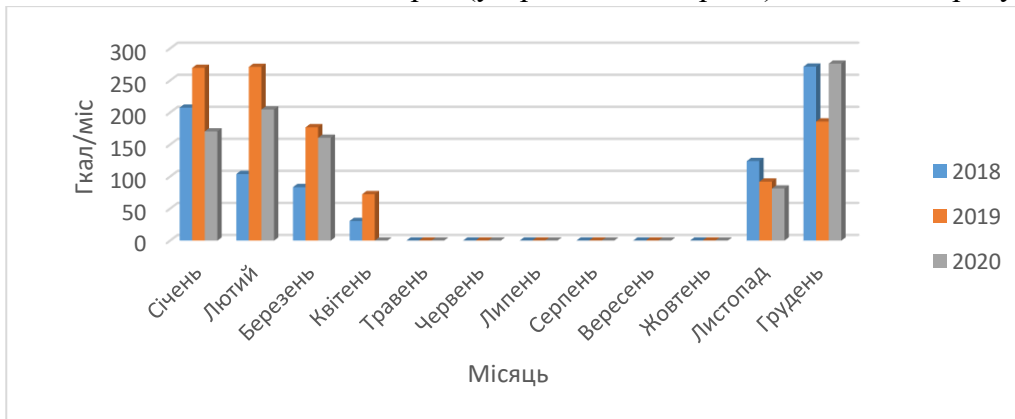


Рисунок 2 – Споживання теплової енергії за останні 3 роки



Рисунок 3 – Баланс споживання електричної та теплової енергії, %

Як видно більшу частку займає теплова енергія, тому і заходи по її збереженню будуть мати більший потенціал.

Виконано розрахунки ефекту від впровадження енергозберігаючих заходів, результати наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунків заходів з енергозбереження

Захід з енергозбереження	ΔQ , Гкал	K, тис. грн	ΔE , тис. грн/рік	$T_{ок}$, роки
Заміна вікон на нові енергоефективні	163,1	2077,5	263,01,33	6,9
Утеплення зовнішніх стін	869,5	7506,0	1457,03	4,5
Утеплення даху	113,9	2816,6	183,6	13,56
Теплоізоляція трубопроводів	0,02	259,3	147,1	1,76
Модернізація індивідуального теплового пункту	53	1000	85,4	11,7

Далі виконувалося енергетичне моделювання будівлі навчального корпусу у спеціалізованих програмних продуктах.

Енергетична модель, побудована в Design Builder

Програмний продукт має широкі можливості, такі як: створення складного 3D макету будівлі (рисунок 4), можливість закладати реальні характеристики наявних огорожувальних конструкцій по шарам, побудова системи опалення та електропостачання, використання кліматичних баз даних IWEC файлу, можливість отримання кінцевого звіту з погодинними, помісячними та річними даними по споживанню, тощо [3].

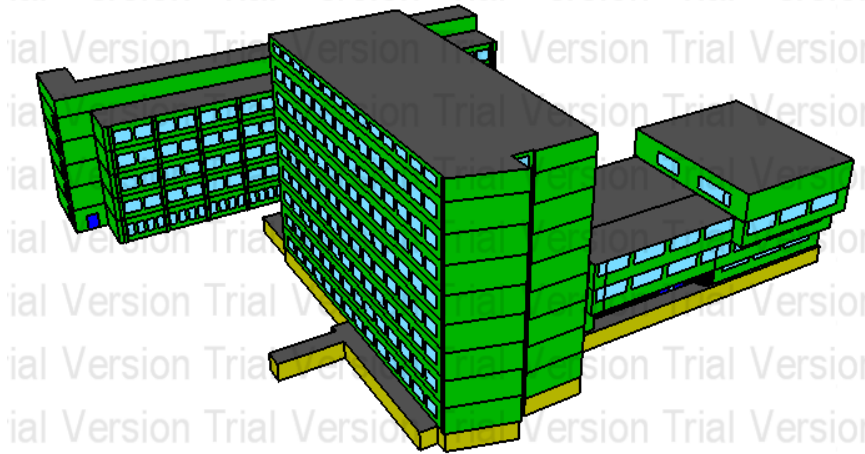


Рисунок 4 – Вигляд будівлі створено у Design builder

При створенні моделі навчальний корпус поділений на три блоки в залежності від частини будівлі (А – 9-ти поверхова частина, В – 5-ти поверхова частина, С – 3-ох поверхова частина), кожен блок розділено на зони в залежності від призначень приміщень. Також задано характеристики у розділі «construction» зовнішніх стін, даху, стін підвалу та світлопрозорих конструкцій і дверей у розділі «openings». В розділі «HVAC» обрано відповідний тип системи опалення з фактичними параметрами теплоносія.

У програмі створено три моделі.

Перша – це модель фактичного споживання енергетичних ресурсів з реальними характеристиками експлуатації будівлі, що була створена за допомогою існуючого 2D поверхового плану (формату «*.dxf») з фактичними конструктивними та теплотехнічними характеристиками об'єкту. Верифікація моделі відбувалася шляхом порівняння з фактичними показами з лічильників обліку енергії корпусу та порівняння з результатами моделювання у програмному продукті Retscreen за умови однакових вхідних даних. Було прописано такі характеристики будівлі, як: заповнення людьми (0,117 людей/м²), фактична середня температура (17°C), питома потужність електрообладнання (4,74 Вт/м²), інфільтрація повітря (0,35 л/с). Споживання електричної енергії склало – 303763 кВт·год, теплової енергії – 952042 кВт·год.

Друга – базова модель з нормативними параметрами експлуатації (такими як: внутрішня температура, кратність вентиляції, освітленість робочих місць, наявність працюючої механічної вентиляції, тощо). Встановлено такі показники: температура у приміщеннях 20°C з режимом зниження у неробочі години до 17°C, подача припливного повітря 7 л/с, щільність потужності електричного обладнання – 2,4 Вт/м² та інші. Після симуляції моделі виявлено ріст споживання енергетичних ресурсів на 38% у порівнянні з фактичними витратами.

Третя – запропонована модель після впровадження енергозберігаючих заходів, що враховує утеплення зовнішніх стін, перекриття даху та перекриття підвалу для дотримання нормативного приведенного опору теплопередачі, заміна старих вікон на нові, впровадження системи вентиляції з рекуперацією теплової енергії та системи охолодження повітря «DX Cooling Coil».

Було прописано такі характеристики будівлі, як: заповнення людьми (0,117 людей/м²), фактична середня температура (17°C), питома потужність електрообладнання (4,74 Вт/м²), інфільтрація повітря (0,35 л/с), питома потужність системи освітлення (2,4 Вт/м²). Також

задано характеристики у розділі «construction» зовнішніх стін, даху, стін підвалу та світлопрозорих конструкцій і дверей у розділі «openings». В розділі «HVAC» обрано відповідний тип системи опалення з фактичними параметрами теплоносія. Вдалося досягти зменшення витрат теплової енергії на 53%. Споживання електроенергії зменшилося на 23%. Схематична візуалізація системи опалення наведено на рисунку 5.

Retscreen програма, яка також дозволяє розрахувати тепловтрати будівлі та отримати фінансовий план реалізації проекту [4].

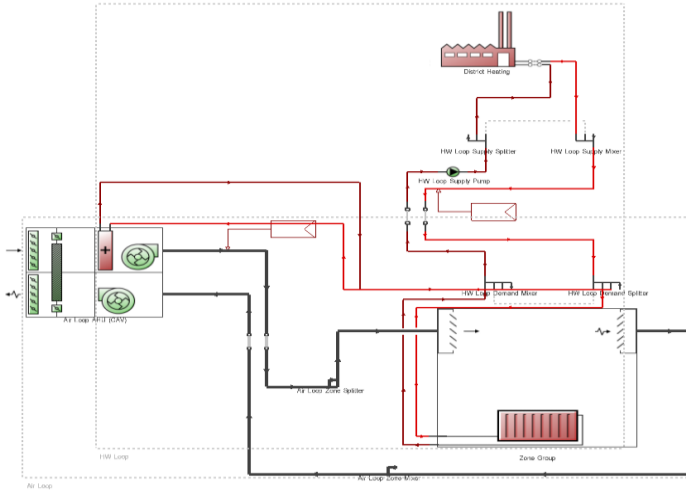


Рисунок 5 – Схема системи опалення та вентиляції моделі (proposed) корпусу

Було побудовано модель навчального корпусу у Retscreen: для огорожень вказувалися середньозважені опори теплопередачі, задавався режим експлуатації будівлі, середня температура внутрішнього повітря (17 C), кількість осіб та характеристика системи опалення, вентиляції та електропостачання. Також було створено базову модель та запропоновану модель з урахуванням впроваджених заходів, які відповідають заходам, аналогічним тим, що враховувалися у побудові моделі в програмі Design Builder. Витрата теплової енергії у запропонованій моделі у Retscreen зменшилася на 53%, електроенергії - на 26% (рис.6).

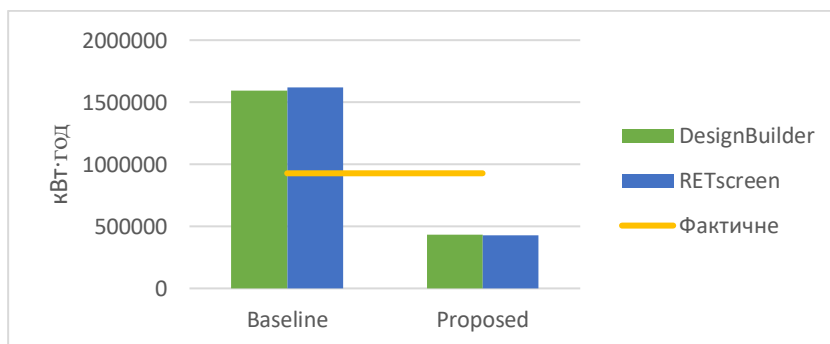


Рисунок 6 – Графік порівняння споживання тепла отриманими моделями

Висновок: порівнявши наведені програми, можна зробити висновки, що вони дозволяють визначати енергетичні характеристики будівлі і оцінювати ефект від впровадження комплексу енергоефективних заходів. Design Builder дозволяє більш детально сформулювати характеристики моделі, в тому числі отримувати дані у річному і погодинному

розрізі для різних зон будівлі з індивідуальними параметрами мікроклімату та інженерних мереж. Також перевагами є наступне: можливість побудови 3D моделі об'єкту, формувати детальний звіт з необхідними параметрами для аналізу витрат, тощо. Програма RETScreen дозволяє виконувати фінансову оцінку, зокрема вона обчислює простий та дисконтований термін окупності, IRR та ін. Визначення терміну окупності заходів у Design Builder проблематично через погану пристосованість до проблематики ринку в Україні.

Перелік використаних джерел

- 1) Управління ефективністю енерговикористання у вищих навчальних закладах: монографія / Білоус І.Ю., Дешко В.І., Суходуб І.О., Шевченко О.М., Шовкалюк М.М. – К.: Політехніка, 2015. – 188 с.
- 2) ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель.
- 3) RETScreen - Clean Energy Management Software [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/tools/data-analysis-software-modelling/retscreen/7465>
- 4) DesignBuilder - About DesignBuilder [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://designbuilder.co.uk/about-us>

Науковий керівник – к.т.н., доцент Шовкалюк М.М.

УДК 697.1

Петренко Л. М.
кафедра теплотехніки та енергозбереження

ЕНЕРГЕТИЧНА ТА ЕКСЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЛІ ЖИТЛОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ. ЕНЕРГЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

Анотація. Метою статті є моделювання енергетичних потоків, аналіз їх характеристик та проектування системи альтернативних джерел енергії з метою підвищення рівня енергоефективності житлових будинків на прикладі двоповерхової житлової будівлі за адресою місто Київ, пр. Відрадний 71/2. В статті розглянуто загальні характеристики будинку, проведено моделювання та аналіз енергетичних потоків за допомогою програмного середовища RETScreen та DesignBuilder, здійснено проектування системи альтернативних джерел енергії в програмних середовищах PVSol Premium та TSol. На підставі проведеного порівняльного аналізу визначено найдоцільнішу систему альтернативних джерел енергії.

Ключові слова: моделювання енергетичних потоків, аналіз енергетичних характеристик, проектування системи альтернативних джерел енергії, порівняльний аналіз.

Abstract. The goal of the article is to model energy flows, analyze their characteristics and design a system of alternative energy sources to increase the energy efficiency of residential buildings on the example of a two-storey residential building at Kyiv, Vidradny Ave. 71/2. The article considers the general characteristics of the house, modeling and analysis of energy flows using the software environment RETScreen and DesignBuilder, designed a system of alternative energy sources in the software environment PVSol Premium and TSol. On the basis of the conducted comparative analysis the most expedient system of alternative energy sources is defined.

Key words: modeling of energy flows, analysis of energy characteristics, design of a system of alternative energy sources, comparative analysis.

Вступ

Енергозбереження починається з чіткого розуміння необхідності покращення економічних показників за рахунок меншого споживання енергоресурсів. Для того щоб забезпечити раціональне використання енергетичних ресурсів необхідний ефективний підхід до аналізу систем споживання енергії. Скорочення витрат на паливно-енергетичні ресурси досягається шляхом доведення споживання енергетичних ресурсів до кращих світових показників за рахунок проведення організаційних і технічних заходів з енергозбереження [1].

Сьогодні норми та закони передбачають врахування параметрів енергоефективності при будівництві нових і реконструкції старих будівель. Не зважаючи на те, що законодавство сфери енергетичної ефективності не є досконалим, такі закони як ЗУ «Про енергетичну ефективність будівель» [2] вже дають позитивні результати. Ініціативні громадяни та підприємства за підтримки держави покращують енергоефективність своїх будівель, таким чином зменшуючи свої фінансові затрати шляхом зменшення сплати за енергоносії та сприяють наближенню держави до енергетичної незалежності та покращення екологічного стану України.

Для покращення енергоефективності вже існуючих будинків, слід проводити моделювання потоків енергії та аналіз їх характеристик, на основі яких, проектувати альтернативні джерела енергії.

Мета та завдання

Метою даної статті є дослідження та моделювання енергетичних та ексергетичних потоків, аналіз їх характеристик та проектування системи альтернативних джерел енергії з метою підвищення рівня енергоефективності житлових будинків.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання.

1. Дослідити загальні характеристики будинку.
2. Провести аналіз фактичного енергоспоживання будинку та моделювання потоків енергії в програмному середовищі RETScreen та DesignBuilder.
3. Виконати проектування системи альтернативних джерел енергії в програмних середовищах PVSol Premium та TSol.
4. Визначити найдоцільнішу систему альтернативних джерел енергії.

Матеріал та результати досліджень

Першим кроком при термомодернізації є енергетичний аудит – глибоке дослідження енергетичних характеристик будівлі, її огорожувальних конструкцій, інженерних систем та мереж. Кінцевою ціллю аудиту є визначення рівня енергетичної ефективності будівлі та присвоєння їй класу енергетичної ефективності, в подальшому, отримані показники будуть використані для розробки проекту модернізації та обґрунтування його економічної доцільності. [3].

Об'єктом дослідження є двоповерхова житлова будівля за адресою: місто Київ, пр. Відрадний 71/2. Це будівля першого періоду індустріального домобудування на 3 під'їзди, 15 квартир, введена в експлуатацію у 1950 році. Будівля побудована без врахування сучасних будівельних норм з енергозбереження, а саме: перекриття горища та зовнішні стіни мають недостатній рівень теплоізоляції за сьогоднішніми будівельними нормами та цінами на енергоносії[4]. В результаті цього не дотримується температурний режим в житлових приміщеннях та має місце перевитрата тепла на опалення будівлі.

Загальну інформацію про огорожувальну конструкцію, склад та площу зовнішніх стін, та характеристики світлопрозорих конструкцій зведемо у таблиці 1 – 3.

Таблиця 1 – Склад зовнішніх стін

Конструкція стіни	керамічна пустотіла цегла 0,51м, штукатурка - 0,02м	Теплоізоляція відсутня
-------------------	---	------------------------

Таблиця 2 – Площа зовнішніх стін

Орієнтація	Пд	Пн	Зх	Сх
Площа стіни (м ²)	169,34	169,34	164,53	164,53
Загальна площа (м ²)	667,74			

Таблиця 3 – Характеристики світлопрозорих конструкцій

Площа одного, м ²	Тип матеріалу	Кількість				Тип засклення
		Пд	Пн	Зх	Сх	
1,76	МП	8	8	10	20	2
0,25	МП			2		2
1,76	Д	4	9	5	4	
0,25	Д	4		2		
Загальна площа засклення, м ²		120,37				

Опалення та гаряче водопостачання(ГВП) реалізуються централізовано. Встановлено 53 чавунних радіаторів. Термостатичні крани відсутні.

Система тепlopостачання розбалансована. Труба, по якій відбувається розведення теплоносія по стояках потребує заміни. Індивідуальний тепловий пункт (ІТП) розташований в підвальному приміщенні. Труби частково утеплені. Зовнішній вигляд ІТП наведено на Рис 1.



Рисунок 1 – Обладнання ІТП житлового будинку Відрадий маєток по адресі пр. Відрадий 71/2

Об'єктом споживаються такі енергоносії: електрична енергія, тепла енергія та холодна вода. Аналіз динаміки споживання енергоносіїв показує, що використання енергетичних ресурсів кожного року є схожим. Взимку має місце збільшення обсягів споживання теплової та електричної енергії, що зумовлено роботою централізованого опалення, наявністю додаткових приладів обігріву. В першу чергу варто розглядати системи тепло- та електропостачання. На Рис. 2 зображено баланс грошових сплат за спожиті енергоресурси.

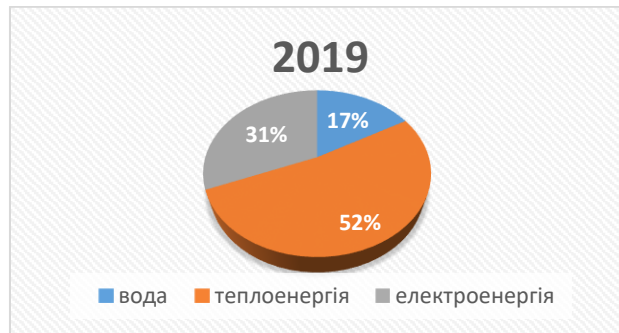


Рисунок 2 – Оплата за теплову, електричну енергію та воду за 2019 рік

Вичерпний аналіз і визначення технічної і фінансової доцільності потенційних проектів реновації будівлі, а також їх енергетичну ефективність було проведено в програмному середовищі RETScreen та DesignBuilder. Виконано їх порівняльний аналіз.

Програма дозволяє розглянути всі інженерні мережі будівлі (теплові та електричні), запропонувати декілька варіантів покращень з повним описом таких важливих показників як економічність, екологічність та енергоефективність. Позитивним фактором є те, що програма вираховує динамічний термін окупності запропонованих енергоефективних заходів (ЗЕЗ).

До недоліків цього продукту відноситься система вводу характеристик огорожуючих конструкцій – необхідно вручну вираховувати значення приведенного коефіцієнту опору теплопередачі в тих випадках, коли є неоднорідність ОК на ділянці, що розглядається[5, 7].

Аналіз теплотехнічного стану будівлі в RETScreen є досить зручним та точним, його результати наведені на Рис. 3 – 4.

		Паливо		Базовий випадок		Запропонований випадок		Економія витрат на паливо	
Вид палива		Споживання палива - одиниці	Вартість палива	Споживання палива	Вартість палива	Споживання палива	Вартість палива	Зекономлене паливо	Економія витрат на паливо
Електроенергія		МВт-год	€ 82,000	166,5	€ 13 652	152,8	€ 12 531	13,7	€ 1 121
Природний газ		кВт-год	€ 0,040	700 265,3	€ 28 011	242 238,2	€ 9 690	458 027,2	€ 18 321
Разом					€ 41 663		€ 22 221		€ 19 442

Перевірка проекту		Споживання палива - одиниці	Споживання палива - традиційне	Споживання палива - базовий	Споживання палива - зміна
Вид палива					
Електроенергія		МВт-год	161,9	166,5	3%
Природний газ		кВт-год	705 547,3	700 265,3	-1%

Енергія		Опалення	Охолодження	Електроенергія	Разом
		ГДж	ГДж	ГДж	ГДж
Споживання енергії - Базовий випадок		1 513	180	599	2 292
Споживання енергії - Запропонований випадок		698	140	550	1 388
Зекономлена енергія		815	40	49	904
Зекономлена енергія - %		53,9%	22,1%	8,2%	39,4%

Мітка		ГДж
Одиниця енергії		
Еталонна одиниця		м³

Рисунок 3 – Резюме енергетичного дослідження

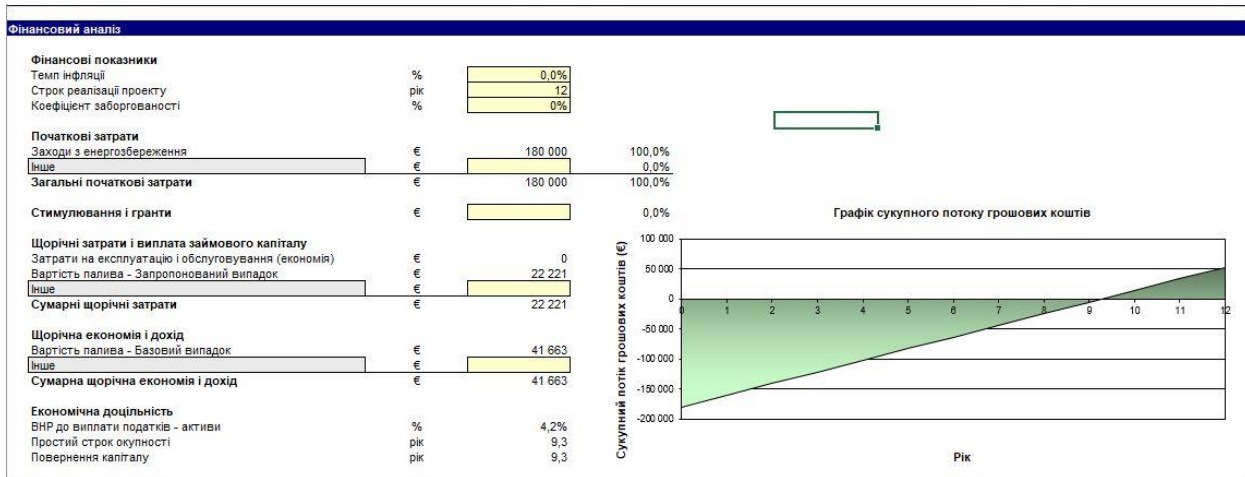


Рисунок 4 – Фінансовий аналіз проекту

Були запропоновані такі ЗЕЗ, як: заміна вікон, утеплення зовнішніх стін, теплоізоляція трубопроводів системи опалення та заміна електричного обладнання на більш нове та енергоефективне. Загальний термін окупності запропонованих ЗЕЗ становить приблизно 9,3 років (не враховуючи ставку інфляції), що є привабливим для інвесторів. Економія при сплаті за спожиті енергетичні ресурси становитиме близько 42 тис. євро.

DesignBuilder дозволяє швидко порівнювати функції та продуктивність будівельних конструкцій і отримувати результати в термін і в рамках конкретного бюджету[6, 8]. У програмному середовищі DesignBuilder було створено фактичну (actual), базову (baseline) та запроповану (proposed) модель конфігурацію системи ОВК (Рис. 5 – 7) з реальними характеристиками її інженерних систем, огорожувальних конструкцій та умов експлуатації (недотримання нормативних температур, відсутня механічна вентиляція)

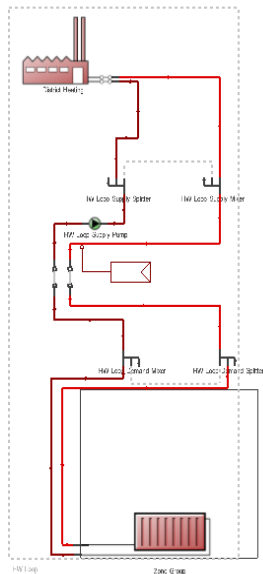


Рисунок 5 – Система опалення фактичної моделі

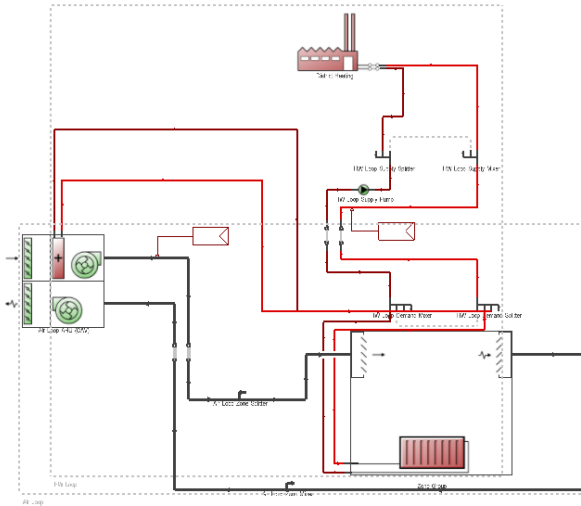


Рисунок 6 – Система опалення базової (baseline) моделі

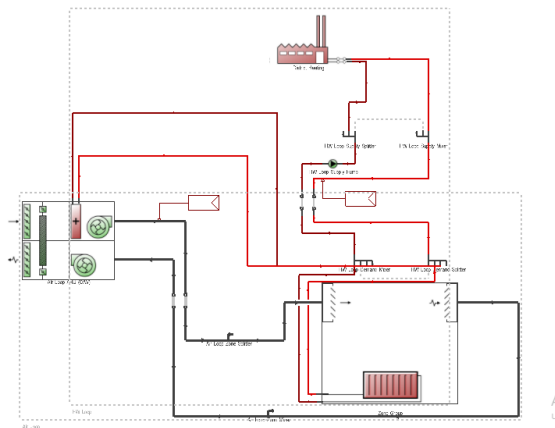


Рисунок 7 – Система опалення запропонованої (proposed) моделі

З аналізу отриманих результатів, загальне споживання енергії запропованою моделлю житлової будівлі значно знизилось у порівнянні з базовою. При енергетичному моделюванні запропонованої будівлі було отримано значне зменшення споживання енергоресурсів, що свідчить про зниження викидів парникових газів у навколишнє середовище та зменшення грошових видатків на оплату послуг з енергопостачання, а отже запропоновані заходи є доцільними до впровадження.

Як варіант покращення енергетичної ситуації будинку запропоновано встановити на даху житлового будинку фотоелектричну систему, яка задовольнятиме частину енергопотреби будівлі та буде підключена до загальної електромережі для продажу електроенергії при її надлишку, а саме розмістити колектори виробництва компанії Viessmann моделі Vitosol 100 - F, під'єднаних до баку-акумулятору, який, у свою чергу, контактує з мережею централізованого водопостачання (Рис. 7). Колектори розташовані на південній половині скатного даху під кутом 35° до горизонту та запропоновано встановити різну кількість колекторів, на прикладі трьох випадків: low, middle та high [9, 10].

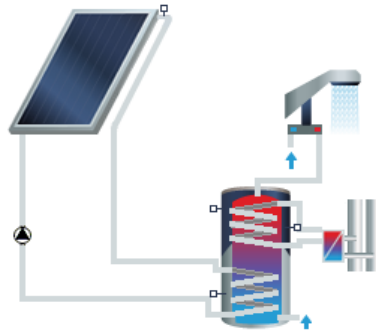


Рисунок 7 – Схема функціонування системи сонячних колекторів

Результати розрахунків динаміки споживання теплоти від сонячних колекторів для всіх трьох випадків наведені на Рис. 8 – 10.

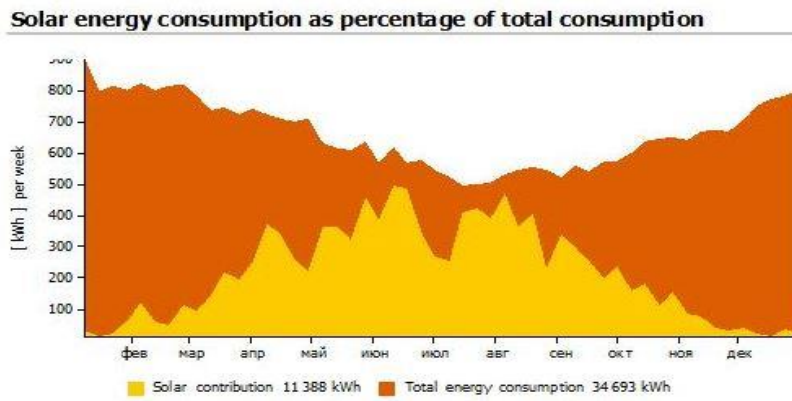


Рисунок 8 – Динаміка споживання теплоти від СК при low

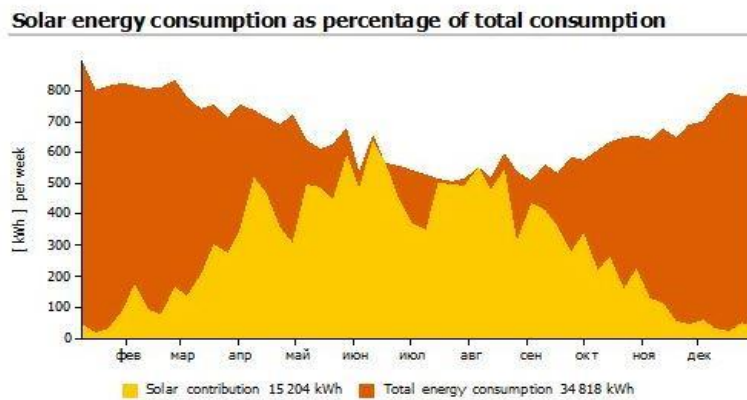


Рисунок 9 – Динаміка споживання теплоти від СК при middle

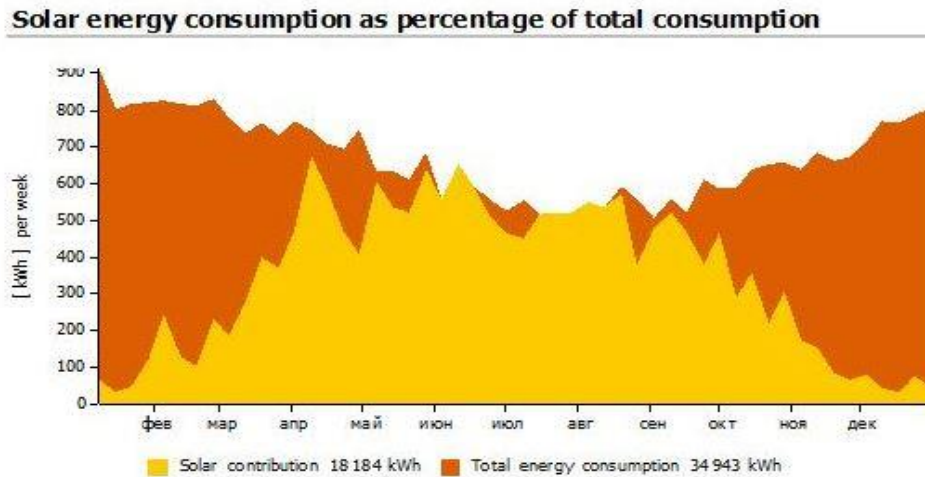


Рисунок 10 – Динаміка споживання теплоти від СК при high

З точки зору рентабельності найбільш доречним є – варіант middle зі встановленням 15 колекторів і графіком задоволення потреб в гвп. В третьому випадку high система має надлишок теплової енергії в літні місяці (на що вказує графік), але вона є недоцільною в використанні із-за великих капіталовкладень.

Висновки

При виконанні моделювання було досліджено та проаналізовано всі енергетичні системи: теплопостачання, електропостачання та постачання холодної води. Глибоко проаналізовані всі відповідні параметри та показники.

При моделюванні були запропоновані заходи з енергозбереження, такі як встановлення системи сонячних колекторів та фотоелектричної системи.

Для доведення доцільності впровадження запропонованих заходів окрім технічних показників були розглянуті ще й економічні.

Перелік використаних джерел

1. ДСТУ EN 15603:2013 ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬ. Загальне енергоспоживання та проведення енергетичної оцінки (EN 15603:2008, IDT). [Чиний від 01.01.2014].
2. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 33, ст.359.
3. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua>.
4. ДСТУ-Н Б А.2.2-13:2015. Енергетична ефективність будівель. [Чиний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2015. 25 с.
5. Енергетичні системи та комплекси. Системи виробництва та розподілу енергії: Визначення теплового навантаження будівель та вибір системи теплопостачання: навчальний посібник для студентів напрямів підготовки 6.050701 "Електротехніка та електротехнології", 6.050601 "Теплоенергетика" / В.В.Дубровська, В.І Шкляр. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 112 с.
6. DesignBuilder Simulation + CFD Training Guide [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.designbuilder.co.uk/training/online-learning/tutorials> - Назва з екрану.

7. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010. – [Чинні від 2011-11-01] // Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с. – (Національний стандарт України).

8. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6–31:2016. – [Чинні від 2016–10–08, на заміну ДБН В.2.6–31:2006.] // Мінбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2016. –33 с. – (Державні будівельні норми України)

9. Опалення, вентиляція та кондиціонування: ДБН В.2.5-67:2013. – [Чинні від 2014–01–01] // Мінбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2013. – 149 с. – (Державні будівельні норми України).

10. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні: ДСТУ- Б А.2.2-12:2015. – [Чинні від 2016-01-01] // Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2015. – 145 с. – (Національний стандарт України).

Науковий керівник: к.т.н., ст.викл Буяк Н.А.

УДК 621.311

Лукашенко Є.О.
кафедра теплотехніки та енергозбереження**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ «ДЖЕРЕЛО ТЕПЛОТИ – ЛЮДИНА – ОГОРОДЖУВАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ» НА ПРИКЛАДІ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ**

Анотація. Метою статті є енергоефективність системи «Джерело теплоти – людина – огороджувальні конструкції» на прикладі житлової будівлі для визначення існуючих, сучасних підходів для визначення ефективності використання електричної та теплової енергії, застосування цих методик дозволить мінімізувати втрати енергії та зекономити кошти. В статті розглянуто загальну класифікацію моделей та методів прогнозування ціни на електричну енергію та проведено їх порівняльний аналіз за змістом та сферою практичної реалізації для визначення переваг та недоліків. На підставі проведеного порівняльного аналізу визначено найдоцільніші моделі та методи для короткострокового прогнозування ціни на оптовому ринку електричної енергії.

Ключові слова: енергоефективність системи, ексергетичний аналіз, житлова будівля, підвищення енергоефективності, енергозбереження.

Abstract. The goal of the article is the energy efficiency of the system "Heat source - man - enclosing structures" on the example of a residential building to determine existing, modern approaches to determine the efficiency of electricity and heat, the use of these techniques will minimize energy loss and save money. The article considers the general classification of models and methods of forecasting the price of electricity and comparative analysis of their content and scope of practical implementation to determine the advantages and disadvantages. Based on the comparative analysis, the most appropriate models and methods for short-term price forecasting in the wholesale electricity market are identified.

Key words: system energy efficiency, exergy analysis, residential building, energy efficiency improvement, energy saving.

Вступ

Сучасні норми та закони зобов'язують враховувати параметри енергоефективності при проектуванні нових або ремонті старих будівель.

Близько 40 % світового енергоспоживання та 1/3 викидів парникових газів припадає на будівлі [1]. Відповідно до цього адаптують українські стандартів до міжнародних і відповідно зростають вимоги щодо ефективного використання енергії будівлями [2–4]. Підвищення енергетичної ефективності будівель можливе за рахунок сукупності заходів, спрямованих на теплозахисну оболонку будівлі, систему опалення та джерело теплоти. Тому це питання вимагає загального комплексного підходу вирішення, враховуючи різні обмеження, спричинені вимогами до належної якості мікроклімату у приміщенні. Висока якість мікроклімату у приміщеннях представлена сучасними стандартами та показниками [5–8].

Мета та завдання

Метою статті є енергоефективність системи «Джерело теплоти – людина – огороджувальні конструкції» на прикладі житлової будівлі для визначення існуючих,

сучасних підходів для визначення ефективності використання електричної та теплової енергій, застосування цих методик дозволить мінімізувати втрати енергії та зекономити кошти.

Мета дослідження – визначення показників енергоефективності та рівня теплового комфорту житлової будівлі.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розвитку методичних аспектів та методів аналізу, оцінювання і моніторингу показників ефективності енерговитрат житлових будівель.

Матеріал та результати досліджень

Енергозбереження починається з чіткого розуміння необхідності покращення економічних показників за рахунок меншого споживання енергоресурсів. Для того щоб забезпечити раціональне використання енергетичних ресурсів необхідний ефективний підхід до аналізу систем споживання енергії. Скорочення витрат на паливно-енергетичні ресурси досягається шляхом доведення споживання енергетичних ресурсів до кращих світових показників за рахунок проведення організаційних і технічних заходів з енергозбереження.

На даний момент існує багато програмних розробок для швидкого і зручного розрахунку систем з використанням альтернативних та нетрадиційних джерел енергії.

В даному розділі розглянуто і проведено опис програмних продуктів, які використовуються саме для таких розрахунків:

- *використання систем автоматизованого обліку, моніторингу та аналізу;*
- *аналіз комбінованої роботи автономної системи генерації та централізованого енергозабезпечення.*

Однією з програм була саме PV*SOL premium – це програма динамічного моделювання з 3D-візуалізацією та детальним аналізом затінення для розрахунку фотоелектричних систем у поєднанні з електроприладами, акумуляторними системами та електромобілями[9].

Проектувати системи альтернативних джерел енергії зручно в програмному середовищі PVSol Premium (ФЕП) та TSol (сонячні колектори). Візуалізація в 3D-режимі надає детальну інформацію про тіні, подані в різні часи дня і року, і, отже, про можливі скорочення надходжень сонячної радіації. Завдяки детальному аналізу затінення окремих модулів ефект оптимізації потужності на виході системи також можна точно розрахувати у вищезазначених програмах.

Пропонується на даху чотириповерхової секції освітнього закладу, будівельні характеристики якого наведені в розділі 1, встановити фотоелектричну систему, яка задовольнятиме частину енергопотреб школи та буде підключена до загальної електромережі для продажу електроенергії при її надлишку.

Пропонується розмістити 596 модулів виробництва компанії LG моделі LG315NIK-A5, під'єднаних до шести інверторів Huawei SUN-2000-20KTL-M2 (по 3 MPP-трекера на кожний). Панелі розташовані на південній половині скатного даху у три ряди під кутом 30° до горизонту (рис.1-2).



Рисунок 1 – Схема розташування сонячних панелей

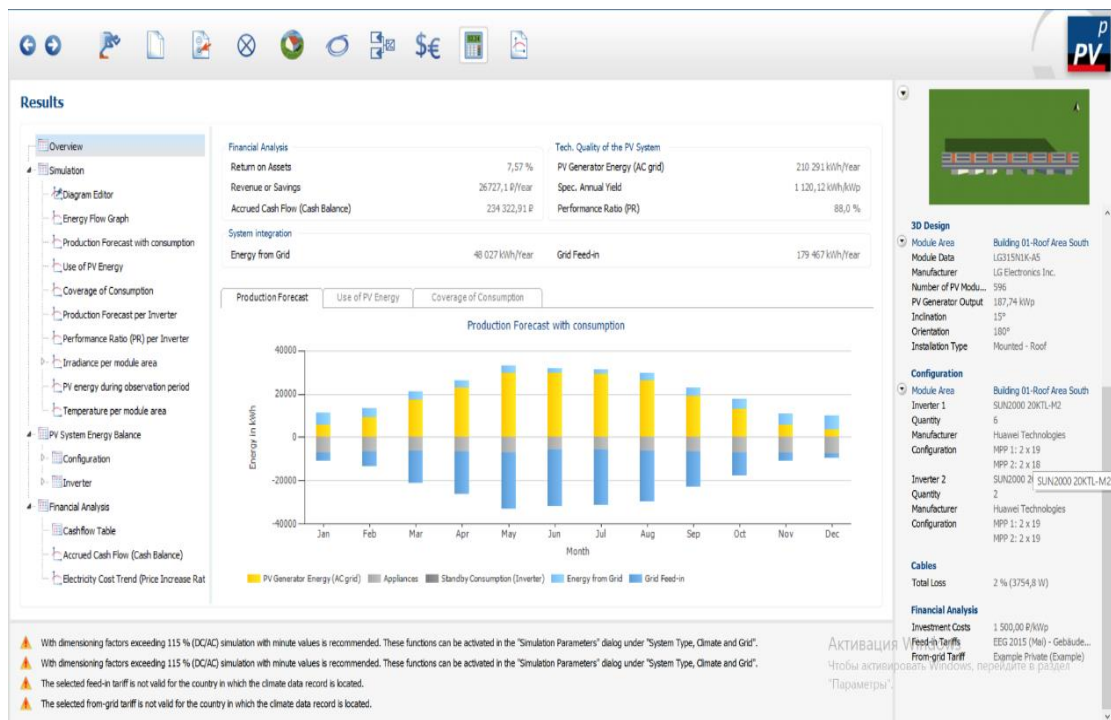


Рисунок 2 – Характеристики сонячних панелей

Програмне забезпечення «PV*SOL premium» також розраховує величину капіталовкладень та термін їх окупності. Загальна величина капіталовкладень $K = 115000\$,$ а загальна величина економії грошей складає $\Delta E = 7250 \$/\text{рік}.$ Офіційний курс гривні до іноземних валют Національного банку України від 20.11.2021: $1 \$ = 27,9 \text{ грн}.$

Простий термін окупності знайдемо за формулою:

$$T=115000/7250=15,8 \text{ року.}$$

Пропонується розмістити 154 колекторів виробництва компанії Viessmann моделі VITOSOL 050 , під'єднаних до баку-акумулятору, який, у свою чергу, контактує з мережею централізованого водопостачання (рис. 3). Колектори розташовані на південній половині скатного даху під кутом 30° до горизонту.



Рисунок 3– Схема функціонування системи сонячних колекторів

Таблиця 1 – Характеристики встановленої системи СК

Параметр системи СК	Характеристика
Теплова потужність системи, кВт	181,19
Загальна площа поверхні колекторів, м ²	258,84
Частка заміщення централізованого ГВП, %/рік	39,8
Річна генерація теплоти, (кВт·год)/рік	4097
Ефективність роботи системи, %	32,6
Зниження викидів CO ₂ , кг/рік	19333,34

Програмне забезпечення «Т*SOL 2020 R1» також розраховує величину капіталовкладень та термін їх окупності. Загальна величина капіталовкладень $K = 11565\$$, а загальна величина економії грошей складає $\Delta E = 387 \$/рік$. Офіційний курс гривні до іноземних валют Національного банку України від 20.11.2021: 1 \$ = 27,9грн.

Простий термін окупності знайдемо за формулою:

$$T_{ок.} = \frac{11565}{387} = 29,8 \text{ року}$$

Було проведено ексергетичний аналіз для багатоквартирного житлового будинку.

Ексергетичний аналіз дозволяє знаходити шляхи підвищення ефективності роботи теплосилової установки, аналізуючи причини втрати ексергії у вузлах і обґрунтовуючи рекомендації по вдосконаленню циклів теплоенергетичних установок (рис. 4-5).

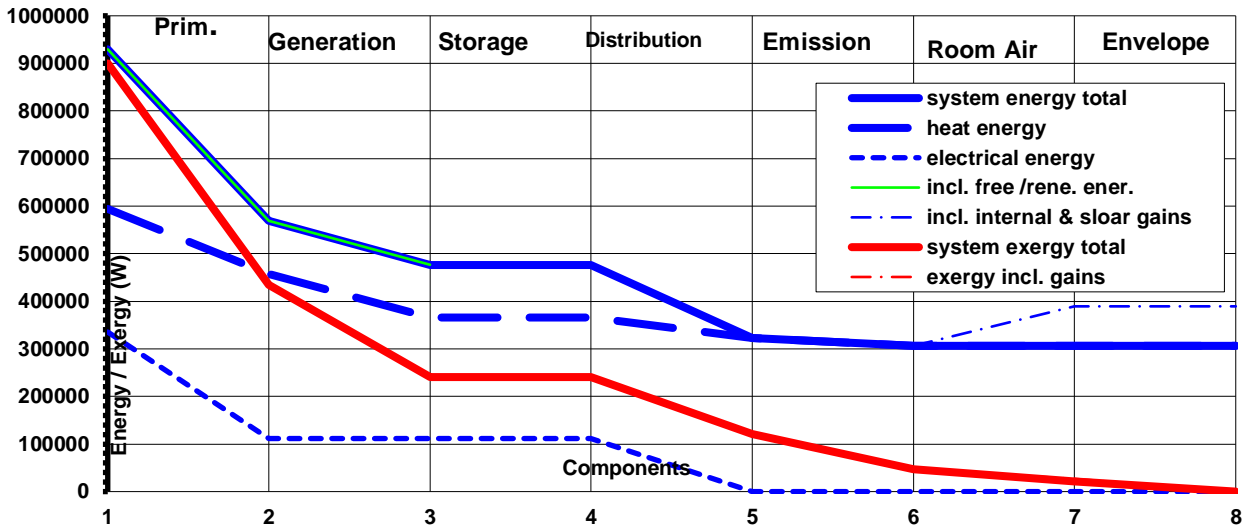


Рисунок 4– Ексергія та потоки енергії через компоненти

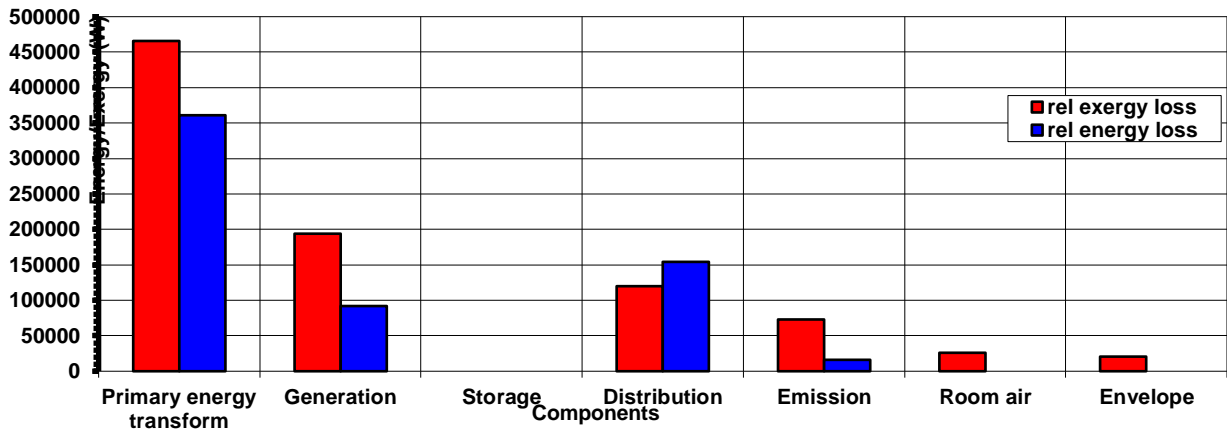


Рисунок 5– Втрати ексергії / споживання компонентами

Графіки представлені нижче на рисунках для норм Швеції. Завершальна робота полягає в оцінці теплового комфорту. При суттєвій зміні термічного опору, комфорт мешканців будівлі стане кращим (рис. 6-7).

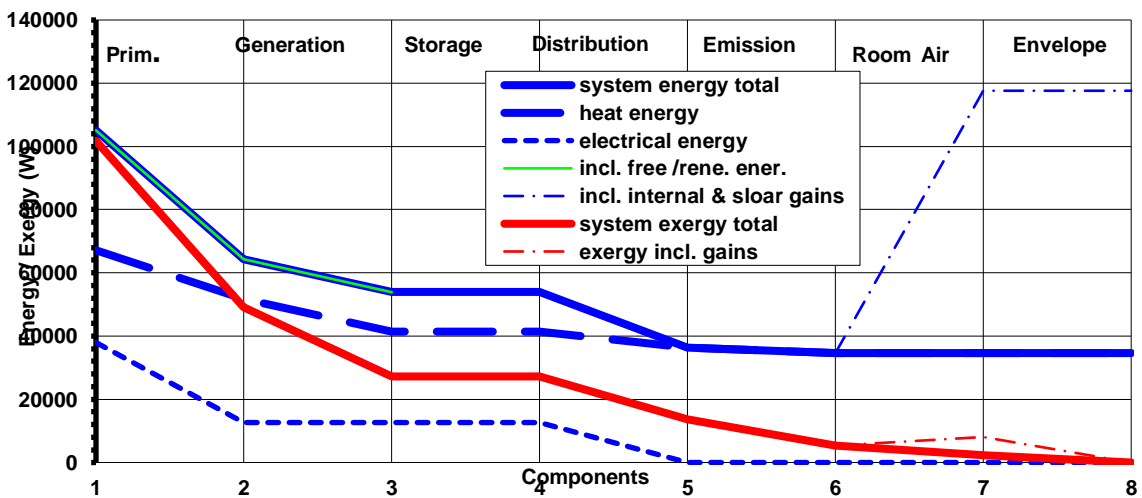


Рисунок 6– Ексергія та потоки енергії через компоненти (норми Швеції)

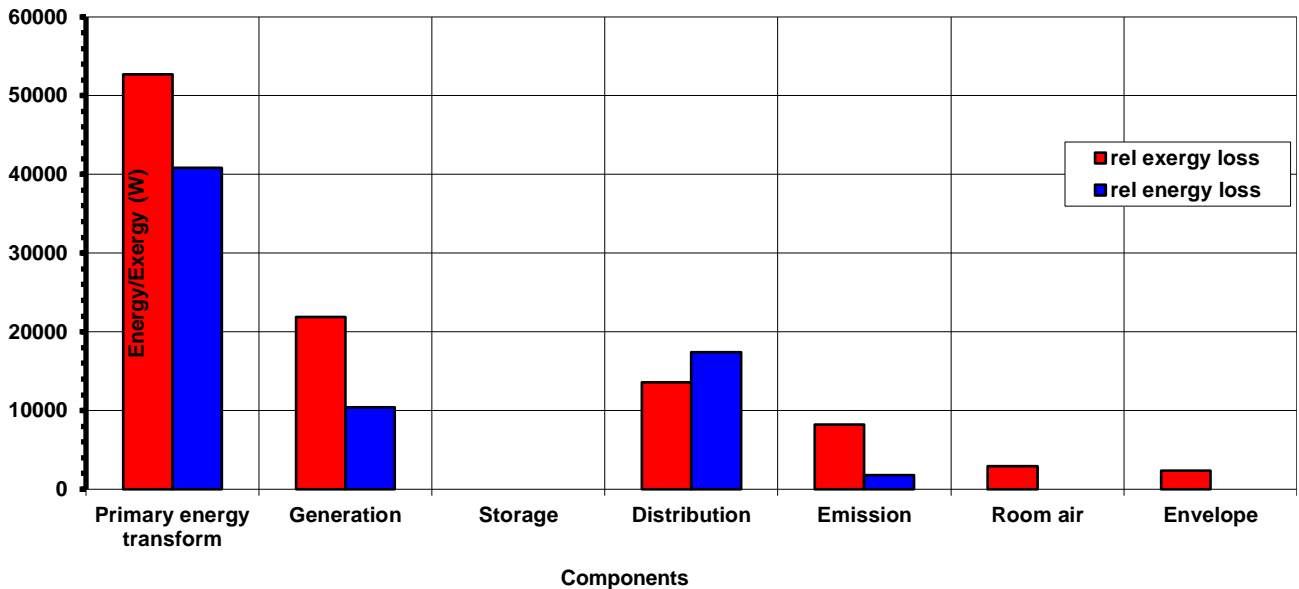


Рисунок 7– Втрати ексергії / споживання компонентами (норми Швеції)

Висновки

При виконанні моделювання було досліджено та проаналізовано всі енергетичні системи: теплопостачання, електропостачання та постачання холодної води. Глибоко проаналізовані всі відповідні параметри та показники.

При моделюванні були запропоновані заходи з енергозбереження, такі як:

- заміна старих дерев'яних вікон на енергоефективні металопластикові склопакети;
- утеплення зовнішніх стін;
- утеплення даху;
- встановлення системи СК.
- заміна електрообладнання (підвищення класу енергоефективності);
- встановлення фотоелектричної системи.
- Встановлення колекторів

Для доведення доцільності впровадження запропонованих заходів окрім технічних показників були розглянуті ще й економічні та проведено ексергетичний аналіз.

Перелік використаних джерел

1. АН "Планета Оболонь". Класифікація багатоквартирних житлових будівель міста Києва [Електронний ресурс] / АН "Планета Оболонь". – 2004. – Режим доступу до ресурсу: <http://domik.ua/poleznoe/classification.html>.
2. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6–31:2016 (на заміну ДБН В.2.6-31:2006 (зі змінами від 1 липня 2013 р.)). – [Чинні від 2017–05–01] // Мінрегіон України. – К.: Укрархбудінформ, 2017. – 65 с. – (Державні будівельні норми України).
3. Енергетичні системи та комплекси. Системи виробництва та розподілу енергії: Визначення теплового навантаження будівель та вибір системи теплопостачання: навчальний посібник / В.В.Дубровська, В.І Шкляр. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 112 с.
4. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010. – [Чинні від 2011-11-01] //

Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с. – (Національний стандарт України).

5. Теплові мережі. Навчальний посібник / Н. Д. Степанова, Д. В. Степанов. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 135 с.

6. Назаренко А. О. Система керування теплоспоживанням будівель з комбінованим теплопостачанням і використанням сонячної енергії : дис. канд. техн. наук : 05.14.01 / Назаренко Андрій Олегович – Київ, 2016. – 181 с.

7. Опалення і вентиляція. Підручник для вузів / П. М. Каменєв, О. М. Сканаві., 1975. – 483 с.

8. Теплові мережі: ДБН В.2.5-39:2008 – [Чинні від 2008–12–09] // Мінрегіонбуд України. – К., 2009. – 56 с. – (Державні будівельні норми України).

9. <https://setech.in.ua/ru/programmnoe-obespetchenie-pv-sol/>

Науковий керівник: к.т.н., ст.викл Буяк Н.А.

**СЕКЦІЯ 3.
ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ**

Кафедра автоматизації електротехнічних і мехатронних комплексів

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ ПОТОКОЗЧЕПЛЕННЯМ РОТОРА У ВЕКТОРНО-КЕРОВАНИХ ПРИВОДАХ З АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ

Анотація. Асинхронний двигун широко використовується в наш час. Причому значна частина з цих двигунів функціонує в повторно-короткочасних режимах з частими пусками і гальмуваннями (наприклад, на ліфтах і кранових механізмах, в тягових приводах міського електротранспорту та ін.) У зв'язку з тим, що спостерігається подорожчання електричної енергії видається актуальною задача зниження втрат електроенергії для вищезазначених АД в режимі їх намагнічування (який призначений для створення необхідного значення робочого магнітного потоку в двигуні перед початком його розгону) і режимі розмагнічування (який слугує для зменшення до нуля магнітного потоку двигуна після зниження його швидкості до нуля при тривалій зупинці). За рахунок керування можна не тільки вирішити існуючі проблеми енергозбереження, але і збільшити термін служби електродвигуна.

Ключові слова: електропривод, потокозчеплення, векторне керування, математична модел, втрати.

Abstract. The induction motor is widely used nowadays. And a significant part of these engines operates in repeated short-term modes with frequent starts and braking (for example, on elevators and crane mechanisms, in traction drives of city electric transport, etc.) Due to the fact that the observed rise in price of electricity seems an urgent task reduction of power losses for the above BP in the mode of their magnetization (which is designed to create the required value of the working magnetic flux in the engine before overlocking) and demagnetization mode (which serves to reduce to zero the magnetic flux of the engine after reducing its speed to zero with a long stop) . At the expense of management it is possible not only to solve existing problems of energy saving, but also to increase service life of the electric motor.

Вступ. На сьогоднішній день широкого використання набули асинхронні електродвигуни (АД) з короткозамкненим ротором. Їх широке застосування обумовлюється низькою вартістю, простотою в обслуговуванні, експлуатації, конструкції і високою надійністю. Дані АД випускаються на широкий спектр потужностей. В даний час близько половини вироблюваної у світі електроенергії, у тому числі й в Україні, споживається асинхронними двигунами (АД). Приблизно 70% працюючих АД є нерегульованими. У той же час більшість технологічних процесів вимагають регулювання швидкості або інших координат (моменту, положення, натягу, тиску тощо). Регулювання швидкості АД можна забезпечити за рахунок застосування сучасних методів керування, зокрема, векторного керування (ВК). Зараз електроприводи із ВК розроблені і продаються багатьма фірмами дальнього зарубіжжя. В Україні такі електроприводи не виробляються. Вартість і ремонт електроприводів, що постачаються, дуже високі.

Мета та завдання. Необхідно дослідити процеси регулювання потокозчеплення

ротора у векторно-керованих приводах з асинхронним двигуном.

Матеріал і результати досліджень.

Питанню синтезу законів керування процесами намагнічування та розмагнічування АД присвячені роботи [1, 2, 3], але у цих роботах намагаються насамперед форсувати процес намагнічування з метою зменшення часу пуску двигуна. В [1] збільшують рівень обмеження регулятора струму намагнічування, який виробляє завдання на складову струму статора – d , під час пуску двигуна до рівня максимально-припустимого значення повного струму статора, а після досягнення струмом (i_d) номінального значення, знижувати його. В роботі [2] розглядається питання синтезу керування процесом попереднього намагнічування АД зі скалярним керуванням, а в роботі [3] – процесом намагнічування АД у складі системи ДТС.

Спрощена структурна схема системи векторного керування АД при нерухомому двигуні в обертовій ортогональній системі координат d - q , орієнтованій за вектором потокозчеплення ротора, зображена на рис. 1.

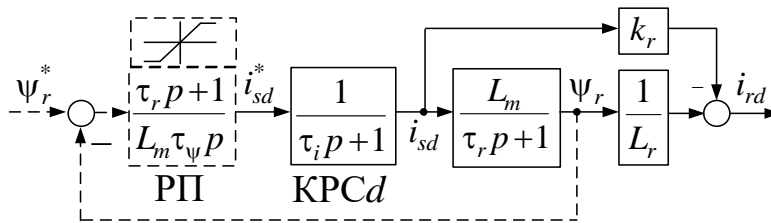


Рисунок 1 – Структурна схема системи векторного керування АД при нерухомому двигуні

Позначення, які використані: РП – регулятор потокозчеплення; КРСd – замкнений контур регулювання d – складової струму статора; ψ_r, i_{sd} – сигнали завдання на потокозчеплення ротора та потокоутворюючу складову струму статора; $\tau_i = L_r/R_r$ – стала часу ротора; L_r, R_r – індуктивність та активний опір ротора; $k_r = L_m/L_r$ – коефіцієнт магнітного зв’язку ротора; τ_i, τ_ψ – сталі часу інтегрування розімкнених контурів струму та потокозчеплення відповідно.

При прямому керуванні (DFOC) система складається з контуру потокозчеплення і підпорядкованого йому контуру струму, а при непрямому керуванні (IFOC) регулятор потокозчеплення відсутній.

Сумарні теплові втрати в міді, зумовлені потокоутворюючими складовими струмів статора та ротора, що підлягають мінімізації, обчислюються за формулою:

$$\Delta W = \int_0^{t_f} \Delta P(t) dt = 3 \int_0^{t_f} [R_s I_s^2(t) + R_r I_r^2(t)] dt = \frac{3}{2} \int_0^{t_f} [R_s i_{sd}^2(t) + R_r i_{rd}^2(t)] dt,$$

де $\Delta P, \Delta W$ – потужність та енергія втрат відповідно; I_s, I_r – ефективні значення фазних струмів статора і ротора; i_{sd}, i_{rd} – потокоутворюючі складові струмів статора і ротора, які при нерухомому двигуні (за умов $i_{sq}=0, i_{rq}=0$) дорівнюють амплітудним значенням цих струмів, внаслідок чого $i_{sd} = \sqrt{2} I_s$.

З точки зору теорії оптимального керування енергія втрат являє собою мінімізований функціонал, а потужність втрат – підінтегральну функцію цього функціоналу.

Графіки залежності втрат при намагнічуванні та розмагнічуванні від часу перехідного

процесу, що забезпечують їх мінімізацію, зображені на рис.1.2, 1.3 суцільними лініями. Кружечками на рисунках помічені екстремальні точки графіків.

Втрати при оптимальному керуванні поточозчепленням прагнуть до мінімуму при $t_f \rightarrow \infty$:

$$\Delta W_{sh\ min}^{dem} = \Delta W_c (\lambda - 1), \quad \Delta W_{sh\ min}^{mag} = \Delta W_c (\lambda + 1).$$

Але практично втрати майже не змінюються при $t_f \geq 3\tau$.

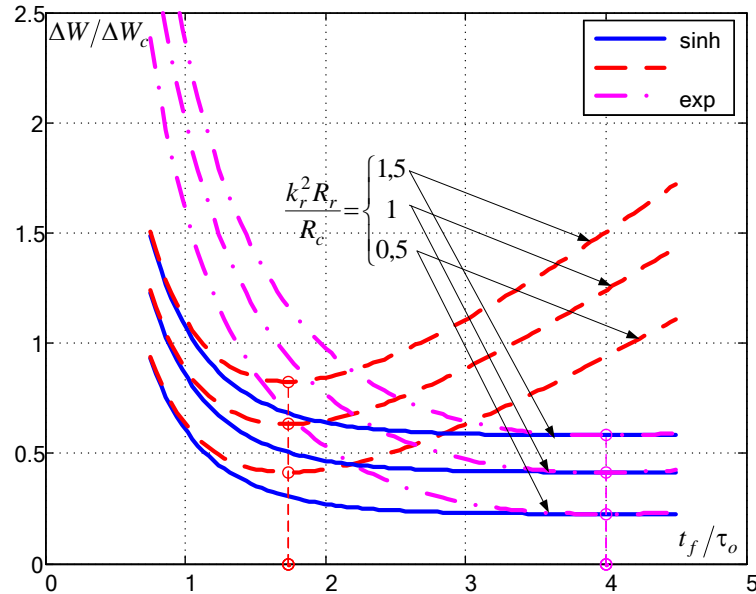


Рисунок 2 – Діаграма теплових втрат в обмотках статора і ротора нерухомого асинхронного двигуна при його розмагнічуванні

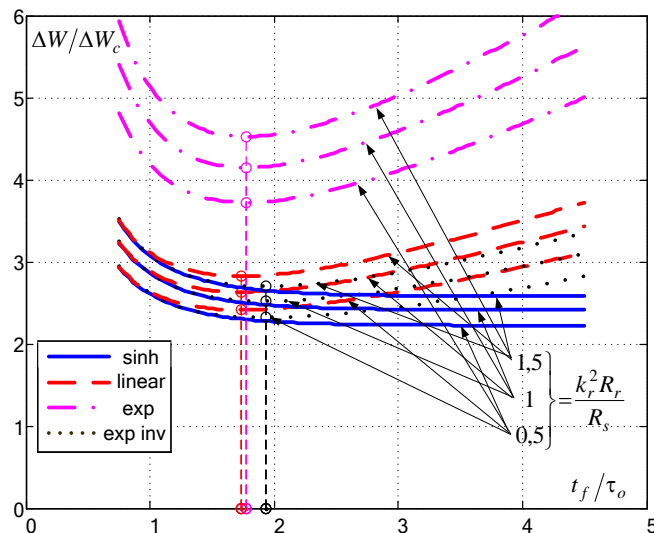


Рисунок 3 – Діаграма теплових втрат в обмотках статора і ротора нерухомого асинхронного двигуна при його намагнічуванні

З рис. 2-3 видно, що намагнічування за експоненціальним законом супроводжується максимальними втратами. Для швидкого намагнічуванні краще за все застосовувати лінійний закон, тому що при малих t_f втрати при синус гіперболічному та лінійному законах майже однакові, проте лінійний простіше сформувати.

Висновок: Намагнічування та розмагнічування при малих t_f , краще за все виконувати за лінійним законом. Проте із точки зору енергоефективності, найбільш оптимальним методом керування потокозчепленням асинхронного двигуна є синус-гіперболічний закон. Час при цьому вимагається найбільший серед усіх законів, але витрати отримуються найменші. Із всіх вище проаналізованих методів керування потокозчепленням, найбільші втрати при розмагнічуванні та намагнічуванні за експоненціальним законом.

Перелік посилань:

1. Borisevich A. Numerical method for power losses minimization of vector-controlled induction motor // *International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS)*. – Vol. 6, No. 3, September 2015, pp. 486~497.

2. Blanuša B.D., Dokic B.L., Vukosavic S.N. Efficiency optimized control of high performance induction motor drive // *Electronics*. – 2009. – Vol. 13, No. 2. – P. 8-13.

3. Volkov V.A. Optimization of magnetization and demagnetization modes in frequency-controlled induction motor // *Electrotechinc and energetic. Scientific proceedings of DonNTU*. – 2013. – Vol.2 – P. 59-66 (Rus).

4. Seena T., Rinu A.K. Efficiency optimization with improved transient performance of indirect vector controlled induction motor drive // *International Journal of advanced research in electrical, electronics and instrumentation engineering* – Vol. 2, Special Issue 1, 2013. pp. 374-385.

5. Volkov V. A. Optimization of magnetization and demagnetization times of a stopped frequency-controlled induction motor. *Electrotechnics and electricity*. – 2018. – № 4. – С. 17-29 (Rus). DOI: 10.15588/1607-6761-2018-4-2.

УДК62-505

Караульний К.Т.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ЛІФТОВОЇ ПІДЙОМНОЇ УСТАНОВКИ АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ

У статті приведено розрахунки для пасажирської ліфтової установки у адміністративній будівлі. Розрахунки дозволяють більш точно оцінити параметри ліфтової установки.

Ключові слова: підйомні ліфтові установки, електропривод.

FEATURES OF CALCULATION ELEVATOR LIFTING INSTALLATION OF ADMINISTRATIVE BUILDING

The article presents calculations for a passenger elevator installation in an administrative building. Calculations allow you to more accurately assess the parameters of the elevator installation.

Key words: lifting elevators, electric drive.

В сучасних умовах розвитку технологій та повсюдного покращення умов життя, ліфтові установки не залишились у стороні. На світовому ринку вже конкурують такі гіганти як Schindler, Otis, KONE, тому пошук нових, ефективних технічних рішень є ключовим елементом набуття конкурентноспроможності в даній області.

Мета роботи. Спроекувати ліфтову підйомну установку вантажопідйомністю 300 кг для п'ятиповерхової адміністративної будівлі.

Матеріал та результат досліджень.

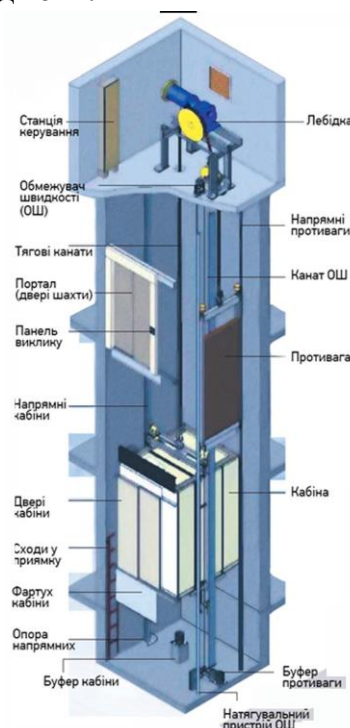


Рисунок 1 – Загальна будова ліфтової підйомної установки

Робота ліфтової установки

Основним вузлом керування є станція керування ліфтом, яка управляє механізмами і контролює роботу ліфта, також забезпечує безпеку для користування.

У будинках адміністративного призначення та навчальних закладах графік роботи та розклад навчальних занять визначає характерні сплески інтенсивності пасажиропотоків на початку та наприкінці робочого дня, рис. 2.

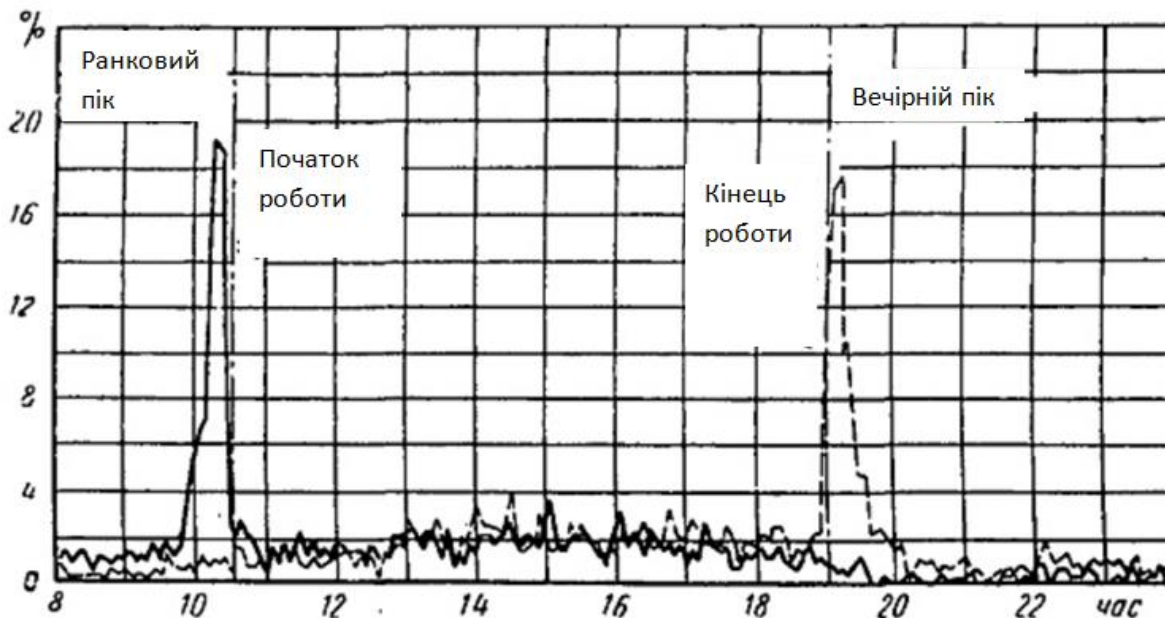


Рисунок 2 - Графіки зміни пасажиропотоків в адміністративній будівлі

У житлових будинках масової забудови ранкові та вечірні сплески інтенсивності пасажиропотоків менш чітко виражені, рис. 2. Значення пасажиропотоку прийнято визначати кількістю пасажирів, що прямують в одному напрямку в одиницю часу.

Для порівняння інтенсивності пасажиропотоків у будинках різного призначення служить показник інтенсивності п'ятихвилинного потоку, виражений у % від загальної кількості людей, що користується ліфтом.

Приймаються такі показники інтенсивності п'ятихвилинного пасажиропотоку: житлові будинки масової забудови – $3 \div 6\%$; готелі – $7 \div 15\%$; адміністративні будівлі – $14 \div 20\%$; будівлі та споруди громадського призначення – $15 \div 20\%$; навчальні заклади – $20 \div 35\%$.

Розрахунок вертикального транспорту в житлових, адміністративних будинках та готелях виробляються для умови двостороннього пасажиропотоку з урахуванням характеру розміщення ліфтового обладнання та наявності експресних зон (частина висоти будівлі, де кабіна рухається без зупинок) ліфтового обладнання.

1) Виконаємо розрахунок ліфтових витягів на прикладі житлової будівлі середньої поверховості при двосторонньому пасажиропотоку.

$$A_5 = \sum_2^n a_i \cdot \frac{I}{100} \text{ чол/год}$$

де a_i , - Заселеність i -ого поверху будівлі; I - Розрахункова інтенсивність п'ятихвилинного пасажиропотоку, %; n — кількість поверхів, що обслуговуються ліфтом.

Заселеність першого поверху до уваги не береться.

2) Розрахунковий годинний пасажиропотік

$$A_p = 12 \cdot K \cdot A_5 \text{ чол/год}$$

де K - коефіцієнт, що враховує нерегулярність пасажиропотоку, пов'язану із захворюванням людей та відпустками ($K = 0,8 \div 0,9$).

3) Розрахунковий наведений годинний пасажиропотік при русі кабіни:

на підйом $A_{\text{п}} = 0,66 \cdot A_p$ чол/год; на спуск $A_{\text{с}} = 0,34 \cdot A_p$ чол/год

4) За вихідними даними визначаємо категорію якості ліфтового обслуговування (п'ятибальна система оцінки) та відповідне їй значення величини інтервалу. Воно приймається в діапазоні від 25 с до 90 с залежно від ступеня престижності будівлі та оцінки якості ліфтового обслуговування.

5) Визначаємо розрахункову швидкість кабіни ліфта залежно від висоти підйому проектування по виразу

$$V = \frac{H}{20 \dots 30} \text{ м/с}$$

Отримане значення швидкості округлити до найближчого рекомендованого ДСТУ для відповідного типу ліфта.

6) Розрахункова місткість кабіни визначається залежно від прийнятого інтервалу з урахуванням інтенсивності наведеного потоку на підйом та спуск

$$\text{на підйом } E_{\text{п}} = \frac{A_{\text{п}} \cdot t_{\text{н}}}{3600} \text{ чол.}; \quad \text{на спуск } E_{\text{с}} = \frac{A_{\text{с}} \cdot t_{\text{н}}}{3600} \text{ чол.}$$

За каталогом виробника ліфтів та більшою величиною розрахункової місткості вибирається фактичне значення місткості кабіни E .

7) Час кругового рейсу кабіни

$$T = \frac{2 \cdot H_{\text{в}} + h \cdot (N_{\text{п}} + N_{\text{с}} + 1)}{V} + K_t \cdot (t_0 \cdot (N_{\text{п}} + N_{\text{с}} + 1) + t_{\text{п}}) \text{ с}$$

де $H_{\text{в}}$, - можлива висота підйому кабіни ліфта, м; h м — шлях руху кабіни з швидкістю, що не встановилася, при розгоні і уповільненні, м; $N_{\text{п}}$, $N_{\text{с}}$ - число можливих зупинок кабіни при підйомі та спуску; V - розрахункова швидкість руху кабіни, що встановилася, м/с; K_t - коефіцієнт, що враховує додаткові витрати часу; t_0 - витрати часу на прискорення, уповільнення та пуск ліфта, на відкриття та закривання дверей кабіни, сек; $t_{\text{п}}$ - витрати часу на вхід та вихід пасажирів, сек.

Величина ймовірної висоти підйому $H_{\text{в}} = (0,7 \dots 0,9) \cdot H$, м. Більше значення відповідає для випадку проектуванню з рівномірного заселення поверхів.

Величина шляху розгону, уповільнення кабіни та технічних витрат часу залежить від вантажопідйомності та швидкості руху кабіни: для пасажирського ліфта вантажопідйомністю 320÷1000 кг при швидкості від 0,71 до 1 м/с $h = 1,5 \div 2,0$ м; $t_0 = 10 \div 12$ с; для пасажирських ліфтів зі швидкістю 1,4 м/с та 2 м/с $h = 3 \div 3,5$ м; $t_0 = 12 \div 14$ сек; за швидкості 4 м/с $h = 9 \div 10$ м; $t_0 = 14 \div 16$ с.

Час входу та виходу пасажирів під час руху вгору та вниз:

$$t_{\text{п}} = 2 \cdot E \cdot t_1 \cdot (y_{\text{п}} + y_{\text{с}}), \text{ с}$$

де $y_{\text{п}} = 0,66 - 0,8$ коефіцієнт заповнення кабіни під час руху на підйом; $y_{\text{с}} = 0,34 - 0,5$ коефіцієнт заповнення при спуску кабіни; $t_1 = 0,8 + 2$ з час входу та виходу одного пасажирів,

що залежить від ширини дверного отвору (менші значення відповідають ширині отвору 1000 і більше мм, а більші - відповідають ширині дверного отвору менше 1000 мм).

Коефіцієнт, що враховує додаткові витрати часу під час роботи ліфта визначається залежно від призначення будівлі: $K_t = 1,05-1,10$ для житлових будинків; $K_t = 1,10-1,15$ для готелів.

Число можливих зупинок при підйомі та спуску кабіни

$$N_{\text{п}} = N - N * \left(\frac{N-1}{N}\right)^{y_{\text{п}} * E}$$

$$N_{\text{с}} = N - N * \left(\frac{N-1}{N}\right)^{y_{\text{с}} * E}$$

де N - кількість можливих зупинок кабіни на поверхових майданчиках; $y_{\text{п}}$, $y_{\text{с}}$ - величина коефіцієнта заповнення кабіни при підйомі та спуску.

8) Продуктивність ліфта при двосторонньому пасажиропотоці

$$P = \frac{3600 * (y_{\text{п}} + y_{\text{с}})}{T} \text{ пас/год}$$

9) Необхідна кількість ліфтів

$$n = \frac{T}{t_{\text{н}}}$$

10) Коефіцієнт використання продуктивності ліфтів

$$K_{\text{р}} = \frac{A_{\text{р}}}{P * n}$$

Рекомендовані значення цього коефіцієнта становлять:

$$K_{\text{р}} = 0,8 \dots 1,0$$

Розрахунок приведених величин проведено у середовищі MATCAD

Початкові дані:

Кількість поверхів $N = 5$

Висота одного поверху $H_1 = 2.9$ м

Інтенсивність пасажиропотоку $I = 14\%$

Категорія якості ліфтового обслуговування $t_{\text{н}} = 76$ с

Коефіцієнт врахування нерегулярності пасажиропотоку $K = 0.8$

Кількість працівників на кожному поверсі:

1 поверх - 13 чол., 2 поверх - 8 чол., 3 поверх - 13 чол., 4 поверх - 10 чол., 5 поверх - 11 чол.

Початкові дані:

$N=5$ $I=14$ $K=0.8$ $H_1=2.9$ $t_{\text{н}} = 76$

$a_1 = 13$ $a_2 = 8$

$a_3 = 13$ $a_4 = 10$

$a_5 = 11$

Розрахунок:

$H = H_1 * N = 14,5$

$A_5 = \frac{I}{100} * (a_2 + a_3 + a_4 + a_5) = 5.88$

$A_{\text{р}} = 12 * K * A_5 = 56.448$

$A_{\text{п}} = 0,66 * A_{\text{р}} = 37.255$

$A_{\text{с}} = 0,34 * A_{\text{р}} = 19.192$

$$V = \frac{H}{20} = 0.725$$

$$E_{\Pi} = \frac{A_{\Pi} * t_H}{3600} = 0.787$$

$$E_c = \frac{A_c * t_H}{3600} = 0.405$$

$$E = 2$$

$$H_B = (0,7 \dots 0,9) * H = 10.15$$

$$h = 1.5 t_1 = 0.9$$

$$t_0 = 10 y_{\Pi} = 0.78 y_c = 0.5$$

$$t_{\Pi} = 2 * E * t_1 * (y_{\Pi} + y_c) = 4.608$$

$$K_t = 1.05$$

$$N_{\Pi} = N - N * \left(\frac{N-1}{N}\right)^{y_{\Pi} * E} = 1.47$$

$$N_c = N - N * \left(\frac{N-1}{N}\right)^{y_c * E} = 1$$

$$T = \frac{2 * H_B + h * (N_{\Pi} + N_c + 1)}{V} + K_t * (t_0 * (N_{\Pi} + N_c + 1) + t_{\Pi}) = 76.451$$

$$P = \frac{3600 * (y_{\Pi} + y_c)}{T} = 60.274$$

$$n = \frac{T}{t_H} = 1.006$$

$$K_p = \frac{A_p}{P * n} = 0.931$$

Отримані результати:

Мінімальна місткість кабіни $E = 2$

Розрахункова мінімальна швидкість кабіни ліфта $V = 0,725$ м/с

Необхідна кількість ліфтів $n = 1$

Коефіцієнт використання продуктивності ліфтів $K_p = 0,931$

Номінальна вантажопідйомність $m_B = 300$ кг

Власна маса кабіни $m_K = 500$ кг

Висота підйому $H = 14,5$ м

Номінальна швидкість $V = 1$ м/с

Розрахунок максимального навантаження на канати:

$$F_m = \left(\frac{m_K + m_B}{n} + n * q * H\right) * g \quad H$$

де n – кількість канатів, на яких підвішена кабіна, $n = 4$; q – погонна маса 1м. каната.

Орієнтовно $q = 0,3 \dots 0,8$ кг/м.

$$F_m = \left(\frac{500 + 300}{4} + 0,8 * 14,5\right) * 9,81 = 2076 \text{ Н}$$

Розрахункове зусилля на розрив у гільці каната:

$$F_3 = K_3 * F_m = 13 * 2076 = 26988 \text{ Н}$$

де K_3 – коефіцієнт запасу міцності каната, $K_3 = 13$ обирається по табл. 1.

Таблиця 1. Значення параметрів для вибору каната ліфта

Тип лебідки	Лінійна швидкість каната на канатоведучому шківі, барабані (при номінальній швидкості руху кабіни), м/с	Коефіцієнт запасу міцності каната K_3	
		Вид ліфта	
		для транспортування людей	заборона транспортування людей
Барабан	до 0,63	9	8
3 канатоведучим шківом	до 1 включ.	12	10
	від 1 до 2 включ.	13	11
	від 2 до 4 включ.	14	12
	Більше 4	15	13

Обраний сталевий дротовий канат 6х19S-FC, діаметр – 7,5 мм, погонна маса-0,202 кг/м, розривне зусилля 29,2 кН.

Вибір основних розмірів канатоведучого шківа

Найменший допустимий діаметр канатоведучого шківа визначається за формулою:

$$D \geq e * d = 40 * 7,5 = 300 \text{ мм}$$

де d – діаметр каната, мм;

D - діаметр шківа, вимірюваний за середньою лінією каната, мм;

e - коефіцієнт, який приймається з врахуванням швидкості підйому кабіни:

Для ліфтів, в яких дозволяється транспортування людей, $e = 40$, якщо лінійна швидкість руху каната (при номінальній швидкості руху кабіни) не перевищує 1,6 м / с, і $e = 45$, якщо лінійна швидкість каната вище 1,6 м / с.

Крок канатів обирається конструктивно, виходячи з можливості розташування елементів кріплення кінців каната на кабіні та противазі. Для попереднього розрахунку приймається $t=(3...4)*d$.

Для розглянутого прикладу:

$$t = 4 * d = 4 * 7,5 = 30 \text{ мм}$$

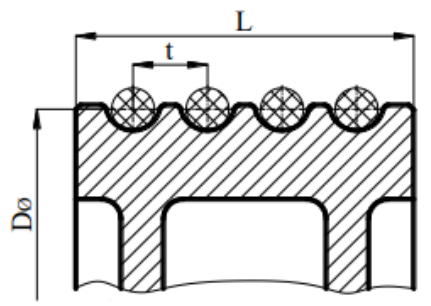


Рисунок 3 – Геометричні розміри канатоведучого шківа

Приймаємоючи $t=30$ мм, визначаємо ширину шківа:

$$L = n \times t = 4 \times 30 = 120 \text{ мм}$$

де z – кількість канатів, на яких підвішена кабіна ліфта.

4) Перевірка тягової здатності канатоведучого шківа

Мінімальний коефіцієнт запасу зчеплення каната зі лунками шківа з гладкою напівкруглою канавкою:

$$K_{\text{ц}}^{\text{гл}} = C\mu\alpha = 2,7^{0,127 \times \pi} = 1,48$$

де α – кут захоплення шківа канатом, $\alpha = \pi$ рад;

μ – наведений коефіцієнт тертя каната по жолобу шківа (визначається залежно від форми жолобу).

Приймаємо шків з напівкруглою канавкою, для якого наведений коефіцієнт тертя визначаємо за формулою:

$$\mu = \frac{4 * \mu_0}{\pi} = \frac{4 * 0,1}{3,14} = 0,127$$

де μ_0 – коефіцієнт тертя каната по жолобу, $\mu_0 = 0,1$.

Співвідношення зусиль у гілках каната для першого розрахункового випадку (підйом кабіни з вантажем з крайнього нижнього положення).

$$K_{\text{н}} = \frac{(m_{\text{к}} + m_{\text{в}} + q * H * n)(g + a)}{(m_{\text{к}} + \frac{m_{\text{в}}}{2})(g - a)}$$

$$K_{\text{н}} = \frac{(500 + 300 + 0,202 * 91 * 4)(9,81 + 0,5)}{(\frac{300}{2} + 500)(9,81 - 0,5)} = 1,488$$

де a – середнє розрахункове прискорення, $a = 0,5$ м/с².

Так як $K_{\text{н}} > K_{\text{ц}}^{\text{гл}}$, напівкругла гладка канавка шківа не забезпечує достатнього зчеплення каната зі шківом. Тому, профіль канавки на канатоведучому шківі заміняємо на напівкруглу з підрізом, рис. 4.

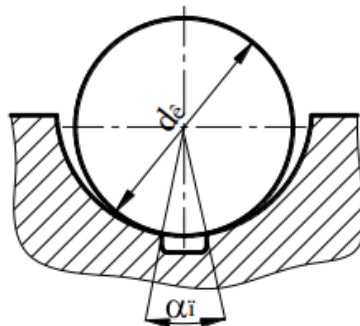


Рисунок 4 – Розрахункова схема до визначення коефіцієнта тертя μ_0

Приймаємо $\alpha_{\text{п}}=45^\circ$ та визначаємо значення наведеного коефіцієнта тертя каната по жолобу шківа.

$$\mu = 4 * \mu_0 * \frac{1 - \sin \frac{\alpha_{\text{п}}}{2}}{\pi - \sin \alpha_{\text{п}}} = 4 * 0,1 * \frac{1 - 0,382}{\pi - \pi/4 - 0,707} = 0,15$$

Мінімальне значення коефіцієнту запасу зчеплення каната зі шківом, що має напівкруглі канавки з підрізом $\alpha_{\text{п}}=45^\circ$,

$$k_{\text{ц}}^{\text{н}} = 2,7^{0,15 * \pi} = 1,62$$

Співвідношення зусиль у гілках каната для другого розрахункового випадку (опускання порожньої кабіни верхнього положення):

$$K_B = \frac{(m_K + \frac{m_B}{2} + q * H * n)(g + a)}{m_K(g - a)}$$

$$K_B = \frac{(\frac{300}{2} + 500 + 0.202 * 91 * 4)(9,81 + 0,5)}{500 * (9,81 - 0,5)} = 1,602$$

Оскільки $K_B > K_{цн}^n$, тягова здатність приводу буде забезпечена.

5) Розрахунок потужності та вибір електродвигуна

Необхідна потужність електродвигуна:

$$P_1 = \frac{(F_{1окр} + W_{тер1} + W_{тер2}) * V}{10^3 * \eta_{мех}}$$

$$P_1 = \frac{(1586,43 + 178,54 + 111,02) * 1}{10^3 * 0,97} = 1,93 \text{ кВт}$$

де $\eta_{мех}$ – ККД приводу з зубчастою передачею, де $\eta_{мех} = 0,97$,

$F_{1окр}$ – окружне зусилля від натягу у гілках канатів

$$F_{1окр} = ((m_K + m_B + q * H * n) - (m_K + 0,5m_B)) * g$$

$$F_{1окр} = ((500 + 300 + 0,202 * 14,5 * 4) - ((500 + 0,5 * 300))) * 9,81 = 1586,43 \text{ Н}$$

$W_{тер1}$ – опір від сил тертя кабіни з вантажем розташованим не по центру кабіни, відносно направляючих визначаємо за виразом

$$W_{тер1} = \frac{\mu_1 * m_B(A + B) * g}{3H}, \text{ Н}$$

$$W_{тер1} = \frac{0,12 * 300 * (2,1 + 1,54) * 9,81}{3 * 2,4} = 178,54 \text{ Н}$$

де А, В – глибина й ширина кабіни, м. Розміри А і В приймаються конструктивно, виходячи з площі підлоги кабіни. Орієнтовно співвідношення А/В=1,2...1,4; Н – різниця рівнів установки башмаків, Н=2,2...2,4м;

$W_{тер2}$ – опір від перегину каната і сил тертя каната по шківу, тертя в опорах підшипників.

$$W_{тер2} = 0,01((m_K + m_B + q * H * n) + (0,4(Q_H + m_K))) * g$$

$$W_{тер2} = 0,01((500 + 300 + 0,202 * 14,5 * 4) + (0,4 * (500 + 300))) * 9,81 = 111,02 \text{ Н}$$

Використовуючи зазначені вище розраховані параметри та рекомендації щодо вибору приводу обрано лебідку типу ЛЛ-0401, що задовільняє необхідні параметри.

Тип лебідки: ЛЛ-0401

Номінальна швидкість: 1,0 м/с

Діаметр шківів 770 мм

Номінальна потужність: 5(4,5) кВт

Номінальна швидкість обертів: 1000/250 об/хв

Висновок. При проведенні розрахунків установки виявлено, що технологічні рішення, які застосовуються у сучасних ліфтах не ідеальні, отже їх можна модернізувати, що дозволить

збільшити ККД транспортування, зменшити витрати електроенергії, спростити обслуговування. Промисловість України має змогу виготовляти всі компоненти ліфтових установок, проте, для конкурентноспроможності необхідні нові, більш ефективні технології.

Перелік посилань:

1. Будинки і споруди ГРОМАДСЬКІ БУДИНКИ ТА СПОРУДИ Основні положення ДБН В.2.2-9-2009
2. The Vertical Transportation Handbook, Fourth Edition Edited by George R. Strakosch and Robert S. Caporale
3. Технические характеристики лифтовых приводных двухскоростных асинхронных короткозамкнутых электродвигателей
<https://mash-xxl.info/page/025174149105098223218080236110251093191085252051/>
4. Лобов Н.А. Пассажирские лифты. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999
5. Чиликин М. Г. Основы автоматизированного электропривода / М. Г. Чиликин, М. М. Соколов, В. М. Терехов и др. – М. : Энергия, 1974. – 568 с.
6. ДБН В.2.5-23:2010 Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення.
7. А.В.Башарин, Ф.Н.Голубев, В.Г. Кепперман Примеры расчетов автоматизированного электропривода

УДК62-505

В.В. Луняка

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

АВТОМАТИЗОВАНА МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ ТЕПЛОВОЇ ЗАВІСИ

***Анотація.** У даній роботі розглядається один з способів автоматизації потоком повітря теплової завіси. Запропоноване використання мікропроцесорної системи керування на базі контролера Arduino Uno. Розглянуто особливості такої системи керування, електричну схему, що забезпечує надійну і безперервну роботу. Також вибрані основні компоненти принципової електричної схеми, виходячи з напруг і допустимого нагріву. Заключним етапом роботи є визначення техніко – економічних показників запропонованої системи керування та надано рекомендації щодо подальшого розвитку даного обладнання та способу керування нагрівом.*

***Ключові слова:** тепла завіса, автоматизація управління, Arduino.*

***Abstract.** This paper considers one of the ways to automate the air flow of the thermal curtain. The use of a microprocessor control system based on the Arduino Uno controller is proposed. Features of such control system, the electric scheme providing reliable and uninterrupted work are considered. The main components of the basic electrical circuit are also selected, based on voltages and allowable heating. The final stage of work is to determine the technical and economic indicators of the proposed control system and provide recommendations for further development of this equipment and method of heating control.*

***Key words:** air door, control automation, Arduino.*

Вступ. Повітряні завіси є ідеальним рішенням для підтримки та збереження комфортних умов внутрішнього клімату в громадських будівлях, в торгових і промислових приміщеннях, які тримають свої двері відкритими. Повітряні завіси, їх ще називають «Теплові повітряні завіси», покликані вирішити ряд дуже важливих питань, які на перший погляд можуть звичайному мешканцеві здатися не суттєвими.

Повітряні завіси створюють невидимий бар'єр повітряного потоку - він покликаний ефективно розділяти внутрішнє середовище приміщення від зовнішнього, за умови правильного підбору. Якщо була правильно підібрана повітряна завіса то це дозволить тримати двері відкритими так, як невидимий бар'єр з повітряного потоку не дозволить проникнути в приміщення поривам вітру, холодного / гарячому повітрю, комах, пилу, неприємних запахів, диму тощо. Використання повітряних завіс, істотно знижує витрати на нагрівання та охолодження повітря в приміщенні (до 80%) так, як втрати внутрішнього середовища приміщення мінімальні, що дозволяє не тільки зменшити витрати, а також збільшити комфорт клієнтів і службовців в приміщенні.

Мета та завдання: розробити систему автоматизації управління процесами повітряної завіси що забезпечить регулювання температури потоку повітря і буде враховувати температуру зовнішнього середовища.

Матеріал і результати досліджень. Об'єктом дослідження є повітряна завіса Neoclima ТЗС-508, яка має такі характеристики: потужність 2,2 / 5,0 кВт (без нагріву / з нагрівом), продуктивність 470 м³ / год, швидкість потоку 6,5 м / с, нагрівальний елемент СТІЧ (що має майже миттєвий час нагрівання). Для керування повітряною завісою було вибрано контролер Arduino Uno за його дуже широкий спектр застосування, гнучкість в налаштуванні та відносно низьку ціну. Серед своїх «родичів» контролерів Arduino цей контролер має найбільш вигідне співвідношення ціни та функціональності. Він буде виконувати роботу по збору та аналізу даних з датчиків та контролю вмикання нагрівача та двигуна.

Після виконаної роботи з розробки схеми, розрахунку та вибору апаратури системи управління вийшов такий результат:

2. Датчик руху Crow Swan-Quad також має багато аналогів, наприклад "Alfa", "Eldes", "Tecsar". Він теж був вибраний через низьку вартість.

3. Автоматичний вимикач Schneider Electric С EZ9. Сьогодні існує багато моделей автоматичних вимикачів. Цей вимикач має велику надійність та невисоку ціну. Він призначений для регулювання сили струму, а саме не давати їй підвищитися вище ніж задано, це захищає прилади, які встановлені в схемі управління, а також саму теплову завісу.

4. Оповіщувач світлозвуковий внутрішній "Дует" С-03С – сирена це невід'ємний елемент на всіх лініях виробництва, людина не завжди може помітити світову сигналізацію, а почути можливо майже всюди.

5. Датчики температури – найбільш адаптованими датчиками температури для контролеру Arduino вважаються датчики DS18. Серед різноманітних варіацій цього типу датчиків було вибрано DS18B20, через те що він дешевший за інші.

6. Трансформатор напруги VITO VT 450 (220В/12В/60W), який містить в собі також стабілізатор, має низьку ціну та високу надійність, завдяки чому і був обраний.

7. Оптосимістори для замикання кіл на двигун та нагрівач теплової завіси були вибрані МОС3021, завдяки дуже низькій ціні, довгому терміну роботи та доступності

8. Резистори для обмеження струму на оптосимістори розраховуються за формулою:

$$R = (U_{ж} - 1,8) / I_f$$

Де $U_{ж} = 5\text{В}$ (напруга з джерела Arduino), $I_f = 0,075\text{А}$ (струм спрацювання)

Необхідно зробити $I_f = 80\text{ мА}$ з урахуванням зниження ефективності світіння світлодіода протягом терміну роботи (додати 5 мА) отримуємо:

$$R = (5 - 1,8) / 0,08 = 40\text{ Ом}, \text{ таких немає вибрано найближчий } 39\text{ Ом}.$$

Далі розрахунок потужності резистора:

$$P_R = \frac{U^2}{R} = \frac{3,2^2}{150} = \frac{10,24}{150} = 0,26\text{Вт}$$

Вибрана найближча більша потужність 0,5Вт.

9. Транзистори для вмикання оптосимісторів були розраховані за струмом колектору, напругою живлення та опором навантаження:

$$I_k = \frac{U_{ж}}{R} = \frac{3,2}{39} = 0,082\text{ А}$$

На практиці з міркувань надійності елементи завжди необхідно вибирати з запасом.

Візьмемо коефіцієнт 1.5. Таким чином, потрібен транзистор з допустимим струмом колектора не менше 0.123 А, і максимальною напругою колектор-емітер не менше $1,5 * 5 = 7$

В. За розрахованими параметрами найкраще відповідає транзистор КТ503А ($I_{кмакс} = 0,15A$
 $U_{ке} = 40V$)

З вказаного вище було розроблено електрично-принципову схему, що зображена на рис 1.

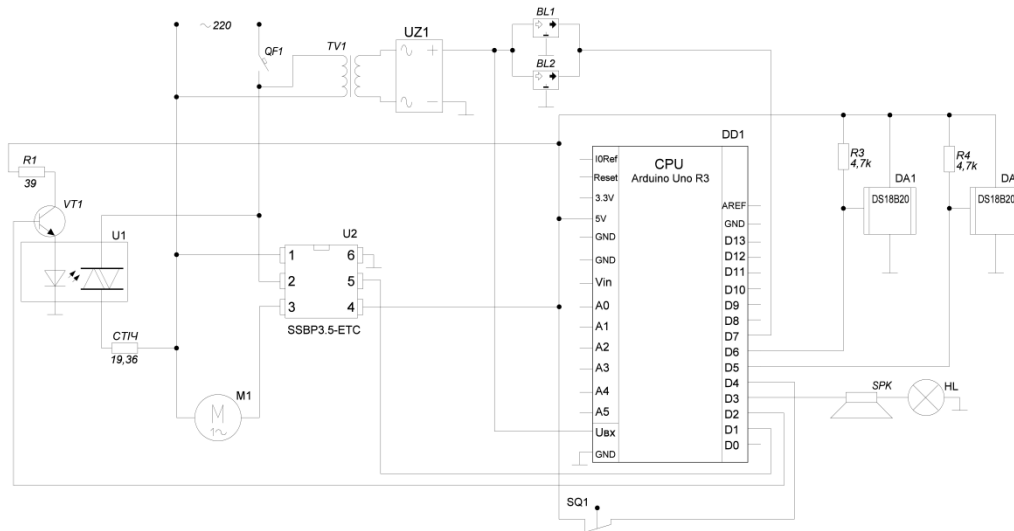


Рисунок 1 - Схема електрична принципова автоматизованої системи

Таким чином повітряна завіса буде працювати меншу кількість часу, завдяки чому зменшиться споживана електроенергія, і як наслідок затрати на її використання. Короткий розрахунок наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – техніко-економічні показники

Назва показника	Значення	
	Аналог	Розроблена система
Тип керування	Ручний	автоматичний
Кількість контрольованих параметрів	1	2
Споживана потужність	5	5,2
Загальний річний розмір економії, грн. в т.ч. :		15059,54
на енергоспоживанні		15059,54
Розмір додаткових капітальних вкладень, грн.		14728,52
Термін окупності додаткових капітальних вкладень, місяців		12
Коефіцієнт економічної ефективності		1,02

Висновки.

1. В результаті виконаної роботи було створено систему автоматизації теплової завіси Neoclima ТЗС-508 на основі контролера Arduino Uno R3 з можливістю простого програмування за допомогою відповідного програмного забезпечення Arduino IDE.

2. При розрахунку економічної ефективності реалізації системи автоматизації термін окупності автоматизованої системи становить 12 місяців при коефіцієнті економічної ефективності 1,02 та собівартості в 14728,52 грн.

УДК62-505

Дженчако Д.К.

Кафедра автоматизації електротехнічних і мехатронних комплексів

ПРОГРАМНЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ПЕРЕМІЩЕННЯ МЕХАНІЗМУ РІЗУ ГОФРОВАНОГО КАРТОНУ З ВИКОРИСТАННЯМ МОВИ ОРІЄНТОВАНОГО ПРОГРАМУВАННЯ C++

В даний момент часу більшість виробництв є автоматизованими системами управління, які включають в себе необхідні агрегати і машини, системи автоматичного контролю та захисту, дистанційного і телемеханічного управління, системи автоматичного регулювання та керування у виробництві, та які потребують чіткого контролю в виробництві гофро-тари. Виробництво гофротари найбільш відповідальний етап виробництва картону.

В даній статті головним завданням є розробити систему автоматизації різку гофрованого картону. Для плавності керування переміщенням синхронного серводвигуна із поєднанням його з контролером був реалізований задатчик другого порядку. Для контролера було розроблено алгоритм реалізованого задачника на мові програмування C++.

Ключові слова: програмне керування, позиційний електропривод, гофрований картон, мова програмування, задатчик другого порядку

At present, most industries are automated control systems, which include the necessary units and machines, automatic control and protection systems, remote and telemechanical control, automatic control and management systems in production, and which require clear control in the production of corrugated packaging. The production of corrugated packaging is the most responsible stage of cardboard production.

In this article, the main task is to develop a system for automating the cutting of corrugated cardboard. For smooth control of the movement of the synchronous servomotor with its combination with the controller, a second-order unit was implemented. An algorithm for the implemented problem in the C ++ programming language was developed for the controller.

Keywords: program control, position electric drive, corrugated cardboard, programming language, second order unit

Вступ. Ефективна реалізація сучасних виробництв вимагає оснащення їх системами контролю і оперативного управління, що забезпечують отримання продукції заданої якості, зниження її собівартості, контроль екологічної ситуації, комфортні умови праці для обслуговуючого персоналу. Виробництво гофротари найбільш відповідальний етап виробництва картону. В дані статті головним завданням є розробити систему програмного керування для автоматизації системи різку гофрованого картону. В якості виконавчого механізму використовується сервопривод із синхронним двигуном, що керується від програмованого логічного контролера за допомогою цифрового інтерфейсу зв'язку. В той же час, для запропонованого контролера немає готових бібліотек для формування завдання від задачника інтенсивності другого порядку, а тільки першого. Тому, задача розробки програми

реалізації задатчика інтенсивності другого порядку на мові програмування C++ а також перевірки його працездатності із сервоприводом є актуальною задачею..

Мета дослідження. Розробити алгоритм формування задатчика інтенсивності другого порядку для реалізації на базі програмованого логічного контролера.

Матеріали та результати досліджень. Для дослідження сервоприводу використовувалась математична модель електропривода переміщення, реалізована в MATLAB та його додатку Simulink. Запропонована модель має вигляд, представлений на рис.1.

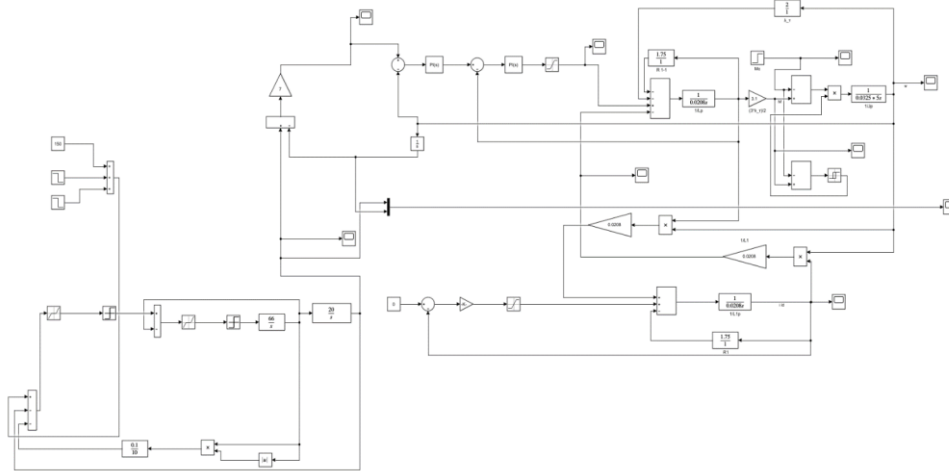


Рисунок 1 - Побудована структурна схема в додатку Simulink

Шляхом здійснення цифрового моделювання з використанням програмного задачника інтенсивності були отримані плавно перехідні процеси. Графіки завдання положення та його поточного значення можна спостерігати на рис.2.

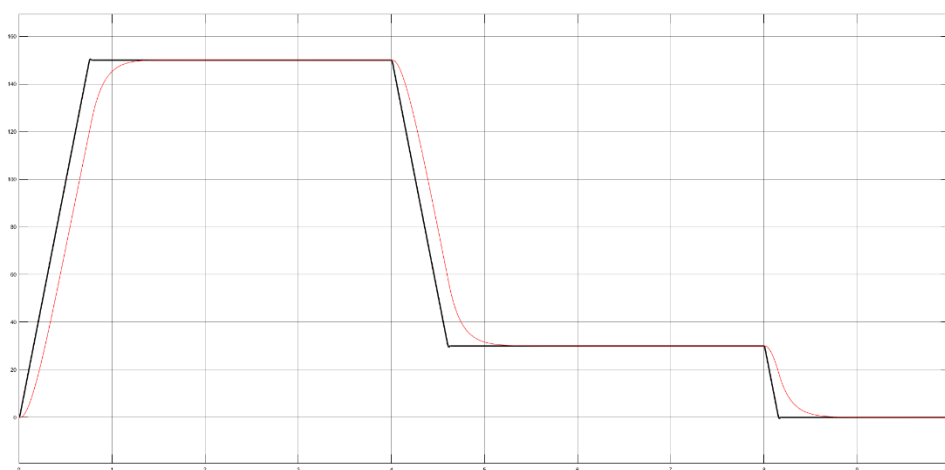


Рисунок 2 – Вихідний сигнал задачника інтенсивності та сигнал поточного положення привода.

Програмна реалізація задатчику другого порядку здійснена з мови програмування C++, що формує сигнал завдання і передає в блок завдання положення. Лістинг програми представлений в наступній формі.

```

#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
double fun(double x) // В даній строчці коду задана функція x для інтегралу
{
    return x;}
double sumIntegral(double lowBound, int n, double dx) // опис першого інтегратора
{
    double cumSum = 0;
    for (int i = 0; i < n; i++) // В даному місці задано цикл в якому при умові що i < n будет
збільшуватись i поки не стане більше n (значень обраховує інтеграл)
{
    double xi = lowBound + i * dx;
    double funValue = fun(xi);
    double rectangleArea = funValue * dx;
    cumSum += 66 * rectangleArea;}
    return cumSum;}
double sumIntegral_1(double lowBound, int n, double dx) // Опис друго інтегратора
{
    double cumSum_1 = 0;
    for (int i = 0; i < n; i++) {
        double xi_1 = lowBound + i * dx;
        double funValue = fun(xi_1);
        double rectangleArea_1 = funValue * dx;
        cumSum_1 += 20 * rectangleArea_1;}
    return cumSum_1;}
int main()
{
    int x_1, x1, x2, sum_1, sum_2, x3, integrator_1;
    double lowBound; // нижня границя інтеграла
    double upBound; // верхня границя інтеграла
    int n; // Кількість значень які обраховує інтеграл
    x1 = 0; x2 = 0; x3 = 0;
    cout << "Input x: " << endl; // вводим перший сигнал що входить на суматор
    cin >> x_1; // вводим с клавиатури перший сигнал на суматор
    cout << "Input two number 1st lowBound 2nd upBound and n - count " << endl; // Виводимо
повідомлення з проханням ввести два числа нижню и верхню межу інтегралу
    cin >> lowBound >> upBound >> n; // ввід с клавиатури
    sum_1 = x_1 - x1 - x2; // Перший суматор через який проходить сигнал
    if (sum_1 < 0) // Функція SIGN sum_1 < 0 при даній умові значення яке виходить з
sum_1 суматора буде проходить перевірку, якщо sum_1 < 0 то число набуває знак (-) .
    {
        sum_1 = (-1)*sum_1; }
    else if (sum_1 > 0) // Якщо sum_1 > 0 то число = число мається на увазі що число буде
рівне собі і на виході буде теж саме число.
    {
        sum_1 = sum_1; }
    else if (sum_1 = 0) //Якщо число sum_1 = 0 то число будет мати значення 0
    {
        sum_1 = 0; }
    sum_2 = sum_1 - x3; // Проходить через другий суматор sum_1
    if (sum_2 < 0) // В даному випадку усе що і було в випадку if (sum_1 < 0)
    {
        sum_2 = (-1)*sum_2; }
    else if (sum_2 > 0)
    {
        sum_2 = sum_2; }
    else if (sum_2 = 0)
    {
        sum_2 = 0; }
    double Sumator_2 = sum_2; // В данному пункті створюю нову змінну

```

```
double dx = (double)(upBound - lowBound) / n;
double result = sumIntegral(lowBound, n, dx); // Визивається вище описана змінна в
результаті якої cumSum += 66 * rectangleArea;
double result_1 = result * sum_2; // в цьому рядку ми проводимо сигнал який вийшов з
останнього Суматора через перший інтегратор
double result_1_modul = fabs(result_1); // в даній функції беремо число по модулю
double multiple = (result_1_modul * result_1) * (0.1 / 10); // множимо сигнал що вийшов з
першого інтегратора на модуль числа і множимо на блок 0.1 / 10
double result_1_1 = sumIntegral_1(lowBound, n, dx); // викликаємо функцію інтеграла
cumSum_1 += 20 * rectangleArea_1;
double result_2_1 = result_1_1 * result_1; // Сигнал який вийшов з першого інтегратора
проводимо через другий ін-тегратор
double sum_1_1 = sum_1 - multiple - result_2_1; // Відповідно зворотній зв'язок який
приходить на перший суматор
cout << sum_1_1; // виводжу число яке отримав за перший прохід по задатчику другого
порядку
return 0; // при успішному виконання коду програма поверне 0 що дає зрозуміти що
програма працює}
```

Висновок.

1. Запропонована система програмного керування переміщенням забезпечує плавне формування вихідного сигналу, що в повній мірі відпрацьовується електроприводом.
2. Використання даного способу формування переміщення дозволяє використовувати її в швидкодіючих програмних логічних контролерах.

УДК 621.316

Барсукова К.І.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРЕКЕРА УПРАВЛІННЯ

Анотація: Стаття присвячена оцінці ефективності генерації сонячних панелей з використанням трекера управління. Виконано розрахунки сонячної електростанції, зроблено вибір обладнання. Показано, що використання трекерного управління дозволяє збільшити ККД фотоелектричних систем та знизити вартість виробленої електроенергії.

Ключові слова: сонячні панелі, трекерна система, сонячна енергетика.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF A SOLAR POWER PLANT USING THE CONTROL TRACKER

Abstract: The article is devoted to the evaluation of the efficiency of solar panel generation using a control tracker. Calculations of the solar power plant are made, the choice of the equipment is made. It is shown that the use of tracker control allows to increase the efficiency of photovoltaic systems and reduce the cost of electricity generated.

Key words: solar panels, tracker system, solar energy.

Вступ

Актуальність сонячної енергетики все зростає за рахунок таких її переваг як ресурсомісткість, відтворюваність, відсутність шкідливих відходів при переробці, безшумність та інші. Однак, вона має і свої недоліки, серед яких є залежність генерації від добового і сезонного ритму інсоляції, а також, необхідність великих площ для будівництва сонячних електростанцій. Не дивлячись на це, широко використовується як основне джерело альтернативної енергії. Енергоефективність і ККД фотоелектричних установок досі залишається на відносно невисокому рівні, тому слід розглядати можливі варіанти автоматизації для їх підвищення і збільшення генерації електроенергії.

Мета та завдання. Розрахувати сонячну електросистему з виконанням точного наведення панелей на Сонце за рахунок трекерного управління, визначити її ефективність та порівняльні показники, також виконати розрахунок потужності інвертора та контролера заряду-розряду.

Матеріал та результати досліджень. Територіальний розподіл встановлених відновлюваних джерел енергії певним чином залежить від рівня інсоляції того чи іншого регіону, тому, в більшості випадків, вони зосереджені в регіонах з високою сонячною активністю, таких як південна та східна частина України [3].

Так як ефективність сонячної електростанції значним чином залежить від параметрів їх основних елементів та самої конструкції електростанції, останнім часом збільшилась кількість розробок направлених на застосування додаткових пристроїв в конструкціях сонячних електростанцій для більш ефективного використання сонячної енергії. Одним з видів таких

розробок є відстеження кута падіння сонячних променів на поверхню сонячної панелі та регулювання положення панелей на основі отриманих даних. Також, крім фізичних методів, існують й інші, пов'язані, наприклад, з відслідковуванням рівня максимальної потужності, що передається.

Напруга холостого ходу одного елемента сонячної панелі складає приблизно 0,6 В і розмір елементів на неї не впливає. Струм елементів пропорційно залежить від їх площі та інтенсивності світла.

Великий вплив на ефективність роботи сонячних панелей має температура сонячних елементів, нормоване значення якої складає 25°C. При перевищенні цієї норми елемент втрачає близько 0,4% напруги за кожен градус понад нормою. В сонячні дні елементи нагріваються до 60-70 °С, тому втрачають до 0,09 В, через що ККД всієї установки знижується.

В стандартних моделях представлених на ринку ККД сонячних елементів досягає 10÷16%, тобто елемент розміром (10×10) см генерує приблизно 1÷1,6 Вт потужності за оптимальних умов.

Запропонована фотоелектрична система забезпечує живлення вентиляторної установки змінною напругою за допомогою інвертора. На рис. 1 зображена схема фотоелектричної системи (ФЕС).

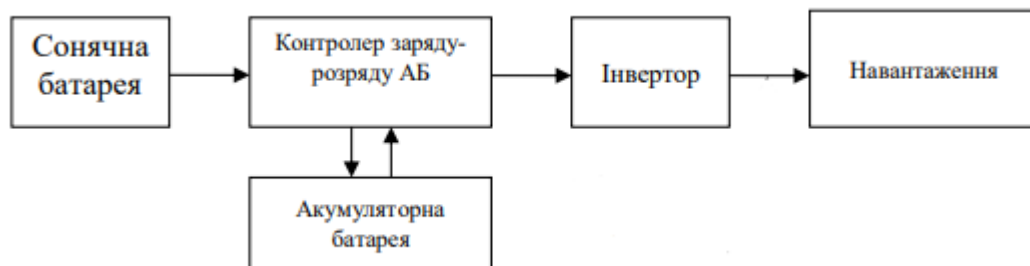


Рисунок 1 – Типова схема роботи ФЕС

Загалом, всі автономні сонячні електричні станції класифікуються за навантаженням та напругою інвертора. За такою класифікацією, для сонячних електричних станцій, що виробляють менше ніж 1000-1500 Вт·год на добу, доцільно використовувати напругу 12 В, для сонячних електростанцій (СЕС), які виробляють 1÷3 кВт·год на добу використовують напругу 24 В, а якщо СЕС виробляє більше 3 кВт·год на добу, то використовується напруга 48 В та вище[1].

Для живлення вентиляторної установки з двигуном потужністю $P_{дв}=0,55$ кВт споживана потужність P_H складає:

$$P_H = P_{дв} / \eta = 0,55 / 0,71 = 0,775 \text{ кВт.}$$

Вентиляторна установка живиться від сонячної електростанції одну зміну, тоді, споживання енергії $W_{н доб}$ добу буде дорівнювати:

$$W_{н доб} = P_H \cdot t_{роб} = 0,775 \cdot 8 = 6,040 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Таким чином, одним з найважливіших розрахунків являється розрахунок необхідної кількості сонячних панелей для СЕС. При розрахунках необхідно враховувати такі фактори як середньорічна сонячна радіація та її середньомісячне значення у найгірших умовах.

Для розрахунку значення енергії W на один модуль потужністю P_w у період обраного часу при інтенсивності сонячного випромінювання 1000 Вт/м^2 використовуємо вираз:

$$W = \frac{k \cdot P_W \cdot E}{1000}, \text{ Вт} \cdot \text{ год}; \quad (1)$$

де E – значення інсоляції за обраний період; k – коефіцієнт, який враховує нагрів сонячних панелей і кут падіння променів протягом дня. $k = 0,5$ в літній та $k = 0,7$ в зимовий періоди.

Так як вважається, що будівля, для якої проводиться розрахунок, розміщення в Житомирській області і живлення від панелей буде використовуватись в літній період, значення інсоляції, відповідно до виразу (1) буде дорівнювати $E = 4,66$ кВт·год/доб. [2].

Кількість модулів для СЕС складає

$$n = \frac{W_{\text{н доб}}}{W}, \text{ шт}; \quad (2).$$

Вибираємо сонячну панель TrinaSolar TSM-DE17M з номінальною потужністю $P_W = 450$ Вт. Загальні параметри даної панелі наведені в табл. 1 [3].

Таблиця 1 – Параметри сонячної панелі TrinaSolar TSM-DE17M

Параметри TrinaSolar TSM-DE17M	
Тип панелі	монокристалічна
Розміри	2102x1040 см
Матеріал модуля	кремній
Напруга	24 В
Потужність	450 Вт
Струм при максимальній потужності	10,98 А
Напруга при максимальній потужності	41 В
Струм КЗ	11,53 А
Напруга ХХ	49,6 В
Кількість елементів	144 шт.
Мінімальна робоча температура	-40° С
Максимальна робоча температура	85° С
Ступінь захисту	68
ККД (не менше ніж)	20,6%
Вага	24 кг

Розраховуємо значення енергії W за виразом (1), яку буде виробляти за добу в серпні сонячна панель TrinaSolar TSM-DE17M:

$$W = \frac{k \cdot P_W \cdot E}{1000} = \frac{0,5 \cdot 450 \cdot 4660}{1000} = 1048,5 \text{ Вт} \cdot \text{ год};$$

Далі визначимо необхідну кількість сонячних панелей за виразом (2):

$$n = \frac{W_{\text{н доб}}}{W} = \frac{6040}{1048,55} = 5,76 = 6 \text{ шт};$$

Для забезпечення необхідної вихідної напруги і потужності, з'єднуємо панелі по дві послідовно, а далі одержані групи по три паралельно. Таке з'єднання забезпечує вихідну напругу $U_{\text{сп}} = 48$ В.

Для стабільної роботи електроприводу вентиляторної установкинєобхідно зробити вибір акумуляторної батареї для СЕС, ємність загальна $C_{\text{спож}}$ визначаємо за виразом:

$$C_{\text{спож}} = \frac{W_{\text{н доб}}}{U_{\text{н дв}}} = \frac{6040}{400} = 15,1 \text{ А} \cdot \text{год};$$

де-

Враховуючи, що розряд акумуляторної батареї, як правило, допускається до половини її ємності, розраховуємо необхідну номінальну ємність $C_{\text{н}}$ батарей:

$$C_{\text{н}} = C_{\text{спож}} \cdot \frac{100\%}{50\%} = 15,1 \cdot \frac{100\%}{50\%} = 30,2 \text{ А} \cdot \text{год};$$

По аналогії з сонячними панелями, акумуляторна батарея СЕС з ємністю $C_{\text{н}}$ набирається з окремих акумуляторних батарей меншої ємності, які з'єднуються послідовного та паралельного між собою.

Обираємо акумуляторну батарею типу SacredSunLi-power 48-50 з номінальною напругою $U_{\text{аб}} = 48 \text{ В}$ і ємністю $C_{\text{аб}} = 50 \text{ А} \cdot \text{год}$.

Кількість послідовно увімкнених одинарних акумуляторних батарей у гілці:

$$n = \frac{U_{\text{н}}}{U_{\text{аб}}} = \frac{48}{48} = 1 \text{ шт};$$

Для стабільної роботи приймаємо ємність $250 \text{ А} \cdot \text{год}$. Кількість паралельних гілок m у акумуляторної батареї в складі СЕС складає:

$$m = \frac{C_{\text{н}}}{C_{\text{аб}}} = \frac{250}{50} = 5 \text{ шт};$$

Загальна необхідна кількість N акумуляторних батарей:

$$N = m \cdot n = 5 \cdot 1 = 5 \text{ шт}.$$

Отже, підключивши паралельно 5 таких батарей, загальна напруга батареї буде $U_{\text{заг аб}} = 48 \text{ В}$ і загальна ємність $C_{\text{заг аб}} = 250 \text{ А} \cdot \text{год}$.

Час t роботи вентиляторної установки в похмуру погоду від інвертора при половинному розряді акумуляторної батареї складає:

$$t = \frac{0,5 C_{\text{заг аб}} \cdot U_{\text{заг аб}}}{P_{\text{н}}} = \frac{0,5 \cdot 250 \cdot 48}{755} = 7,95 \text{ год};$$

Можемо зробити висновок, що обрана ємність достатня для стабільної роботи приводу в погані погодні умови.

Для розрахунку інвертора використовуємо коефіцієнт запасу $k_z = 1,3$ ми отримаємо необхідну мінімальну потужність – $1007,5 \text{ Вт}$.

Обираємо трифазний інвертор типу MultiPlus 48/9 – 380, параметри якого наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Параметри трифазного інвертора MultiPlus 48/9 – 400В

Параметри	
Вхідна напруга	38-66 В
Вихідна напруга	380 - 400В $\pm 2\%$
Форма вихідної напруги	синусоїда
Потужність	7200 Вт
Максимальна потужність	22500 Вт
ККД	94 %

Для автоматизації СЕС подвокоординатній системі наведення сонячних панелей на сонце за рахунок встановлення трекера, який забезпечує добове відслідковування положення Сонця та орієнтацію панелей на область неба з максимальною яскравістю, рис. 2.

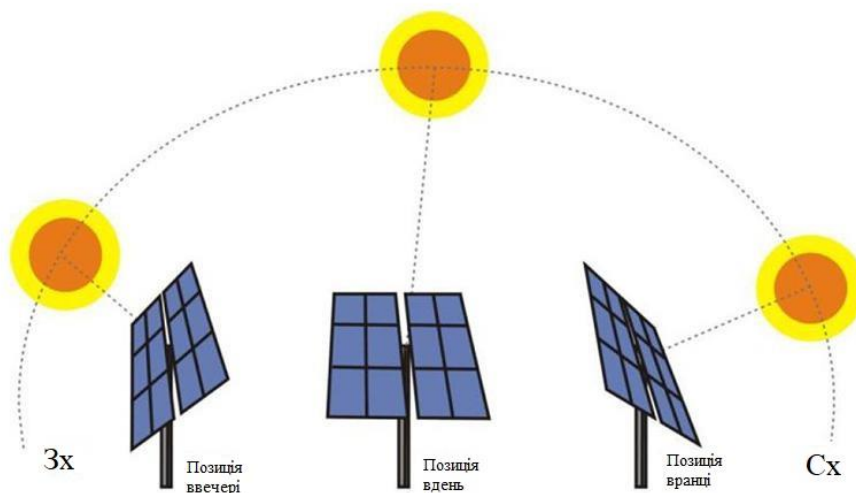


Рисунок 2 – Загальна схема наведення сонячних панелей на сонце

Для досягнення максимальної генерації електричної енергії, освітленість сонячної батареї повинна бути максимальною, а втрати через відзеркалення - мінімальними. Щоденний кут зміни положення Сонця складає близько 150 градусів. Нерухома панель, розміщена точно на південь, втрачає до 75% видобутку в ранкові і вечірні години. Цю енергію можна зібрати, встановивши панелі на пристрої відслідковування. Якщо, додатково, врахувати сезонну зміну висоти Сонця, то можна виграти ще 8,3% в порівнянні з фіксованим оптимальним кутом нахилу[4].

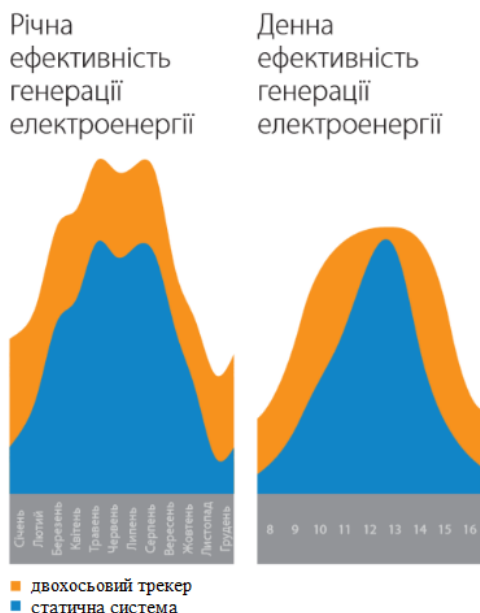


Рисунок 3 – Графіки ефективності генерації електроенергії з двоохосьовим трекером в порівнянні з статичною системою

Системи трекерногоуправління складаються з електромеханічних приводів, блока управління і програмного забезпечення. Датчик сонячної іррадіації, по певному алгоритму,

сканує небо, знаходить найбільш енергонасичену область і передає координати системі управління трекером.

В випадку сильних вітрових навантажень, система переводить площину фотопанелей в положення флюгування (найменший опір повітряному потоку).

На рис.4 приведено графік залежності втрат енергії сонячним модулем при відхиленні кута від оптимального.

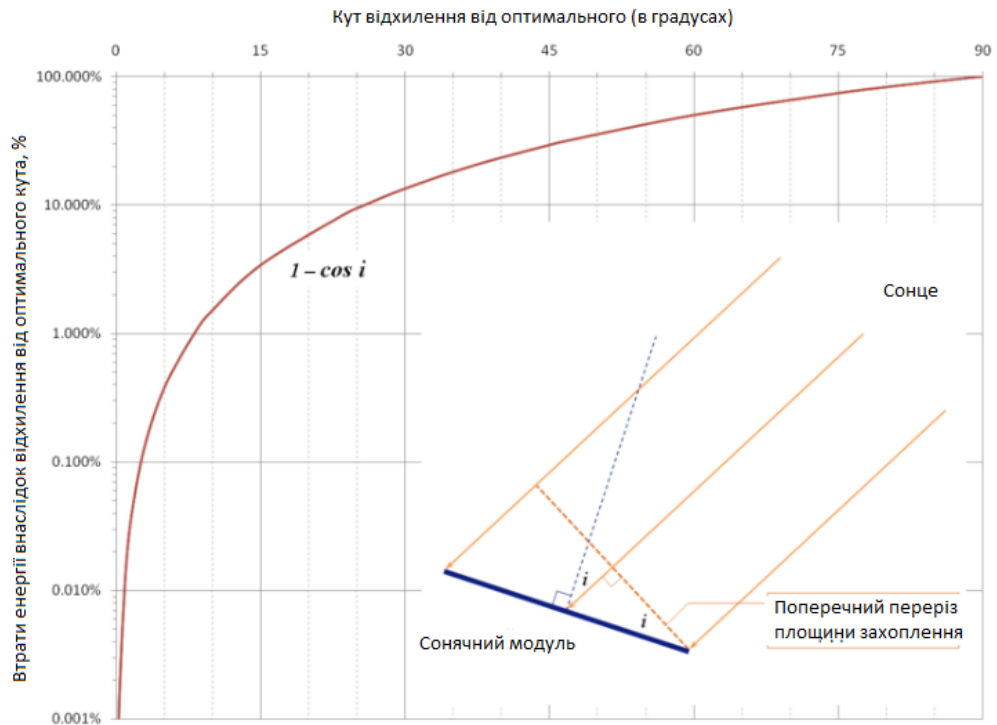


Рисунок 4 – Графік залежності втрати енергії сонячним модулем від відхилення кута від оптимального

Для вибраного сонячного трекера двохосового типу AS Sunflower 20 технічні дані наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Параметри сонячного трекера AS Sunflower 20

Номінальна встановлена потужність, кВт	5,4
Максимальна площа розміщених модулів, м ²	32,7
Максимальні розміри розміщення модулів(ширина x висота), м	6,6 x 5,0
Азимут кута обертання	±120°
Зенітний кут обертання	0° - 70°
Висота колони(мін./макс.), м	2,18/4,28

Приблизні показники щорічного власного споживання, кВт год/рік	20
Робоча напруга	100-260 В змінного струму, 50-60 Гц
Робоча потужність двигунів	100 Вт
Алгоритм роботи	за астрономічним календарем або по датчику

Активна система управління складається з комплексного датчика сонячної інсоляції і блоку управління трекером. Датчик знаходить точку максимальної потужності сонячної енергії, враховуючи розсіяне і відбите світло. Датчик сонячної інсоляції передає сигнал на блок управління за допомогою бездротової технології і потім встановлює трекер в оптимальне положення.

Сонячний трекер Sunflower 20 являє собою рухливу кріпильну систему для фотоелектричних панелей. Пристрій відноситься до двовісного типу динамічних конструкцій. Він дозволяє використовувати світлову енергію максимально ефективно, виробляти електроенергії на 30-40% більше.

Враховуючи розраховану добову кількість енергії в серпні для обраної сонячної панелі TrinaSolar TSM-DE17M, а саме $W = 1050,75$ Вт · год, і кількості сонячних панелей $n = 6$, розраховуємо значення $W_{\text{заг стат}}$ генерації електроенергії СЕС в статичному стані та з двохосьовим трекером $W_{\text{заг з трекером}}$:

$$W_{\text{заг стат}} = W \cdot n = 1050,75 \cdot 6 = 6304,5 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{\text{заг з трекером}} = 1,35 \cdot W \cdot n = 1,35 \cdot 1050,75 \cdot 6 = 8511,075 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

По результатах розрахунків при використанні трекерного управління збільшується генерації електроенергії СЕС на 2 кВт·год за добу, тобто на 35%.

На рис. 5 зображена функціональна схема двокоординатної системи наведення сонячних панелей, на якій зроблені позначення: KB1÷KB4 – кінцеві вимикачі, ДПС1, ДПС2 – датчики положення Сонця.

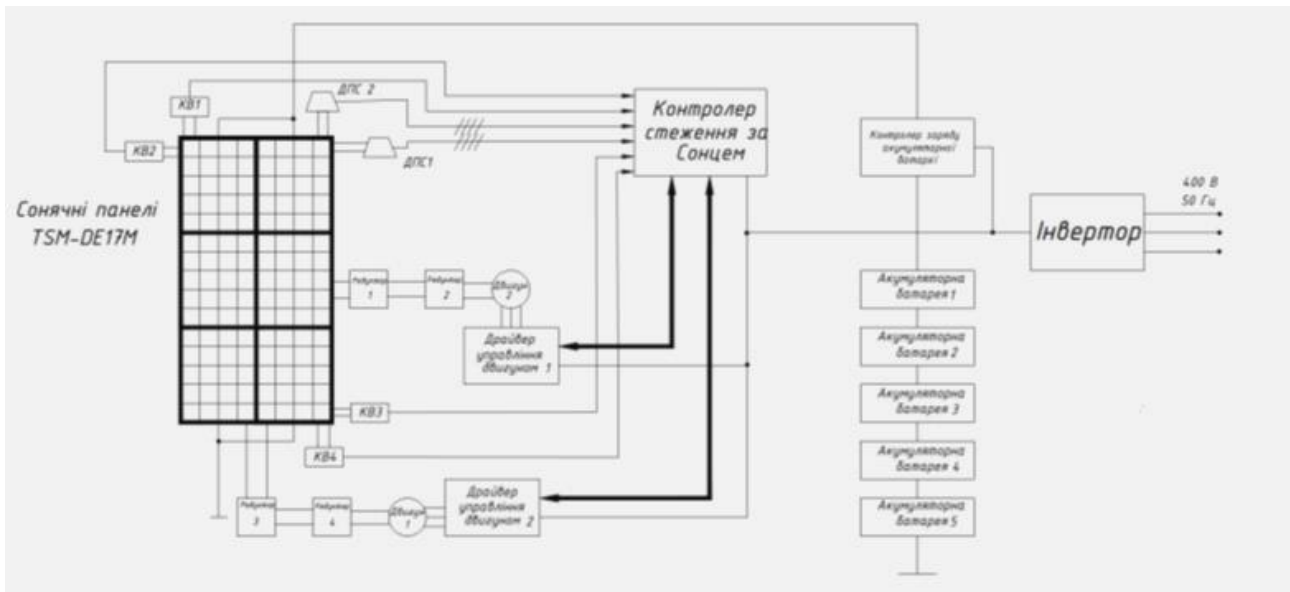


Рисунок 5 – Функціональна схема двокоординатної системи наведення сонячних панелей

Висновки

Обрана і розглянута система автоматизації СЕСз шести панелей на основі двохосьового відслідковування положення сонця, дозволяє збільшити генерацію електроенергії на 30-40%, що за добу становить 2,2 кВт•год. Це дозволить зменшити кількість панелей для забезпечення електричною енергією.

Джерела інформації

1. Л.С. Стерман, С.А. Тевлин, А.Т. Шарков. Тепловые и атомные электростанции: Учебник для вузов – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Энергоиздат, 1982. – 456 с.
2. Данные солнечной инсоляции для городов Украины [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://solar-tech.com.ua/fannye-solnechnoi-insolyacii-dlya-gorodov-ukrainy-2013-06-09.html>.
3. Каталог продукції фірми «ECO TECH UKRAINE» URL: <https://eco-tech.com.ua/>
4. Солнечный трекер — динамические системы монтажа солнечных панелей [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://teplodom.net.ua/oborudovanie/sistemy-kreplenij/solnechnyj-treker/>.

Керівник Дубовик В.Г.

УДК 621.316

Возний І. О.

Кафедра автоматизації електротехнічних і мехатронних комплексів

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МАГІСТРАЛЬНОГО КОНВЕЄРА ПОВЕРХНЕВОГО КОМПЛЕКСУ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ

Анотація. В даній статті розглядаються питання зменшення енергоспоживання електропривода стрічкового конвеєра, збільшення термінів експлуатації його рухомих, шляхом автоматичного регулювання швидкості руху стрічки з виконанням моделювання режимів роботи в середовищі Matlab. Була використана система електроприводу ПЧ-АД з ПІД - регулятором швидкості та контролем завантаженості конвеєра.

Ключові слова: регульований електропривід, ПІД-регулятор швидкості, моделювання режимів роботи стрічкового конвеєру.

AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF THE MAIN CONVEYOR OF THE SURFACE COMPLEX OF THE COAL MINE

Abstract. This article considers the issues of reducing the power consumption of the electric drivebeltconveyor, increasing the service life of the moving parts of this conveyor by automatic speed regulation of the belts speed and modeling modes of operation in the Matlab environment. To achieve these goals, an inverter system with a PID speed controller and conveyor load control was used.

Key words: adjustable electric drive, PID speed regulator, modeling of the belt conveyor operating modes.

Вступ. Стрічковий конвеєр при транспортуванні насипного вантажу, як показує практика, часто буває навантаженим нижче номінального значення, що приводить до зайвих витрат на електроенергію та швидшого зносу рухомих частин конвеєра, і в наслідок, до підвищення собівартості транспортуючого вантажу.

Ця проблема вирішується регулюванням швидкості конвеєра за рахунок контролю навантаження стрічки.

Мета та завдання дослідження. Змоделювати режими роботи стрічкового конвеєра з автоматизованою системою керування швидкістю в середовищі Matlab-Simulink та порівняти характеристики електроспоживання автоматизованого електроприводу з неавтоматизованим.

Матеріали дослідження. Об'єктом дослідження є стрічковий конвеєр з продуктивністю $Q = 700$ т/год, довжиною $L = 1000$ м, шириною стрічки $B = 1000$ мм та швидкістю стрічки $v = 2$ м/с з приводним асинхронним двигуном потужністю 315 кВт, синхронною швидкістю $n_1 = 1500$ об/хв.

При побудові комп'ютерної моделі автоматизованої системи керування конвеєрною установкою була використана комп'ютерна програма MATLAB.

Для побудови силової та управляючої частин у більшій мірі був використаний пакет MATLAB-Simulink-SimScare [1]. Імітаційна модель стрічкового конвеєра представлена на рис. 1.

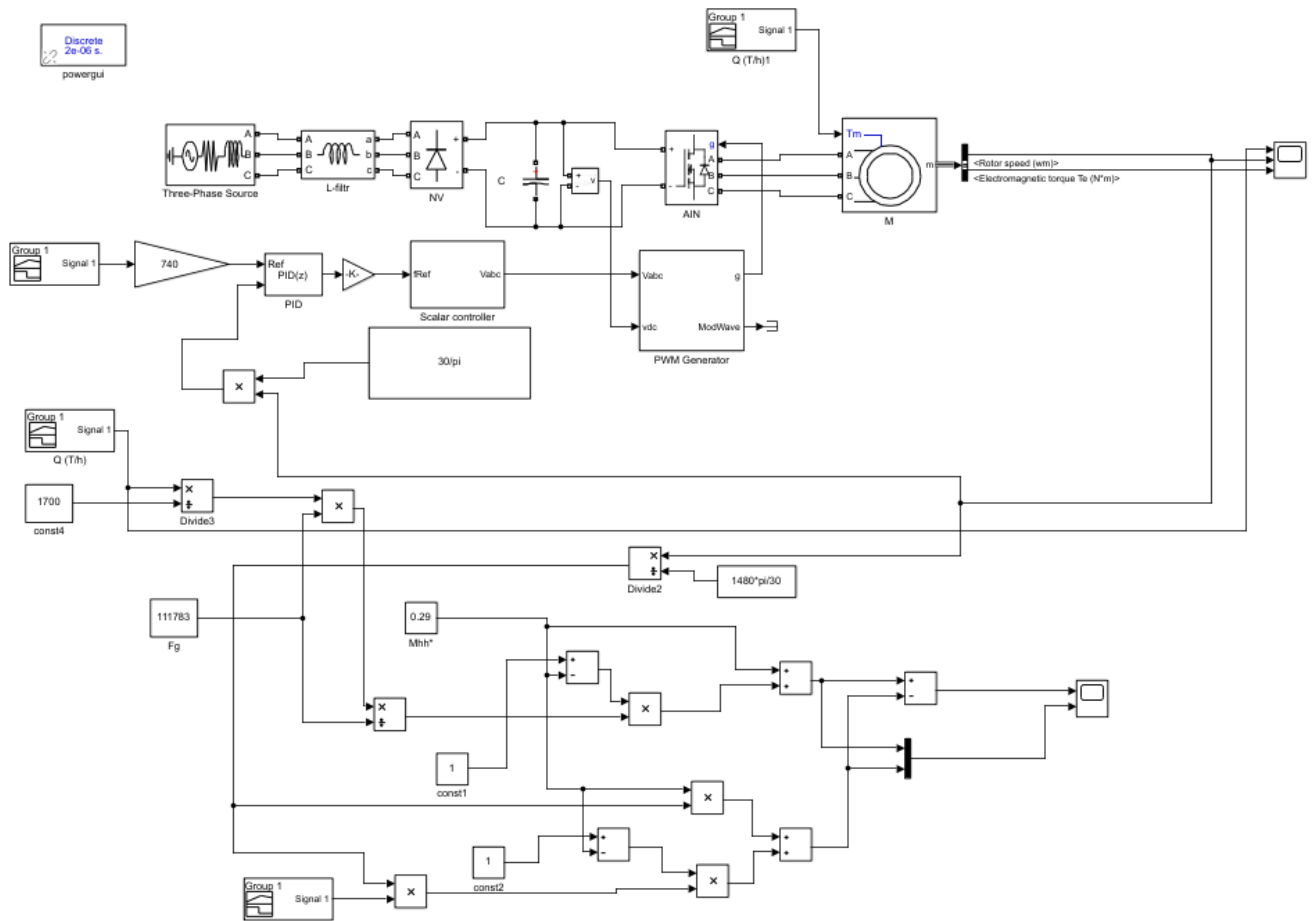


Рисунок 1 – Імітаційна модель конверера

Елементи силової частини:

- Three-Phase Source – мережа трифазної змінної напруги;
- L-filtr – фільтр електромагнітної сумісності (ЕМС);
- NV – некерований випрямляч на діодах;
- C-filtr – фільтр в ланці постійного струму;
- AIN – автономний інвертор на IGBT-транзисторах;
- M – асинхронний двигун з короткозамкненим ротором.

Керуюча частина:

- PID – ПІД-регулятор швидкості;
- Scalar controller – контролер, що реалізує скалярний закон керування $U/f=const$;
- PWM Generator – широтно-імпульсний перетворювач.

Для визначення нераціональної витрати електроенергії використовуються обчислювачі [2].

Момент на валу приводного двигуна конверера

$$M = \frac{FR}{i_p \eta_p}$$

де R – радіус барабана; F – зусилля на приводному барабані; $i_p \eta_p$ – відповідно передаточний коефіцієнт та ККД редуктора.

Зусилля на барабані має дві складові

$$F = F_\Gamma + F_x,$$

де F_Γ – зусилля, необхідне для переміщення вантажу; F_x – зусилля, затрачуване на переміщення стрічки конвеєра.

Коли вантаж на конвеєрі відсутній, двигун розвиває момент холостого ходу

$$M_x = \frac{F_x R}{i_p \eta_{px}},$$

де η_{px} – ККД редуктора, що відповідає зусиллю F_x .

З огляду на властивості механічних передач, залежність моменту на валу двигуна від зусилля на барабані

$$M_* = M_{x*} + (1 - M_{x*})F_{\Gamma*},$$

$$\text{де } M_* = \frac{M}{M_H}; M_{x*} = \frac{M_x}{M_H}; F_{\Gamma*} = \frac{F_\Gamma}{F_{\Gamma H}};$$

M_H – номінальний момент на валу двигуна, необхідний для переміщення стрічки та номінального вантажу при номінальній швидкості; $F_{\Gamma H}$ – складова зусилля F у тяговому органі конвеєра, що виникає за рахунок переміщення лише номінального корисного вантажу.

Складова F_Γ тягового зусилля й швидкість V переміщення стрічки конвеєра визначають його продуктивність:

$$Q_* = F_* V_*,$$

де $Q_* = \frac{Q}{Q_H}$; Q_H – номінальна продуктивність конвеєра; $V_* = \frac{V}{V_H}$; V_H й V – відповідно, номінальна й фактична швидкості руху стрічки.

При постійній номінальній швидкості конвеєра ($V_* = 1$)

$$Q_* = F_*,$$

потужність, що розвивається двигуном на валу:

$$P_* = M_* \omega_* = M_{x*} + (1 - M_{x*})Q_*,$$

де $P_* = \frac{P}{P_H}$; $\omega_* = \frac{\omega}{\omega_H} = 1$; P_H, ω_H – номінальна потужність та кутова швидкість двигуна

Потужність на валу двигуна з регулюванням швидкості V_*

$$P'_* = M_* \omega_* = [M_{x*} + (1 - M_{x*})]Q_*,$$

де $Q_* = F_{\Gamma*} V_*$; $F_{\Gamma*} = 1$

В результаті моделювання отримаємо характеристики зображені на рис.2.

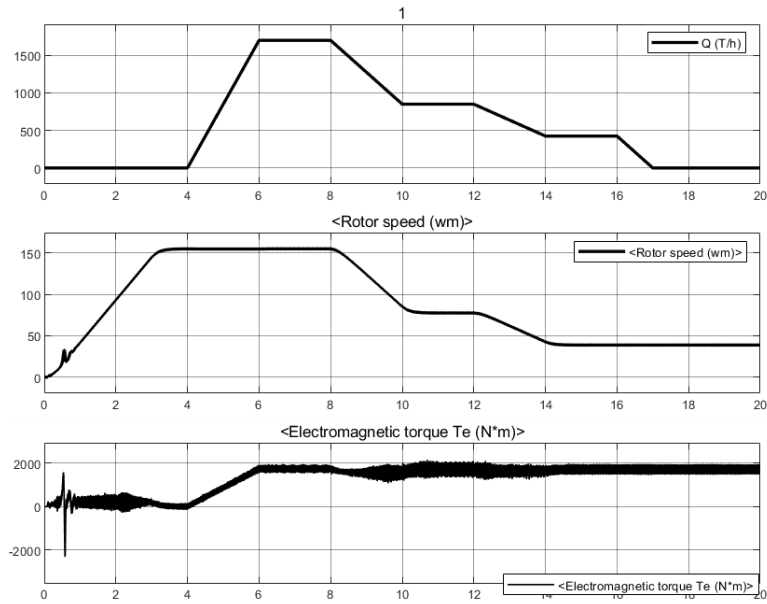


Рисунок 2 – Механічні та навантажувальні характеристики стрічкового конвеєра

Нижня характеристика показує можливість підтримки постійного навантаження на стрічковому конвеєрі за рахунок регулювання швидкості відносно вантажопотоку

На рис. 3 зображено часові графіки зміни потужності в регульованому P^* та нерегульованому P^* електроприводах.

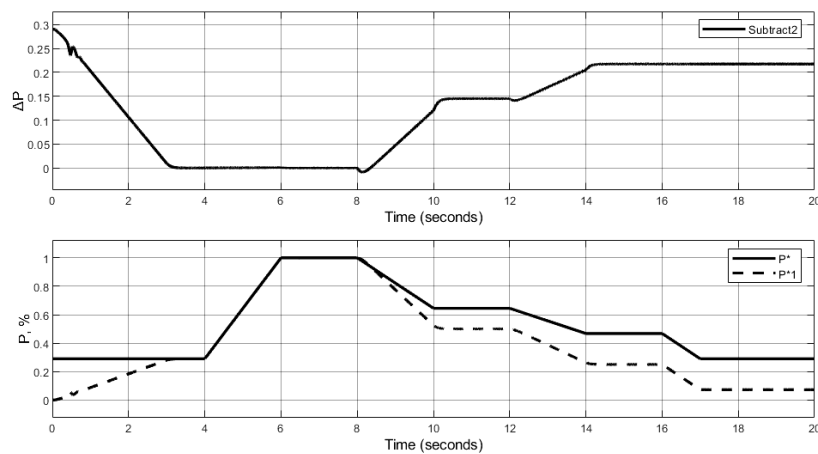


Рисунок 3 – Часові графіки споживання активної потужності

На верхньому графіку рис. 3 зображено різниця споживаної потужності при регульованому та нерегульованому приводах.

У приведеній віртуальній моделі при холостому ході швидкість стрічки дорівнює $0.25 \cdot V_n$, тому не вдається отримати максимальну економію електроенергії.

Висновок. Віртуальна модель стрічкового конвеєру з регулюванням швидкості відносно вантажопотоку дає можливість побачити, як зміна вхідних параметрів впливає на роботу електроприводу, оцінити можливість зменшення електроспоживання та дослідження

різних режимів роботи. Регулювання швидкості не тільки зменшує електроспоживання, але і збільшує термін експлуатації рухомих частин конвеєра. Вхідні параметри, такі як, продуктивність, швидкість конвеєра, потужність електроприводу можна налаштовувати у відповідних блоках. При врахуванні інших параметрів (нахил, швидкість дії зворотного зв'язку і т. д.) можна отримати більш наближені результати до реальних. Їх введення в дану модель не викликає проблем.

Перелік посилань

1. Герман-Галкін. С. Г. Matlab & Simulink. Проектування мехатронних систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
2. О. М. Закладний. Дистанційний курс «Основи електропривода». Інститут енергозбереження і енергоменеджменту НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського». Київ, 2007. С. 145-149.

УДК 621.3.078

Литвин А.Г.

Кафедра Автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ОПТИМІЗАЦІЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ ЛІФТОВОЇ УСТАНОВКИ

***Анотація.** В результаті проведених досліджень було створено систему керування, що реалізує бажані діаграми швидкості, незалежністю від діючих параметричних і координатних збурень, використовуючи формування керуючого впливу зі змінною структурою.*

***Ключові слова:** автоматизована система керування, енергоефективність, ліфтова установка, динамічні режими.*

***Abstract.** As a result of the research, a control system was created that implements the desired velocity diagrams, independent of the existing parametric and coordinate perturbations, using the formation of a control effect with a variable structure.*

***Key words:** automated control system, energy efficiency, elevator installation, dynamic modes.*

Вступ. У зв'язку з промисловим розвитком і зростаючою сучасністю ліфтові системи стали незамінними в багатьох багатоповерхових будинках. Коли для транспортування людей використовуються електричні ліфти, комфорт їзди стає дуже важливим питанням, особливо коли швидкісні ліфти використовуються у висотних будинках. Системи ліфта повинні забезпечувати хорошу точність зупинки та чудовий рівень комфорту їзди. Пасажири відчують деякі проблеми, які впливають на їх комфорт, наприклад вібрацію та ривки, які виникають під час пересування між поверхами ліфта, особливо під час запуску та зупинки кабіни. Щоб мінімізувати наслідки цих проблем, кабіна повинна управлятися таким чином, щоб забезпечити безперебійну роботу та плавний запуск і зупинку. Тому виникає необхідність контролювати напругу і частота електродвигуна, що приводить в рух кабіну ліфта.

Мета та завдання. Метою робіт є створення систем керування, що реалізують бажані діаграми швидкості, незалежністю від діючих параметричних і координатних збурень, використовуючи формування керуючого впливу зі змінною структурою.

Матеріал та результати дослідження.

У житлових і комерційних будівлях найпоширенішим рішенням для вертикального перевезення пасажирів і вантажів є електричний ліфт. Зокрема, ліфти широко використовуються у всьому світі [2]. Його структура мало змінилася з моменту будівництва перших комерційних ліфтів такого типу.

У той час як системи керування, функції безпеки, ходова здатність, довговічність та економічність знаходяться в постійній еволюції. Висока швидкість транспортування, низький ривок, точне позиціонування, швидке та ефективне керування та обмежена кількість датчиків – усе це вимоги до сучасних пасажирських ліфтів. [3,4].

У сучасних ліфтах особливу увагу потребує комфорт пасажирів. Сьогодні існують ліфти, які досягають номінальної швидкості 18 метрів на секунду, щоб підвищити їх доступність у високих офісних будівлях з високою частотою руху. У цих ліфтах спостерігається висока вібрація під час їх руху, а при запуску та зупинці відбувається сильний ривок, який може

викликати дискомфорт у пасажирів, а також вони впливають на продуктивність електричної та механічної підсистеми, а також знижують термін служби системи.

Існують особливі вимоги, яким повинні відповідати приводи зі змінною швидкістю під час керування ліфтом, наприклад:

1. Комфорт під час їзди: рух кабіни ліфта повинен бути плавним, в межах значень прискорення та ривка. Значення ривка м'якості та комфорту їзди особливо важливо і це представляє швидкість зміни прискорення.

2. Пуск і зупинка. Системи ліфтів відомі своєю великою кількістю операцій запуску та зупинки, при цьому деяким системам потрібно до 240 запусків щогодини. Особливі умови вводяться в результаті кількості тепла, що виробляється електродвигуном.

3. Точність рівня. Висока точність потрібна при кожній зупинці, робота кабіни ліфта може досягати 1-2 мм.

4. Зворотній зв'язок щодо швидкості. Сучасні системи зазвичай повинні використовувати зворотний зв'язок положення та швидкості, щоб забезпечити ефективний контроль швидкості, комфорт їзди та точне вирівнювання.

5. Електричне гальмування. Для точного контролю швидкості ліфта електричне гальмування має бути інтегровано в систему водіння. Існує багато способів, які можна використовувати для гальмівних систем ліфтів.

Для забезпечення необхідної точності реалізації заданого режиму з високою точністю (особливо в позиційних електроприводах) необхідним є створення систем керування, що реалізують бажані діаграми швидкості, незалежністю від діючих параметричних і координатних збурень. Для вирішення даного завдання найбільш ефективно використовувати формування керуючого впливу зі змінною структурою [1].

На рис. 1 представлена структурна схема системи керування електроприводом будь-якого типу із замкнутими контурами швидкості та положення і нелінійним каналом керування.

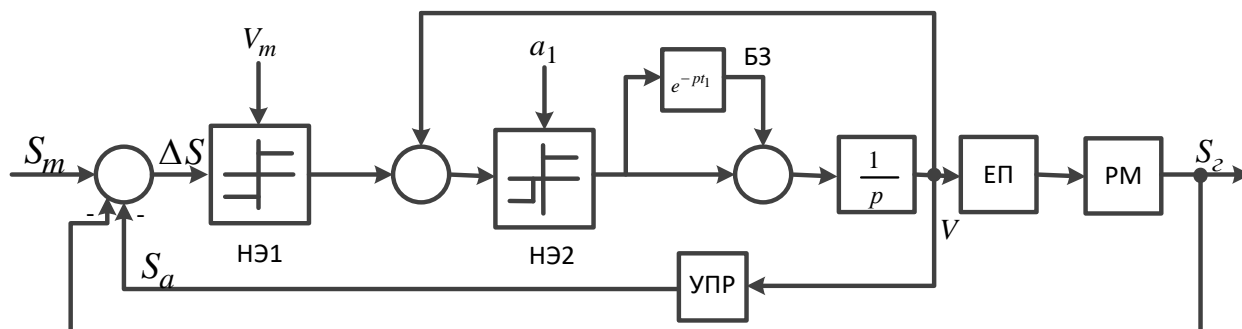


Рисунок 1 – Структурна схема системи керування позиційним електроприводом

На малюнку позначено: S_m і S - відповідно задане й поточне значення положення робочого органу механізму; HE1 і HE2 – нелінійні елементи, що обмежують задані максимальні значення швидкості V_m та прискорення a_1 ; БЗ – блок запізнювання на час t_1 ; ЕП - передатна функція замкнутої по швидкості системи електропривода; РМ - робочий механізм із одним пружним зв'язком; ППР – пристрій перемикання режиму роботи системи, що разом з БЗ формує двоступінчаста зміна рушійного моменту (прискорення).

Заданими величинами є: максимальна швидкість, що обмежується $V_{m.o}$, прискорення a_m , що обмежується, прискорення першого щабля $a_1 = a_m/2$; час дії першого щабля прискорення t_1 ; швидкість у момент переходу прискорення з першого на другий щабель V_a . Зона нечутливості НЕ2 дорівнює V_a . Швидкість, що обмежується $V_m \leq V_{m.o}$, визначається залежно від значення заданого положення механізму S_m .

Визначення швидкості V_m залежить від граничного положення $S_{m.г} = 8V_a^2/a_m$:

$$V_m = \begin{cases} (V_a^2 + a_m S_m) - V_a & \text{при } S_m \geq S_{m.г}; \\ (0,5 a_m S_m)^{1/2} & \text{при } S_m < S_{m.г}. \end{cases} \quad (1)$$

Структурна схема алгоритму функціонування керуючого каналу з вихідним сигналом S_a наведена на рис. 2.

Якщо розглядати коливання переміщення робочого органу відносно кутового переміщення валу двигуна, то пружний момент M_y визначиться стосовно рушійного моменту з вираження в операторній формі

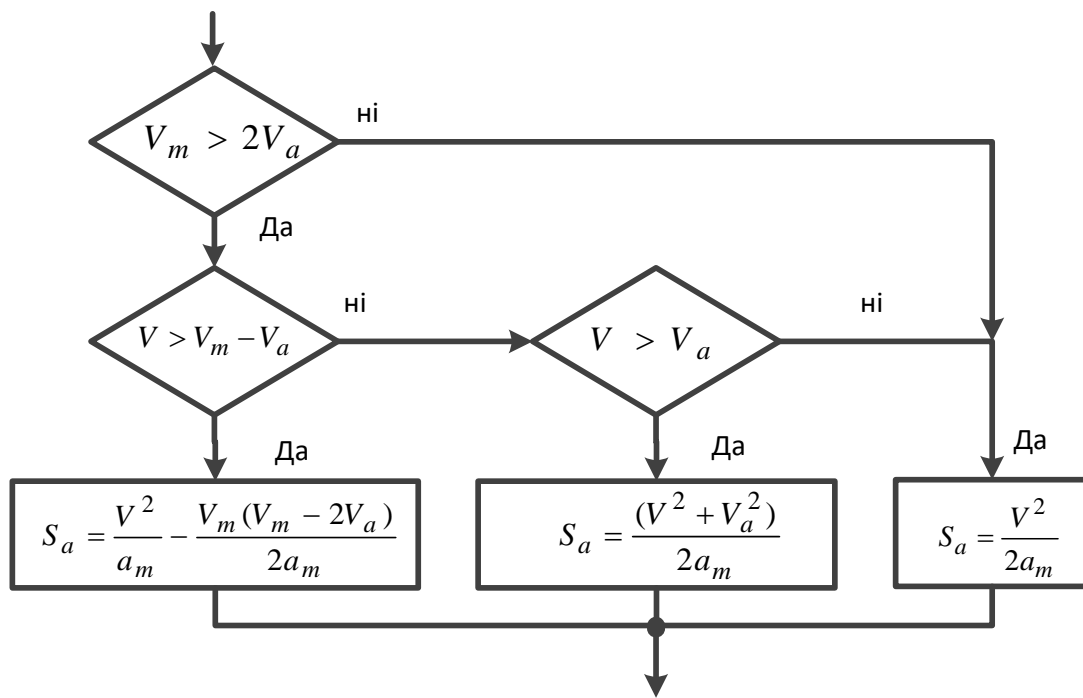


Рисунок 2 – Структурна схема алгоритму функціонування каналу керування

$$M_y(p) = M_{дв}(p) \frac{C_y}{p^2 + \mu \omega_y^2 p + \omega_y^2}, \quad (2)$$

де $\omega_y = \sqrt{C_y/J_2}$ - частота вільних коливань робочого органу механізму;

μ - коефіцієнт затухання коливань;

$t_1 = \pi/\omega_y$ - час запізнювання.

Відповідно до рис. 1 і 2 була синтезована SIMULINK-модель системи керування при $S_m = 100$; $V_m = 10$; $V_a = 2$; $t_1 = 2$ з; $C_y = 56$; $\omega_y = 1,57$. Графіки зміни швидкості V , прискорення a_1 (динамічного моменту) і пружного моменту M_y представлені на рис. 3.

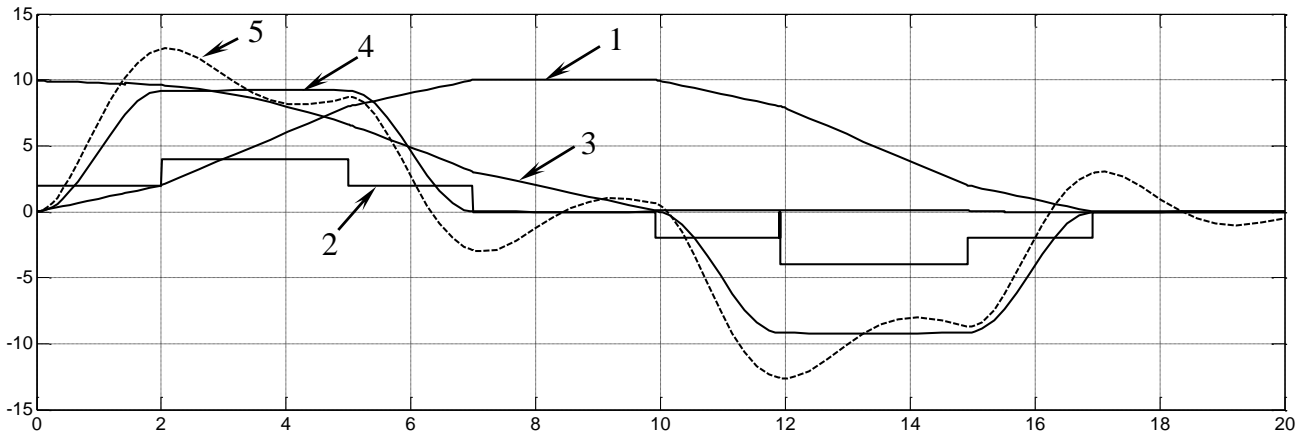


Рисунок 3 –Графіки перехідних процесів: 1,2,3,4 – відповідно швидкість, прискорення, помилка регулювання, пружний момент в оптимальному режимі; 5 – пружний момент при неоптимальному режимі (одноступінчастий рушійний момент).

Висновки: Використання змінної структури в каналі керування забезпечує заданий режим позиціонування електропривода та відсутність пружних коливальних процесів у робочому механізмі.

Перелік посилань:

1. Чермалих О.В., Данілін О.В., Босак А.В.. Оптимізація динамічних режимів шахтної підйомної установки. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2017. № 3. С. 97–101.
2. Kang, J. K., & Sul, S. K. Vertical-vibration control of elevator using estimated car acceleration feedback compensation. *IEEE Transactions on industrial electronics*. 2000. Vol. 47(1). P. 91- 99.
3. Yu, J. S., Kim, S. H., Lee, B. K., Won, C. Y., & Hur, J. Fuzzy-logic-based vector control scheme for permanent-magnet synchronous motors in elevator drive applications. *IEEE transactions on Industrial Electronics*. 2007. Vol. 54(4). P. 2190-2200/

Науковий керівник к.т.н., доц. Босак А.В.

УДК 621.3.078

Виваль П.В.

Кафедра Автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ЛІТАКА

Анотація. В результаті проведених досліджень було змодельована система оптимізованого керування вентиляцією літака з розробкою математичної моделі вентиляційних процесів, що в свою чергу, сприяє створенню рівномірного температурного поля в кабіні та перешкоджає утворенню застійних зон.

Ключові слова: система вентиляції, літак, оптимізація.

Abstract. As a result of the research, the system of optimized control of aircraft ventilation was modeled with the development of a mathematical model of ventilation processes, which in turn contributes to the creation of a uniform temperature field in the cockpit and prevents the formation of stagnant zones.

Key words: ventilation system, aircraft, optimization.

Вступ. Одним із основних показників комфорту пасажирських літаків є якість вентиляційного процесу. Повітря в кабінах не повинно містити шкідливих домішок та речовин. Правильно організована вентиляція сприяє створенню рівномірного температурного поля в кабіні та перешкоджає утворенню застійних зон. На літаках вентиляція здійснюється шляхом безперервного підведення свіжого повітря, що забирається з атмосфери, і скидання відпрацьованого з кабіни через регулятор тиску в атмосферу.

Мета та завдання. Метою робіт є створення ефективної системи кондиціонування повітря з розробкою методів математичного моделювання вентиляційних процесів у кабіні літака, та за їх результатами видача рекомендацій щодо розміщення вентиляційних (розподільчих) коробів та параметрів вентиляційного повітря ще на етапі попереднього проектування вентиляційної системи.

Матеріал та результати дослідження.

Система екологічного контролю (ECS) — це загальний термін, який використовується в авіаційній промисловості для системи та обладнання, пов'язаний з вентиляцією, опаленням, охолодженням, вологістю або контролем забруднення і тиском. Внутрішнє середовище в літаках має забезпечувати безпеку та тепловий комфорт для пасажирів, а також для підтримки їхніх основних фізичних потреб.

Загальний вигляд кабіни літака представлена на рис.1. :

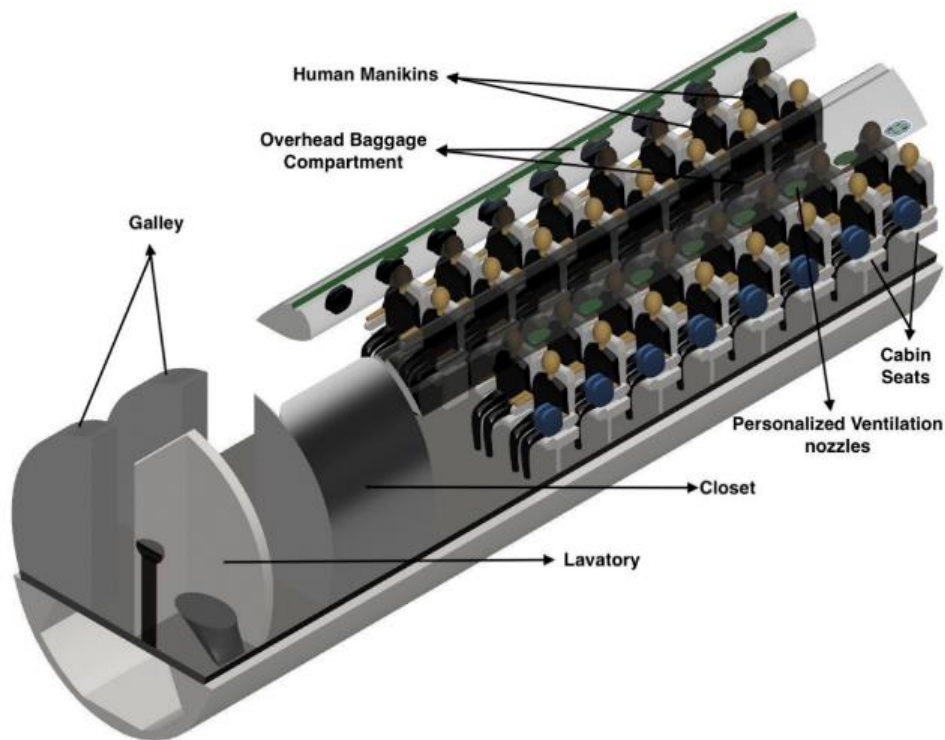


Рисунок 1 – Загальний вигляд кабіни літака

У верхній зоні накопичується дим та інші забруднювачі, що виділяються пасажирів. Оскільки в салоні літака визначено дві зони, нижня зона відносно вільна забруднювачами, і це область, що знаходиться поблизу підлоги кабіни. Для видалення повітря, забрудненого димом і метаболічними видихами пасажирів, і до підтримувати стабільний потік повітря в салоні, використовуються наступні методи:

- розподіл припливного повітря в салоні, проте запобігання забрудненню від змішування з рештою повітря в салоні
- відведення забрудненого повітря з верхньої зони за допомогою першого витяжного отвору та транспортування його через перший витяжний канал переважно за борт (трестороннім клапаном)
- відведення відносно чистого повітря з нижньої зони за допомогою другого витяжного отвору і транспортування його через другий витяжний канал повністю до рециркуляційного вентилятора

На рисунку 2 зображені контурні графіки розподілу температури в кабіні біля людей. Температура була більш підвищеною між людьми у вікні та сидінні біля проходу при оптимальному діапазоні температур від 19°C до 27°C (відповідно до вимог правил FAR).

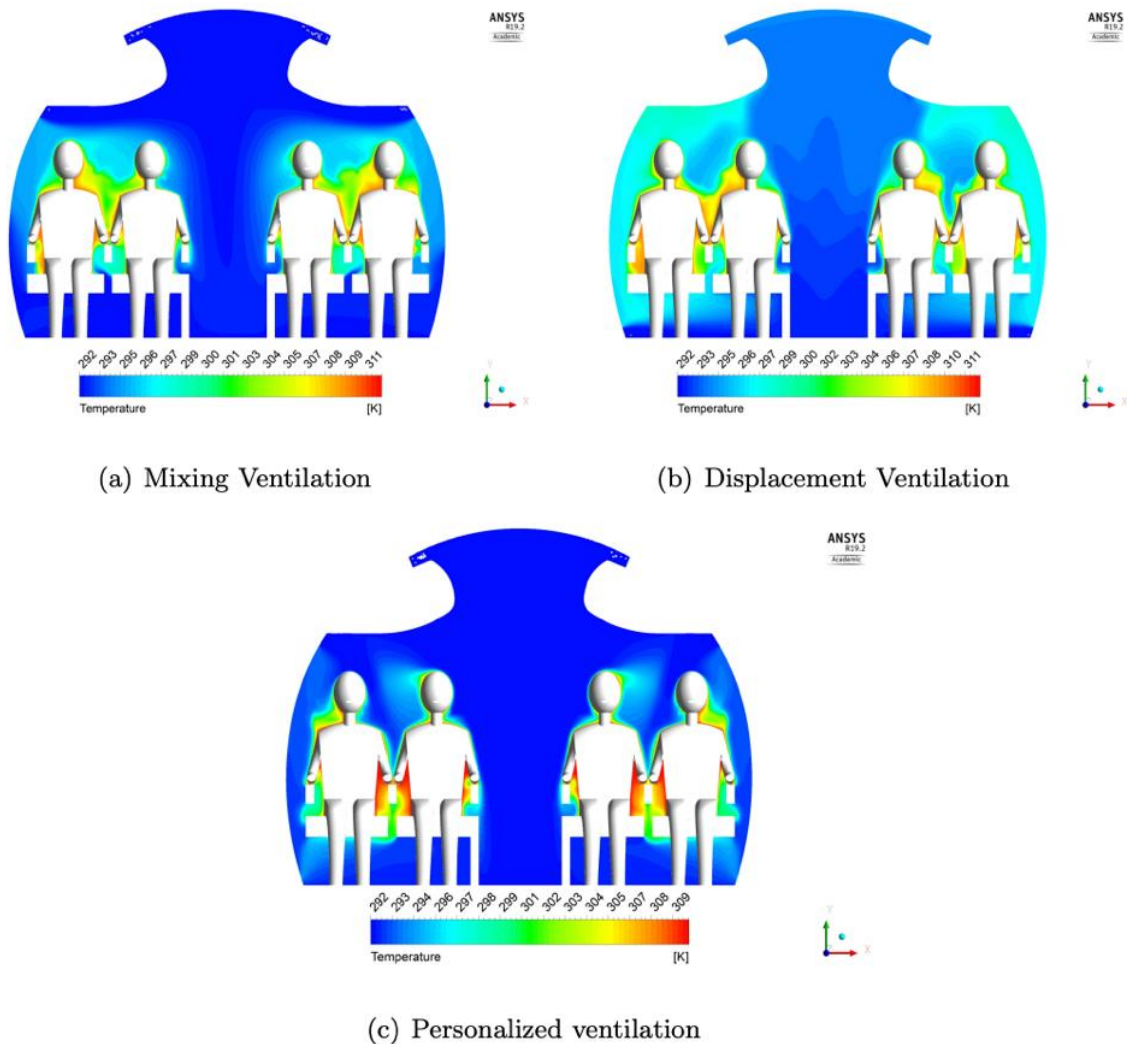


Рисунок 2 – Графіки температурного контуру трьох різних систем вентиляції

На рис.3 зображено рівень CO₂ в салоні у всіх трьох системах вентиляції. Персоналізована система вентиляції мала нижчий рівень розподілу CO₂ у вікнах і проходах сидіння в порівнянні з іншими системами. Максимум рівень CO₂ 130 ppm був досягнутий у вікнах та місцях у проході для персоналізованих системи вентиляції. У змішувальній вентиляційній системі вищий рівень CO₂ 475 ppm і 380 ppm було досягнуто у вікні та біля проходу відповідно біля зони дихання. Рівні CO₂ були досить однаковими від голови до стегон у вікні та проході сидіння людей для персоналізованих систем вентиляції. Для всіх систем вентиляції в коридорі проходу, рівень CO₂ був нижчим із зоною хорошого дихання. Крім того, рівень CO₂, розташований нижче зони ручної поклажі, досяг максимального значення 1500 ppm для системи вентиляції зміщення у віконному сидінні.

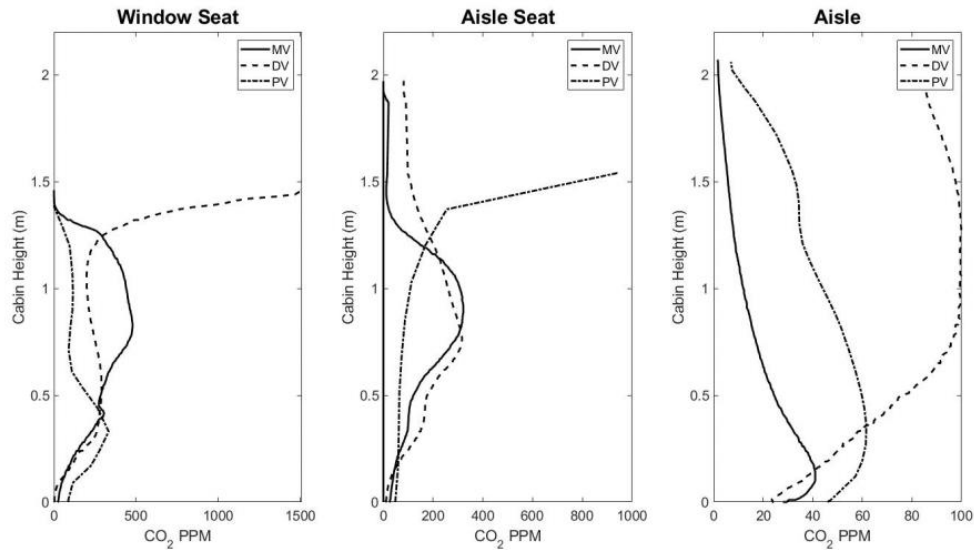


Рисунок 3 – Рівень CO₂ ppm в салоні біля людей у різних положеннях

Висновки.

Це дослідження було спрямоване на оцінку ефективності трьох різних вентиляційних систем на основі параметрів теплового комфорту, таких як PMV і PPD, концентрації вуглекислого газу та ефективність тепловідведення, а також дослідження транспортування забруднювачів з використанням індикаторного газу (CO₂) для аналізу збудника вірусу шлях та ризик зараження для інших мешканців.

Перелік посилань.

1. Guggenheim S. 20 year Passenger forecast); 2018. The International Air Transport Association (IATA).
2. Council NR. The Airliner Cabin Environment: Air Quality and Safety. The National Academies Press, Washington, DC; 1986.
3. Mangili GMA A. Transmission of infectious diseases during commercial air travel. Lancet. 2005;Volume 365:Pg 989–96.
4. Kuhn M, Bosbach J, Wagner C. Experimental parametric study of forced and mixed convection in a passenger aircraft cabin mock-up. Building and Environment. 2009;44(5):961 – 970. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132308001625>.
5. Zhang Z, Chen X, Mazumdar S, Zhang T, Chen Q. Experimental and numerical investigation of airflow and contaminant transport in an airliner cabin mockup. Building and Environment. 2009;44(1):85 – 94. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013230800022X>.

Науковий керівник к.т.н., доц. Босак А.В.

Харкевич Р.В., магістрант
кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВОДОВІДЛИВУ ДЛЯ ГЕОТЕХНІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Проведено аналіз сучасного стану проектування водовідливних установок кар'єру, методів зниження енергоспоживання насосних установок кар'єру. Запропонована інтелектуальна автоматизована система управління водовідливною установкою на базі нечіткої логіки.

Ключові слова: Енергозбереження, водовідливна установка, система управління, нечітка логіка.

Kharkevich R. V.

INTELLECTUAL AUTOMATED WATER SUPPLY SYSTEM FOR GEOTECHNICAL ENTERPRISES

An analysis of the current state of design of quarry drainage systems, methods of reducing energy consumption of pumping quarries. A drainage system control system based on fuzzy logic is proposed.

Keywords: Energy saving, frequency control, control system, fuzzy logic.

Вступ

Системи кар'єрного водовідливу є невід'ємним та енергоємним технологічним процесом при видобутку корисної копалини, які забезпечують ефективну роботу гірничого підприємства. Ефективність схем водовідливу кар'єрів в період їх будівництва і експлуатації встановлюється відповідними технічними і гідрогеологічними розрахунками за критерієм відповідності продуктивності насосів і максимального розрахункового добового припливу дощових і підземних вод. На відміну від шахтного водовідливу, де основним припливом є підземні води, робота кар'єрного водовідливу значну роль відіграють атмосферні опади [1,2,3]. Однією з причин високої енергоємності шахтного водовідливу є забрудненість шахтної води механічними домішками у вигляді вугільного і порідного просипу, вміст якої досягає 10-20% по об'єму рідини, що перекачується. Підвищення енергетичної ефективності систем шахтного водовідливу безпосередньо пов'язане з необхідністю застосування на видобувних горизонтах та ділянках пристроїв для видалення з шахтної води твердої складової. Така технологія шахтного водовідливу дозволяє зменшити величину необхідного напору насосних агрегатів, сприяє підвищенню надійності експлуатації обладнання та трубопроводів та їх робочого ресурсу. При відкачуванні кар'єрної води дуже важливо визначити ємність водозбірників, місця їх розташування і кількість насосних агрегатів. Використовувати дуже великі водозбірники, а також допускати відкачування кар'єрної води в резервуар не вигідно з точки зору капітальних витрат. У разі невеликої ємності водозбірника значно ускладнюється експлуатація насосної установки через те, що доводиться робити велику кількість включень насосів. Так як насосні установки кар'єрів обладнані асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором, то чим більше потужність електродвигуна насосу, тим менше його включень допускається протягом певного часу.

На цей час автоматичні системи керування більшої станцій кар'єрного водовідливу працюють за таким алгоритмом: при досягненні певного рівня рідини в водозбірнику включають один насосний агрегат; якщо рівень води в водозбірнику продовжує зростати і досягає проміжної позначки, то в роботу включається ще один насос і т. ін. Через певний час, коли вода з водозбірника повністю відкачується, насосні установки вимикаються. Така система призводить до нераціонального використання електроенергії, і в певних ситуаціях, до надміру частого включення або занадто тривалої роботи насосних агрегатів, а також застою води в резервуарі.

Постановка задачі

Розглянемо модель водовідливної насосної установки з водозбірником і максимально допустимим в ньому рівнем води h_{\max} , а також: кількість напірних трубопроводів J ; кількість ідентичних за характеристиками насосних агрегатів, які можуть бути підключені для відкачування води $I_{j\max}$ на j напірному трубопроводі- $j \in J$; обсяг води, що надходить у водозбірник $Q_{\text{пр}}(t)$, при $t \in T$;

Необхідно скласти такий графік включення насосних агрегатів. $I_j(t)$, щоб $I_j(t) \leq I_{j\max}$, $j \in J$, $t \in T$ для мінімізації сумарних витрат електроенергії по всіх насосних агрегатах:

$$N_{\text{заг}} = \sum_t^T \sum_j^J \sum_{it}^{I_j(t)} N_{ij}(Q_j)$$

де: $N_{\text{заг}}$ - загальна потужність насосних агрегатів

Обмеження:

- час освітлення води в водозбірнику не повинен перевищувати гранично допустиму норму: $t_{\text{осв}} < t_{\text{осв.макс}}$;

- кількість включень насосних установок за певний проміжок часу не повинен перевищувати гранично допустимий.

Для реалізації такого алгоритму роботи пропонується використати теорію нечітких множин та відображень [4,5.6.7]. Вхідними параметрами системи є наступні лінгвістичні (у термінах теорії нечітких множин) змінні:

- «динаміка рівня рідини» визначає рівень кар'єрної води, який регулярно отримує чи віддає водозбірник (значення: «швидко знижується», «знижується», «не змінюється», «підвищується», «швидко підвищується»);

- «очікуваний приплив води за прогнозуванням» визначає кількість води, яка поступає в водозбірник («низький», «середній», «високий», «аварійний»);

- «поточний приплив води» - кількість води, яка накопичується у водозбірнику в поточний момент часу («низький», «середній», «великий»);

- «поточний приплив води за прогнозом» визначає обсяг води, який повинен був опустити в поточний час за прогнозом («низький», «середній», «великий»);

- "рівень води" визначає поточний рівень води в накопичувальному резервуарі насосної станції ("дуже низький", "низький", "високий", "дуже високий");

- «включені насоси» набуває одного з значень, що відповідає різним комбінаціям включення насосів водовідливної установки.

Дві останні лінгвістичні змінні є також вихідними параметрами системи. Проміжними параметрами системи є:

а) «динаміка припливу води» визначає ступінь зміни обсягу води, що приходить у накопичувальний резервуар.

б) «динаміка рівня води з урахуванням прогнозу» як і «динаміка рівня» визначає обсяг води, який одержує чи віддає резервуар, але враховує тенденцію припливу води виходячи з прогнозу та його достовірності.

Вихідним параметром системи є "ввімкнені насоси".

Умовно роботу нечіткого регулятора, що проектується, можна розбити на кілька етапів:

1. Вхідні значення "поточний приплив води", "поточний приплив води за прогнозом" та "очікуваний приплив води за прогнозом" фазифікуються, після чого з урахуванням бази правил "динаміка припливу" агрегуються, активізуються та акумулюються. Отримані значення істинності для кожного терму з терм-множини «динаміка припливу води» не дефазифікуються, а прямують на наступний етап, як фазифікована вже вхідна змінна;

2. Вхідне значення «динаміка рівня води з урахуванням прогнозу» і фазифікованих значень змінної «динаміка припливу води» агрегуються і акумулюються (активація у разі не потрібна).

Отримані значення істинності для кожного терму з терм-множини

«Динаміка рівня води з урахуванням прогнозу» не дефазуються, а спрямовуються на наступний етап, як вже фазифікована вхідна змінна;

3. Вхідне значення «рівень води» фазифікується і з урахуванням бази правил «включені насоси», яка також залежить від змінної «включені насоси», і вже фазифікованих значень змінної «динаміка рівня води з урахуванням прогнозу» агрегуються, акумулюються (активація в даному випадку не потрібна) і дефазується методом правого модального значення. Отримане значення для "ввімкнені насоси" відправляється на вихід системи, а також на вхід системи, як параметр, що впливає на базу правил "ввімкнені насоси".

База правил містить велику кількість правил, отриманих внаслідок роботи з експертом. У аналізованій моделі використовувалась така кількість правил: для змінної «Динаміка припливу води» - 16; змінної «Включені насоси» - по 20 для кожного з 4 значень; для змінної «Динаміка припливу води» - 27; для змінної «Динаміка рівня води з урахуванням прогнозу» - 25.

Висновки:

1. Обґрунтування і вибір раціональної схеми водовідведення, використання сучасних типів насосів забезпечує підвищення виробничої потужності кар'єру.

2. Застосування теорії нечітких множин у комбінації з теорією нейронних мереж для побудови нечітко-нейронного регулятора для управління насосними установками кар'єру показав перспективність такого підходу. Використання в конструкції системи нечіткого регулювання нейрон-мережевої моделі дозволяє додати властивість адаптивності та здатності до навчання. Нечітко-нейронний регулятор для керування каналізаційними насосними установками – перспективний за ефективністю та безпекою спосіб керування насосними установками

Перелік посилань

1. Попов В.М. Рудничные водоотливные установки. – 2-е изд. – М.: Недра, 1983. – 304 с.
2. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый электропривод насосных установок. М.: ИК"Ягорба" Биоинформсервис. 1998, 180с.
3. Шевчук С.П. Повышение эффективности водоотливных установок. Учебное пособие. - Киев, УМК ВО, 1990, 104 с.
4. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 798 с.
- 5.Н.В. Замятин, Е.О. Иванов Нечеткая советующая система контроля артезианских Скважин. Доклады ТУСУРа, № 4 (38), декабрь 2015
- 6.Fuzzylite: библиотека для управления с помощью нечеткой логики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fuzzylite.com/>
- 7.В.С. Есилевский, В.Н. Кузнецов, В.П. Панов . Управление насосными агрегатами к.н.с. с помощью систем нечетко-нейронного управления. Вестник Воронежского государственного технического университета. Математика .2012г. с.12-17

Ганжа В.С.

кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

**РОЗРАХУНОК НЕОБХІДНОЇ ЄМНОСТІ І ПОТУЖНОСТІ
АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСІБУ.**

Анотація. В роботі проведено дослідження і розрахунок тягової акумуляторної батареї для транспортного засіб перевезення, насамперед, нового виду літаків які будуть переміщатися по аеродрому за допомогою електродвигуна, а не тягачів або тягових двигунів як в сучасному світі

Ключові слова: електропривод, енергія, акумуляторна батарея, тяговий акумулятор, втрати.

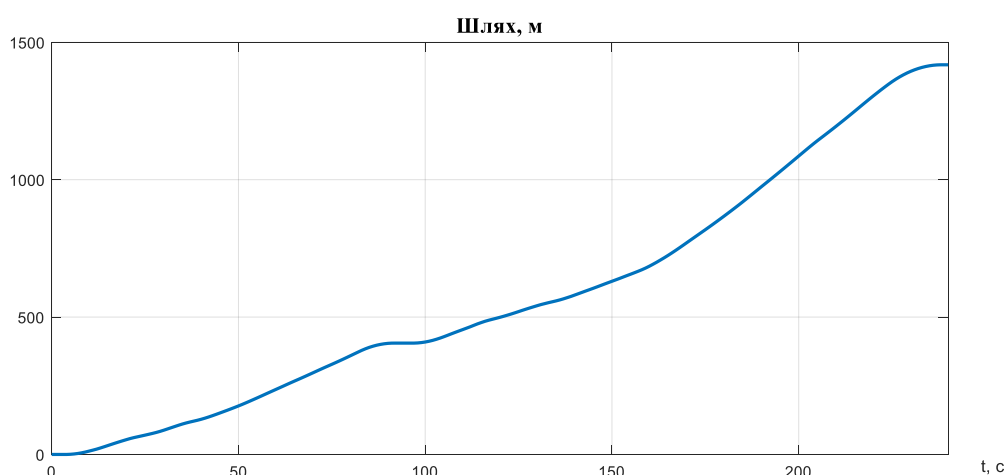
Abstract. The study and calculation of the traction battery for the means of transport, first of all, a new type of aircraft that will move around the airfield with an electric motor, rather than tractors or traction engines as in the modern world

Вступ. Світова індустрія змінюється буквально на очах. Технології, які раніше вважалися фантастикою, вже сьогодні завойовують ринок і стають частиною програм розвитку великих міст. Винахідники різних країн продовжують тестувати нові типи акумуляторів, Знизити витрати на енергоресурси і поліпшити екологію міст дозволяють тягові акумулятори, які вже сьогодні масово використовуються в мегаполісах Європи і Азії.

Мета та завдання. Розрахунок необхідної ємності і потужності акумуляторної батареї для транспортного засіб.

Матеріал і результати досліджень.

Розрахунок ведеться на основі представленого нижче графіку швидкості транспортного засобу (рис. 1)



Енергію, що витрачається при русі літака, можна розділити на 2 складові:

- енергія втрат при перетворенні електричної енергії в кінетичну і навпаки.
- енергія втрат на тертя та аеродинамічний опір.

Таким чином необхідна енергія акумуляторної батареї розраховуватиметься наступним

чином:

$$W_{\text{акум.бат}} = W_{\text{тертя}} + W_{\text{ел}} \quad (0.1)$$

де $W_{\text{тертя}}$ – енергія втрат, зумовлена силами тертя та аеродинамічним опором; $W_{\text{ел}}$ – втрати при перетворенні електричної енергії в кінетичну [13]. Скориставшись формулою для розрахунку потужності, запишемо вираз:

$$W_{\text{тертя}} = \frac{1}{T} \int_0^T (F_{\text{roll}} + F_{\text{grade}} + F_{\text{aero}}) \cdot V dt, \quad (0.2)$$

де $T = 240$ с – кінцевий час маршрутного циклу; $g = 9.81$ – прискорення вільного падіння.

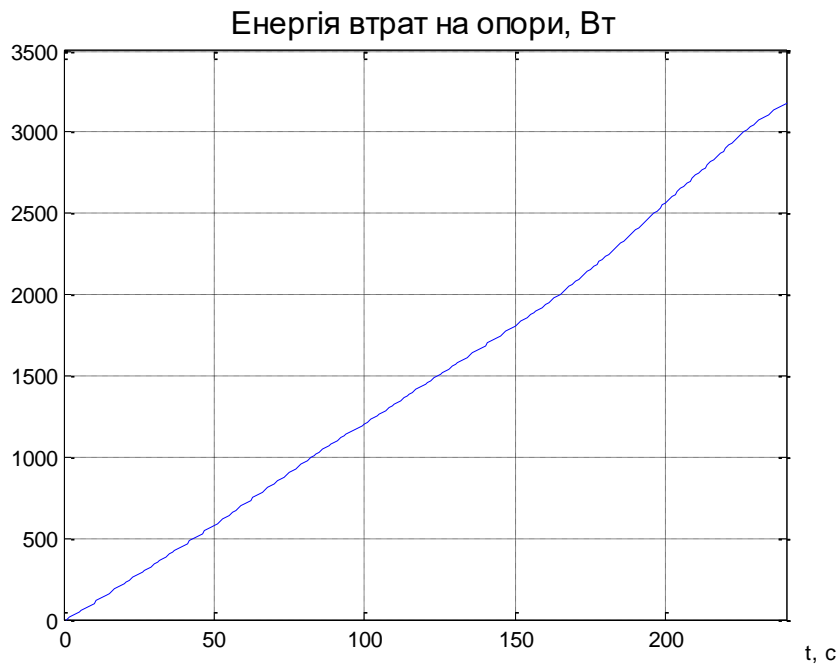


Рисунок 2 – Графік енергії втрат на опори під час руху ТЗ

При перетворенні електричної енергії батареї в кінетичну енергію її шлях пролягає через перетворювач, електричний двигун та редуктор. Прийmemo, що

ККД інвертора $\eta_{\text{інв}} = 0,97$; ККД двигуна, відповідно $\eta_{\text{дв}} = 0,98$; ККД редуктора $\eta_{\text{ред}} = 0,98$.

Отже, сумарний ККД електромеханічної системи буде становити

$$\eta_{\Sigma} = \eta_{\text{інв}} \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{ред}} = 0,97 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 0,93$$

Тоді енергія, що втрачається при перетворенні з електричної в кінетичну математично запишеться так

$$W_{\text{ел}} = \frac{1}{\eta_{\Sigma}} \cdot \frac{1}{T} \int_0^T m \frac{dV}{dt} \cdot V dt \quad (0.3)$$

Підставивши відомі значення у формули методом чисельного інтегрування, знайдемо необхідний запас енергії акумуляторної батареї на 9 км шляху.

$$W_9 = \frac{W_{\text{аккумулятор}} \cdot 9 \text{ км}}{S} = 72.5 \text{ МДж}$$

де $W_{\text{аккумулятор}} = 11.9 \text{ МДж}$ — для маршрутного циклу в $S = 1,42 \text{ км}$

Розрахуємо значення заряду, що необхідний для подолання відстані в 9 км, для значень напруги акумуляторної батареї в $U_{\text{бат}} = 650 \text{ В}$.

$$Ih_{250} = \frac{W_9}{3600 \cdot U_{dc}} = \frac{72.5 \cdot 10^6}{3600 \cdot 650} = 30.98 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Для створення батареї такої ємності були вибрані елементи Panasonic NCR18650B Lithium Battery [14].

Параметри одного елемента наведені в таблиці 1:

Таблиця 1 – Параметри батареї Panasonic NCR18650B Lithium Battery

Ємність, Ih_b	3.4 А · год
Напруга	3.7 В
Маса	47 грам
Розмір	18650
Вартість одного елемента	5 \$

Розрахунок кількості зарядних елементів:

1. Знаходження а – кількості елементів в одному ряді, які формують потрібне значення напруги (напруга батареї для двигуна 650 В):

$$a = \frac{U_l}{U_b},$$

де U_l - лінійна напруга двигуна, U_b - напруга однієї батареї.

2. Знаходження б – кількості паралельних віток, які формують потрібне значення ємності (1 вітка – 3.3 А · год):

$$b = \frac{Ih}{Ih_b},$$

де Ih_b - ємність однієї батарейки.

3. Знайшовши кількість елементів в ряді та кількість рядів можна знайти с - загальну кількість елементів, w- вагу батареї та її р - вартість:

$$c = a \cdot b$$

$$w = c \cdot m_{bat}$$

$$p = c \cdot 5$$

Висновки. Розраховано необхідну потужність АКБ на основі представленого графіку швидкості транспортного засобу та, виходячи з розрахованих значень заряду акумуляторної батареї (АКБ) та напруг, було обрано Panasonic NCR18650B Lithium Battery батареї у кількості 1604 шт для розрахованої ємності 30,98 А*год.

Список використаної літератури.

1. Borisevich A. Numerical method for power losses minimization of vector-controlled induction motor // International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS). – Vol. 6, No. 3, September 2015, pp. 323-341..
2. Blanuša B.D., Dokic B.L., Vukosavic S.N. Efficiency optimized control of high performance induction motor drive
3. Volkov V.A. Optimization of magnetization and demagnetization modes in frequency-controlled induction motor

**СЕКЦІЯ 4.
МЕХАТРОНІКА ЕНЕРГОЄМНИХ
ВИРОБНИЦТВ**

УДК 62-242.2

Ярошинський Е.Б.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ДИНАМІЧНИЙ ГАСНИК КОЛИВАНЬ ГІДРОМОЛОТА З МЕХАТРОННИМ КЕРУВАННЯМ

Анотація. У статті досліджено способи регулювання дисипації енергії в конструкції динамічного гасника коливань, що дає змогу регулювати його частотні характеристики. Встановлено, що із застосуванням електромагнітного клапану можна регулювати рівень дисипації енергії, що впливає на розширення робочої зони гасника коливань і підвищення його динамічної ефективності.

Ключові слова: динамічний гасник, демпфірування, коефіцієнт дисипації, амплітуда, частотні характеристики, ефективність.

Abstract. The article investigates the methods of energy dissipation control in the design of a dynamic oscillation damper, which allows to regulate its frequency characteristics. It is established that with the use of a solenoid valve it is possible to regulate the level of energy dissipation, which affects the expansion of the zone of influence of the vibration damper and increase its dynamic efficiency.

Keywords: dynamic extinguisher, damping, dissipation coefficient, amplitude, frequency characteristics, efficiency.

Вступ. В більшості машин та механізмів, в наслідок виконуваної роботи виникає вібрація. Найбільш небезпечний рівень вібрації настає при виникненні явища резонансу. Резонанс може призвести до руйнування або пошкодження обладнання. Для уникнення таких наслідків використовується антирезонансні пристрої, найбільш ефективні з яких динамічні гасники коливань [1, 2]. Особливо актуальним є застосування динамічних гасників в конструкції гідромолота [3, 4].

Мета та завдання. Розширення частотного спектру гасіння динамічного гасника коливань гідромолота, завдяки додавання в його конструкцію регульованого електроклапану.

Матеріал і результати досліджень. Методи дослідження включають системний аналіз існуючих конструкцій та математичних моделей процесів віброгасіння в динамічних системах, зокрема, в конструкції гідромолота

Санітарними нормами і правилами регламентується гранично допустима величина вібрації, гранично допустима вага механізмів, гранично допустима сила ручного натискання, а також умови вимірювання нормованих величин.

Вага віброуючого обладнання, що утримується руками оператора, має не перевищувати 10 кг, а зусилля натискування 200 Н.

Нормованими величинами вібрації є середньоквадратичні величини коливальної швидкості чи амплітуди зміщення горизонтальної і вертикальної вібрацій в октавних смугах частот від 2 до 63 Гц, що спричиняються роботою обладнання й передаються на робочі місця. СН 245-71 передбачають залежність нормованих величин від тривалості впливу вібрації

протягом робочої зміни. Тому застосування пристроїв гасіння вібрації актуальне і потребує розширення засобів і способів впливу на вібраційні процеси.

На рисунку 1 наведено зображення математичної моделі динамічного віброгасіння з дисипацією енергії коливань гідравлічним демпфером де, m_1, m_2 , - відповідно зведені в динамічному відношенні маси корпусу гідромолота та гасника; c і b - відповідно коефіцієнти жорсткості та дисипації гасника; $P \cdot \sin \omega_1 t$ - реакція віддачі гідромолота.

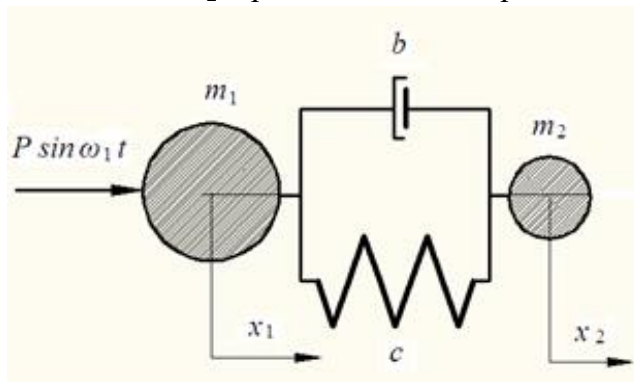


Рисунок 1 - Зображення моделі динамічного гасника з гідравлічним демпфером

Для моделі (рис.1), застосовуючи зведення в динамічному відношенні параметрів жорсткості та мас, отримана система рівнянь руху мас, рівняння 1 [5, 6].

$$\begin{aligned} m_1 x_1'' + b(x_1' - x_2') + c(x_1 - x_2) &= P \cdot \sin \omega_1 t \\ m_1 x_2'' - b(x_1' - x_2') - c(x_1 - x_2) &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Отримані, в результаті розв'язку системи (1) графіки залежностей амплітуд від частот за умов відповідно $k_1 = k_2 = 0$ та $k_1 \neq k_2 \neq 0$ наведені на рис. 2.

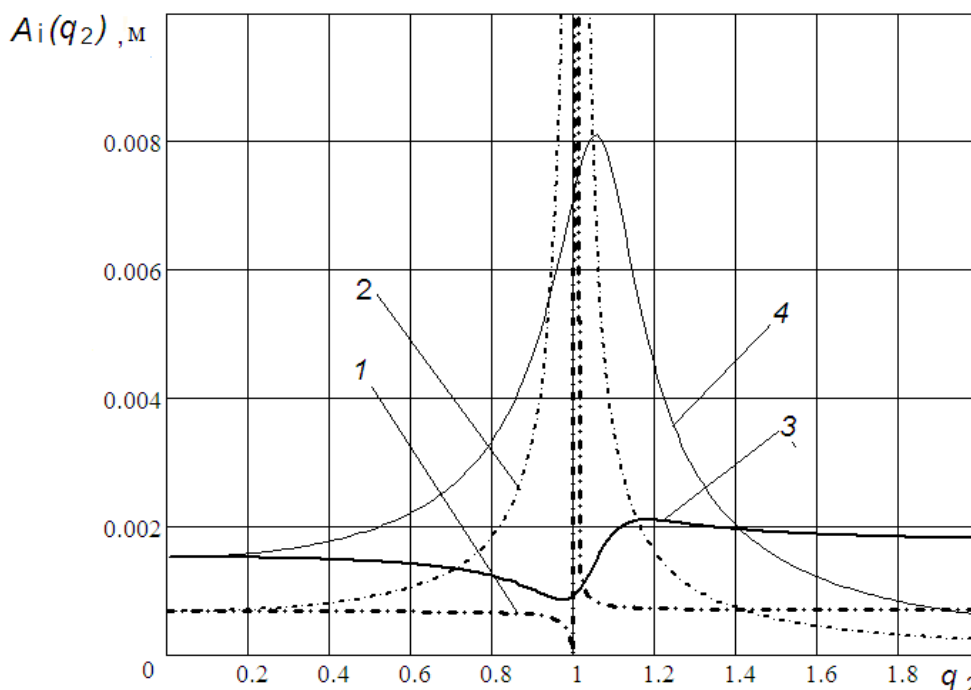


Рисунок 2 - Амплітудно- частотні характеристики коливання мас корпусу гідромолота та гасника відповідно: 1, 2- за умови $k_1 = k_2 = 0$; 3, 4 – за умови $k_1 \neq k_2 \neq 0$

Як видно з наведених графіків, вплив дисипації на процес коливань (за умови раціонального вибору параметрів) дозволяє значно зменшити амплітуду коливань гасника, але умова повного антирезонансу не досягається (крива 3 на відміну від кривої 1 не перетинає вісь абсцис при значенні $q_2 = 1$, тобто при локальному резонансі $\omega_{02} = \omega_1$).

Отже, застосування дисипаційних елементів в системі динамічного гасіння коливань значно пом'якшує режим коливань при зміні частоти власних коливань гасника або частоти зовнішнього навантаження.

Керованою зміною коефіцієнта b можна досягнути оптимального режиму функціонування гасника для різних режимів роботи гідромолота, адекватних зміні характеристик гірських порід [7]. Це можна досягти ввівши систему мехатронного керування антирезонансним модулем гідромолота (рисунок 3).

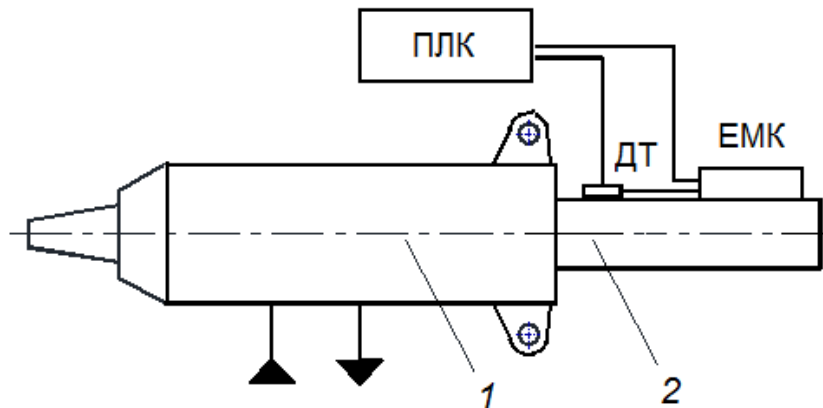


Рисунок 3 - Система мехатронного керування антирезонансом де, 1 – гідромолот, 2 – антирезонансний модуль, ДТ – датчик тиску, ЕМК – електромагнітний клапан, ПЛК – програмовано логічний контролер.

На рисунку 4 зображено динамічний гасник коливань з установленим електромагнітним клапаном.

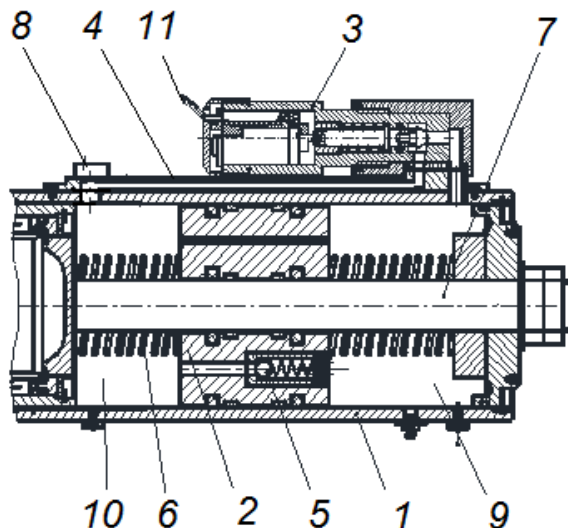


Рисунок 4 - Антирезонансний модуль де, 1 – корпус, 2 – поршень, 3 – електроклапан, 4 – дросельний канал, 5 – запобіжний клапан, пружні елементи, 7 – шток, 8 – датчик тиску, 9 та 10 – гідравлічні камери, 11 – електричний вивід для живлення і керування електроклапаном

Встановлення електромагнітного клапану 1 дає змогу регулювати процес демпфірування шляхом збільшення/зменшення діаметру дросельного каналу між камерами 9 та 10 (рис.4). Що в свою чергу дає змогу регулювати параметри динамічного гасника коливань з адаптацією динамічного режиму до умов технологічного процесу.

Висновки.

1. Вплив дисипації на процес коливань (за умови раціонального вибору параметрів) дозволяє значно зменшити амплітуду коливань гасника, отже, застосування дисипаційних елементів в системі динамічного гасіння коливань значно пом'якшує режим коливань при зміні частоти власних коливань гасника або частоти зовнішнього навантаження.

2. Розроблена структура мехатронної системи керування процесом ефективного віброгасіння коливань гідромолота від дії реакції віддачі. В систему включено програмований логічний контролер, який, в залежності від показання датчика тиску керує положенням керуючого клапана і змінює величину дросельного отвору, тим самим збільшуючи або зменшуючи дисипаційний опір.

3. Застосування електромагнітного клапану в системі динамічного гасіння коливань значно розширює частотний спектр гасіння динамічного гасника коливань, за рахунок можливості регулювання каналів дроселювання.

Список літератури

1. Сліденко В.М. Стабілізація функціонування гірничої машини з імпульсним виконавчим органом: монографія/ В.М. Сліденко, С.П. Шевчук. - К.: НТУУ "КПІ", 2010. - 192 с.

2. Шевчук С.П. Енергозберігаюча рекуперативна машина ударної дії/ С.П. Шевчук В.М. Сліденко, Л.К. Лістовщик//Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. Михайла Остроградського. Кременчук: КДПУ, 2008. Вип. 3/2008. С. 97-99.

3. Сліденко В.М. Динамічний гасник коливань корпусу гідромолота навісного на маніпулятор гірничої машини/ В.М. Сліденко, Я.М. Проченко //Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика. Наукове видання. Кременчук. КрНУ, 2018. Вип. 5/2018. С. 17 – 19.

4. Патент 102864 Україна, МПК В25D 9/00. Гідромолот з антирезонансним пристроєм/ В.М. Сліденко, Г.О. Переверзева, В.С. Лесик, Л.К. Лістовщик . – заявник і патентовласник НТУУ «КПІ». № u201504423; заявл. 07.05.15; опубл. 25.11.15; Бюл. № 22

5. Єрошенко В.А. Потужна дисипація енергії коливань гірничих машин гетерогенними ліюфобними системами: монографія / В.А. Єрошенко, В.М. Сліденко, С.П. Шевчук, В.П. Студенець – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 180 с.

6. Сліденко В.М. Математичне моделювання ударно-хвильових процесів гідроімпульсних систем гірничих машин: монографія/В.М. Сліденко, О.М. Сліденко.Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во "Політехніка", 2018. 220 с.

7. Сліденко В.М. Адаптивний електрогідравлічний привод гідромолота // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика. Наукове видання. Кременчук: КНУ, 2011. Вип. 1/2011. С. 114-115.

УДК622.323

Чайка А.О.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ІМПУЛЬСНО-ВИХРОВИЙ СТРУМИННИЙ НАСОС ПІДВИЩЕНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ

Анотація. В даній роботі наведена конструктивна схема та обґрунтовано параметри струминного насосу вихрового типу для підвищення продуктивності.

Ключові слова. Струминний насос, вихрова камера, інжектований потік, продуктивність, тиск.

Abstract. In this paper the constructive scheme is given and the parameters of the vortex type jet pump for increase of productivity are substantiated.

Keywords. Jet pump, vortex chamber, injected flow, productivity, pressure.

Вступ. Виснаження існуючих родовищ та відкриття нових родовищ з більш складними умовами експлуатації, більшою глибиною залягання, призводять до зниження видобутку вуглеводнів та підвищення їх вартості.

Один з напрямів інтенсифікації видобутку нафти – це підвищення ефективності струминних насосів через збільшення продуктивності роботи насосних агрегатів [1].

Мета дослідження. Розробка конструктивної схеми та обґрунтування параметрів впливових на підвищення продуктивності насосного агрегату, який прокачує робочу рідину через струминний насос.

Матеріали та методи досліджень. Для досягнення мети був використаний аналіз, узагальнення й систематизація інформації в області інтенсифікації видобутку вуглеводнів застосуванням вихрових струминних насосів з імпульсною інжекцією.

Результати. Розроблено конструктивну схему струминного насосу (рисунок 1), особливістю якого є застосування вихрової камери та гармонізатора коливань, що упорядковує процес формування інжекційного потоку значної потужності

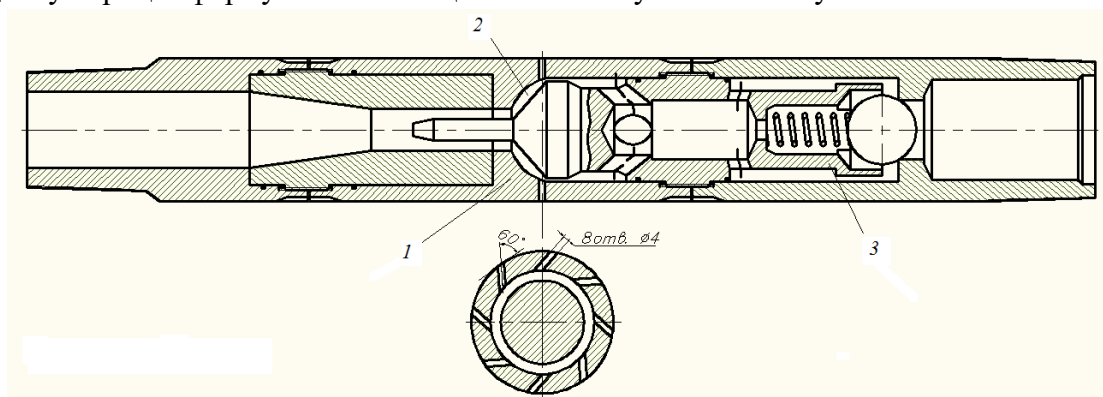


Рисунок 1 –Конструктивна схема струминного насосу вихрового типу:
1 – струминний модуль, 2 – вихрова камера, 3 – гармонізатор коливань

Насос працює наступним чином. На початку обробки, через опущені до вибою насосно-компресорні труби (НКТ) із струминним насосом і обладнанням, розташованим нижче, здійснюють установку пакера. Подається робоча рідина від насосного агрегату через затрубний простір між НТК та обсадною колоною в тангенціальні отвори струминного модулю 1 (рис.1). Рідина в вихровій камері 2 закручується зі збільшенням швидкості, що призводить до падіння тиску в вихровій камері, і створює умови інжекції рідини через гармонізатор 3. При змішуванні інжектованої і закрученої рідини, тиск знову збільшується і клапан гармонізатора імпульсно перекидає інжектований потік, а рідина з струминного модулю поступово через НКТ виноситься на поверхню. Далі цикл повторюється. Потік рідини виносить на поверхню кольматанти та рештками хімічних реакцій, що сприяє підвищенню продуктивності видобутку нафти.

Недоліком струминних насосів традиційної компоновки є обмежений режим подачі рідини від насосного агрегату з поверхні в межах 100...200 л/хв, що пов'язано з обмеженням тиском дроселювання через сопло діаметром 4...8 мм [2]. Для визначення робочого діапазону з більшою продуктивністю розглянуто процес завихрення потоку через вісім тангенціальних отворів діаметру 4 мм струминного модулю при зміні продуктивності насосного агрегату, що впливає на робочий тиск дроселювання [3]:

$$p(Q) = \frac{\rho}{2 \cdot \mu^2} \cdot \frac{Q^2}{S^2}, \quad (1)$$

де ρ - густина робочої рідини, $\rho=1000$ кг/м³; μ - коефіцієнт витрат, $\mu=0,62$; Q – витрата робочої рідини, що надходить до пристрою, $Q=0...600$ л/хв; S – сумарна площа тангенціальних отворів: $S = 8 \cdot \pi d^2 / 4$. Виходячи з практики застосування струминних насосів, робочий тиск 6...9 МПа коливається в межах 500...600 л/хв (рис.1).

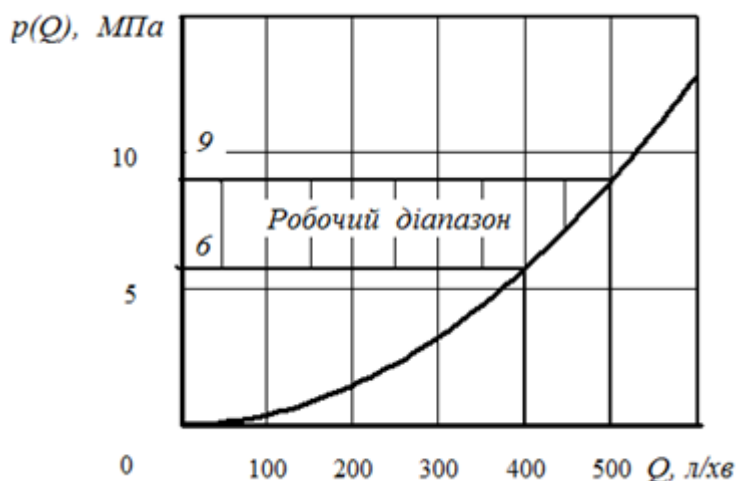


Рисунок 2 – Залежність тиску перемикання струминного і вібраційного модулів від діаметра сопла

Висновки. Розроблена конструктивна схема імпульсно-вихрового струминного насосу та визначений діапазон підвищеної подачі рідини від насосного агрегату, що дозволяє збільшити продуктивність струминного насоса. Встановлено робочий діапазон в межах робочого тиску 6...9 МПа з подачею від насосного агрегату в межах 500...600 л/хв.

Література

1. Яремейчук Р.С. Технология повышения продуктивности скважин с помощью струйных аппаратов. – М.: 1992.- 70 с.
2. Яремейчук Р.С. Создание глубоких управляемых депрессий на пласт с помощью струйных аппаратов. Нефтяное хозяйство, 1981, № 11, с. 16-19.
3. Коваль П.В. Гидравлика и гидропривод горных машин: Учебник для вузов по специальности: "Горные машины и комплексы". М.: Машиностроение , 1979. - 319 с.

УДК622.323

Попков А.А.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ВІБРАЦІЙНО-СТРУМИННИЙ ПРИСТРІЙ АКТИВІЗАЦІЇ ВИДОБУТКУ ВУГЛЕВОДНІВ

Анотація. У статті відображено вібраційно-струминний метод впливу на відновлення та активізації роботи продуктивного пласта свердловин. Встановлено, що із встановленням дворежимного струминного насосу реалізується режим репресивно-депресивної дії на пластову систему з метою її декольматації і, як результат - збільшення продуктивності видобутку вуглеводнів.

Ключові слова: вібрація, струминний насос, вуглеводнів, інжекція, продуктивність, режим роботи.

Abstract. The article reflects the vibration-jet method of influencing the restoration and activation of the productive formation of wells. It is established that with the installation of a two-mode jet pump the regime of repressive-depressive action on the formation system is realized in order to decompress it and, as a result, to increase the productivity of hydrocarbon production.

Keywords: vibration, jet pump, hydrocarbons, injection, performance, mode of operation.

Вступ. Продуктивність експлуатаційних свердловин в значній мірі визначається проникністю привибійної зони пласта, яка сприймає основне фільтраційне навантаження в процесі видобування нафти. Освоєння експлуатаційних свердловин – також один з відповідальних технологічних етапів, від якої залежить швидкість відбору рідини з пласта, а виходячи з цього - нафтовіддача пласта в цілому [1].

Мета та завдання. Підвищення ефективності дії на привибійну зону пластової системи застосуванням вібраційно-струминного пристрою, що дозволить проводити більш повну декольмотацію пластової системи і підвищити продуктивність видобутку вуглеводнів.

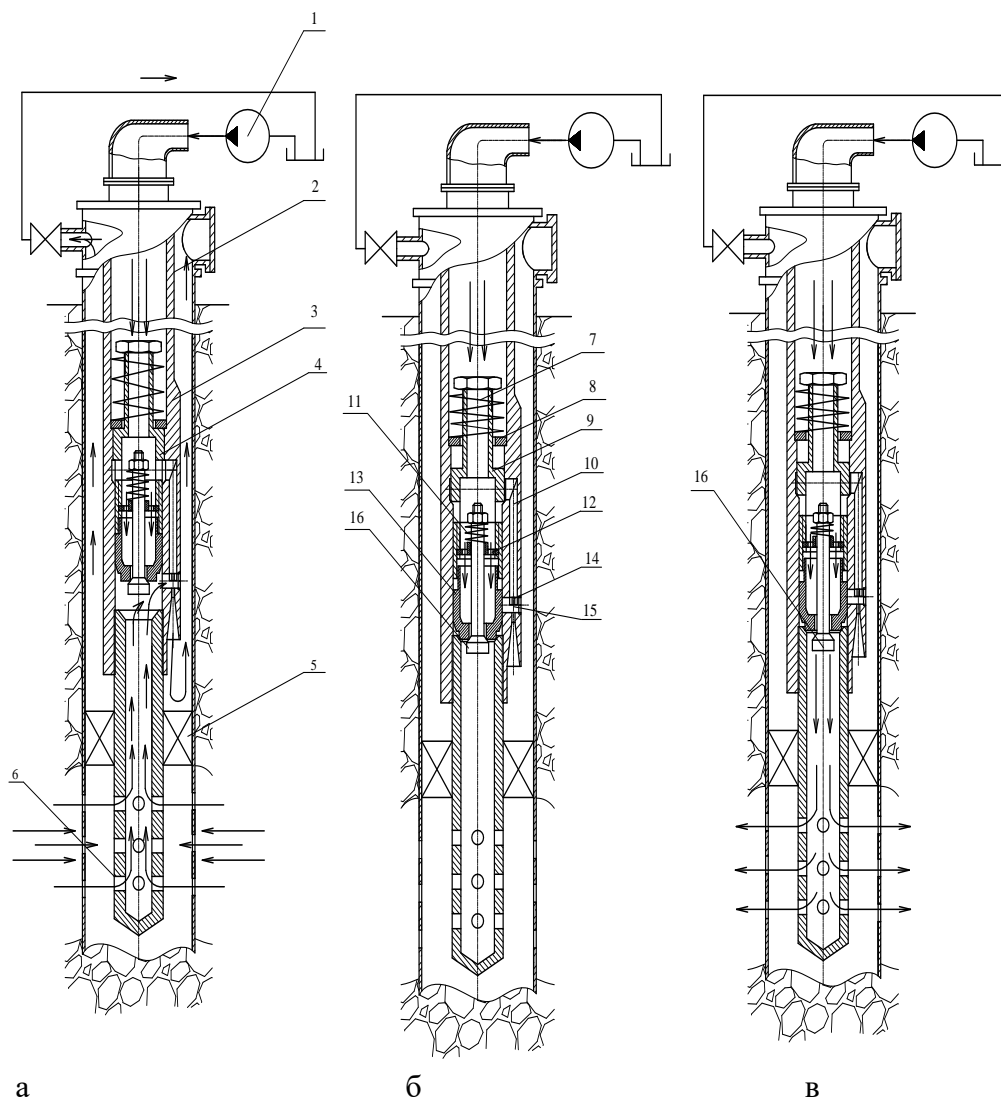
Матеріал і результати досліджень. Методи дослідження включають системний аналіз структурних схем струминних апаратів та визначення раціонального режиму їх функціонування з введенням вібраційного модулю.

Новизна досліджуваного пристрою полягає у поєднанні в одному корпусі струминного та вібраційних модулів з розділенням режимів депресивної та репресивно-вібраційної дії. В якості пружних елементів рухомих деталей конструкції вібраційного модулю використані тарілчасті пружини, які мають більшу жорсткість у порівнянні з витими, та забезпечити вібраційне переміщення рухомих деталей.

Мета досягається тим, що пристрій включає блок рухомої вставки, який створює умови для інжекції пасивного середовища із свердловини, а також дозволяє виконати репресивно-вібраційний вплив на пластову систему.

Робота установки пов'язана з подачею рідини насосною установкою 1, яка прокачується по насосно-компресорним трубам (НКТ) 2 через струминний апарат 9 створюючи інжекцію пасивного середовища (рис.1 а). Підвищення подачі рідини призводить до підвищення тиску

в установці за рахунок дроселювання рідини на робочому соплі 15 струминного апарату, тим самим переміщуючи блок рухомої вставки, та одночасно перекриваючи підводячи отвори камери робочого сопла 14 та камери інжекції 16 (рис.1, б). Герметичність перекриття камер забезпечується за рахунок телескопічного подовження блоку рухомої вставки, який представляє собою пружно з'єднану втулку 5 з рухомим золотником 8. На внутрішній поверхні втулки 5 різьбовим з'єднанням розміщено втулку з поздовжніми отворами 7, до якої за допомогою клапана 10 підпружинений рухомий золотник 8. Блок рухомої вставки підпружинюється до коаксialно посадженої в корпусі струминного апарату 9 упорної шайби 4 (рис.1, а).



а – фаза роботи струминного апарату; б – фаза переміщення рухомої вставки та її телескопічного подовження; в – фаза спрацювання клапана та репресивного впливу.

Рисунок 1 – Схеми реалізації фаз роботи пристрою депресивно-репресивної дії

Коливальний процес виникає при спрацюванні клапана 10 в наслідок підвищення тиску (рис.1, в). Рухомі деталі конструкції повертаються в початкове положення за рахунок пружних

елементів 3 та 6 після врівноваження тиску в середині обладнання. Процес періодично повторюється шляхом збільшення або зменшення подачі насосної установки 1 (рис.1, а).

Умовою спрацювання пристрою є вибір блоків пружин. Пружини генератора 6 повинні мати більшу жорсткість та спрацьовувати на більшій подачі ніж пружини основної групи 3 (рис.1, а).

Депресивна дія на пласт проводиться при роботі струминного апарату, а репресивна вібраційна дія - при роботі вставки з генератором, який діє на нафтовий пласт утворюючи в ньому систему мікро та макротріщин, збільшуючи приток нафти в свердловині.

Перемикання режимів струминного в вібраційний здійснюється вибором діаметру сопла та зміною продуктивності насосного агрегату, що впливає на робочий тиск дроселювання [2]:

$$\Delta p = \frac{\rho}{2 \cdot \mu^2} \cdot \frac{Q^2}{S^2}, \quad (1)$$

де ρ - густина робочої рідини, $\rho=1000$ кг/м³; μ - коефіцієнт витрат, $\mu =0,62$; Q – витрата робочої рідини, що надходить до пристрою, $Q=100$ л/хв; S – площа сопла струминного модулю, через яке протікає робоча рідина. Для зміни діаметру сопла в межах 4...8 мм, тиск перемикання модулів змінюється в межах (22,8...1,43) МПа (рис. 2).

В результаті аналізу результатів розрахунку прийнято значення діаметру $d= 5$ мм, при якому тиск перемикання струминного і вібраційного модулів складає 9,372 МПа, що в межах робочого діапазону сучасних струминних апаратів [3].

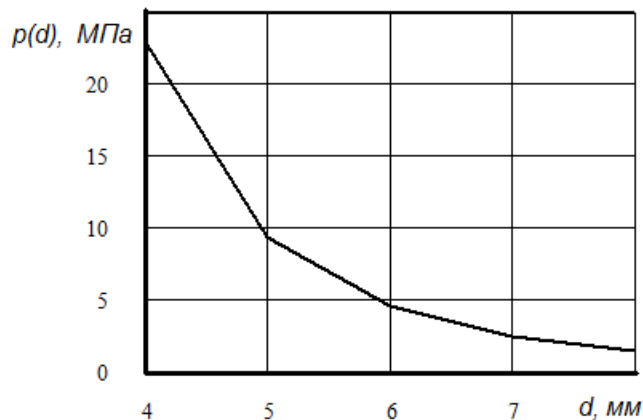


Рисунок 2 – Залежність тиску перемикання струминного і вібраційного модулів від діаметра сопла

Висновки. Синтезовано схеми реалізації раціональних режимів функціонування струминного апарату та вібраційного модулю, за умови зовнішнього впливу продуктивності насосного агрегату. Депресивна дія на пласт проводиться при роботі струминного апарату а репресивна вібраційна дія реалізується при роботі вібраційного модулю. В якості пружних елементів вібраційного модулю прийняті тарілчасті пружини. Пружини зібрані в паралельно-послідовну збірку для збільшення жорсткості пакету. Встановлений раціональний діаметр сопла 5 мм, при якому робочий тиск спрацювання перемикання модулів складає 9,372 МПа, що в межах робочого діапазону сучасних струминних апаратів при подачі рідини від насосного агрегату 100 л/хв.

Література

1. Яремейчук Р.С. Технология повышения продуктивности скважин с помощью струйных аппаратов. – М.: 1992.- 70 с.
2. Коваль П.В. Гидравлика и гидропривод горніх машин: Учебник для вузов по специальности: "Горные машины и комплексы". М.: Машиностроение , 1979. - 319 с.
- 3 Яремейчук Р.С. Создание глубоких управляемых депрессий на пласт с помощью струйных аппаратов. Нефтяное хозяйство, 1981, № 11, с. 16-19.

УДК 629.027

Новиков А.О.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ АДАПТИВНОГО АМОРТИЗАТОРА УДАРНО-ХВИЛЬОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

***Анотація.** Однією з основних проблем, на вирішення якої витрачається значний науково-технічний матеріальний ресурс, це дослідження впливу збурень (перешкод) різного виду на динамічні процеси апаратури, робочих органів машин тощо. Для зменшення негативного впливу вказаних збурень використовуються різні амортизатори (демпфери) чи поглиначі коливань. У цій статті для гасіння коливань розглядається використовувати амортизатора ударно-хвильових навантажень. Таким чином, можна стверджувати про гостроту проблеми підвищення ефективності робочих транспортних засобів різноманітного призначення. Тому, пошуки шляхів вирішення даної проблеми залишаються актуальними при виконанні робіт по вдосконаленню транспортних засобів та рухомих частин робочого обладнання.*

***Ключові слова:** амортизатор, коливання, збурення, гасіння, транспорт, навантаження.*

***Abstract.** One of the main problems, the solution of which spends a significant scientific and technical material resource, is the study of the impact of perturbations (interference) of various kinds on the dynamic processes of equipment, working bodies of machines and more. To reduce the negative impact of these disturbances, various shock absorbers (dampers) or vibration absorbers are used. This article considers the use of shock-absorbing shock absorbers to dampen oscillations. Thus, we can say about the severity of the problem of improving the efficiency of working vehicles for various purposes. Therefore, the search for ways to solve this problem remains relevant when performing work to improve vehicles and moving parts of work equipment.*

***Key words:** shock absorber, oscillations, perturbations, damping, transport, loading.*

Вступ. Система амортизації сприяє кращому керуванню та гальмуванню транспорту для кращої безпеки, а також забезпечує комфортне керування, добре ізольовану від ударів, вібрацій тощо. Отже, стає важливим, щоб амортизатори були ефективними, довговічними та економічними. Щорічно кількість автівок збільшується, як і інфраструктура для зарядки електромобілів продовжує розширюватися. У 2019 році в усьому світі було близько 7,3 мільйона зарядних пристроїв, з них близько 6,5 мільйона - приватні легкові автомобілі, що повільно заряджаються, у будинках, багатоквартирних будинках та на робочих місцях. У 2019 році загальнодоступні зарядні пристрої становили 12% загальних зарядних пристроїв для легкових автомобілів, більшість з яких - повільні зарядні пристрої. У всьому світі кількість загальнодоступних зарядних пристроїв (повільних і швидких) у 2019 році зросла на 60% порівняно з попереднім роком, що перевищує зростання запасів електричних легких автомобілів [1].

Мета та задачі. Підвищення віброгасіння транспортних засобів різноманітного призначення за рахунок встановлення рекуперативних амортизаторів.

Задачами є:

1. Визначити аналіз динамічних характеристик автомобіля, впливових на роботу амортизатора;
2. Розрахувати та визначити параметри п'єзокерамічного перетворювача, як електричного рекуператора енергії.

Матеріал і результати досліджень. В транспортних засобах доволі легко реалізувати системи рекуперації електричної енергії, використовуючи оборотні електромашини та електричні акумулятори. Основним способом отримання акумуляції електричної енергії способом її рекуперації є системи, побудовані на гальмуванні транспортного засобу [2]. Під час руху транспортного засобу, виникають коливання через зміну режиму роботи та нестабільність зовнішніх умов (рельєф, потік повітря, погодні умови тощо), приклад відображення коливань наведено на рис. 1.

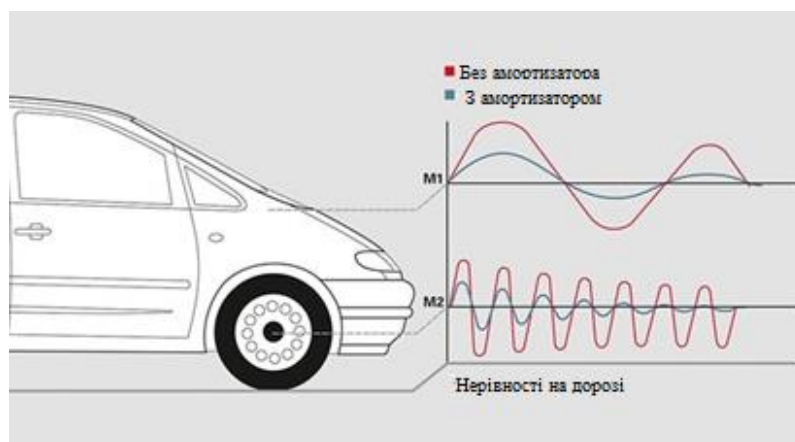


Рисунок 1 – Діаграми коливань автівки з застосуванням амортизатора та без

Амортизатори, які встановлені для гасіння коливань, споживають велику кількість механічної енергії перетворюючи її на тепло, що розсіюється в атмосферу. Пропонується механічну енергію, використовуючи п'єзо ефект, перетворювати в електричну. В якості матеріалу п'єзогенератора пропонується використати п'єзокераміку. П'єзокераміка – за фізичними властивостями це полікристалічний сегнетоелектрик, який є хімічною сполукою або твердим розчином (порошок) зерен (кристалітів) [3].

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. Більшість сучасних ПКМ складають тверді розчини титаната-цирконата свинцю (ЦТС, PZT), модифіковані різними компонентами і добавками. Випускаються також ПКМ на основі титанату барію (ТБ), титанату свинцю (ТС), ніобата свинцю (НС), титанату вісмуту (ТВ) тощо [4]. П'єзодатчики на основі ПКМ охоплюють широкий діапазон вимірювань, здатні працювати при температурах від $+400^{\circ}\text{C}$ до -270°C , що важливо, витримують високі тиску (для кераміки типу PZT значення допустимих напружень можуть доходити до $(0,7-1,0) \cdot 10^8 \text{ Па}$) [5].

Взаємозв'язок електричних та механічних властивостей кристалів, що демонструють п'єзо ефект, характеризується коефіцієнтом електромеханічного зв'язку $K_{зв}$. За прямого п'єзо ефекту підведена до кристала механічна енергія витрачається не тільки на пружну

деформацію, приводячи не лише до накопичення пружної енергії $W_{\text{пруж}}$, але й до створення електричної поляризації, що обумовлює накопичення електричної енергії $W_{\text{ел}}$ [6]:

$$K_{\text{зв}} = \sqrt{\frac{W_{\text{ел}}}{W_{\text{пруж}} + W_{\text{ел}}}} \quad (1)$$

За для розуміння принципу роботи механізму рекуперації на рис. 2 наведено циклограму роботи амортизатора.

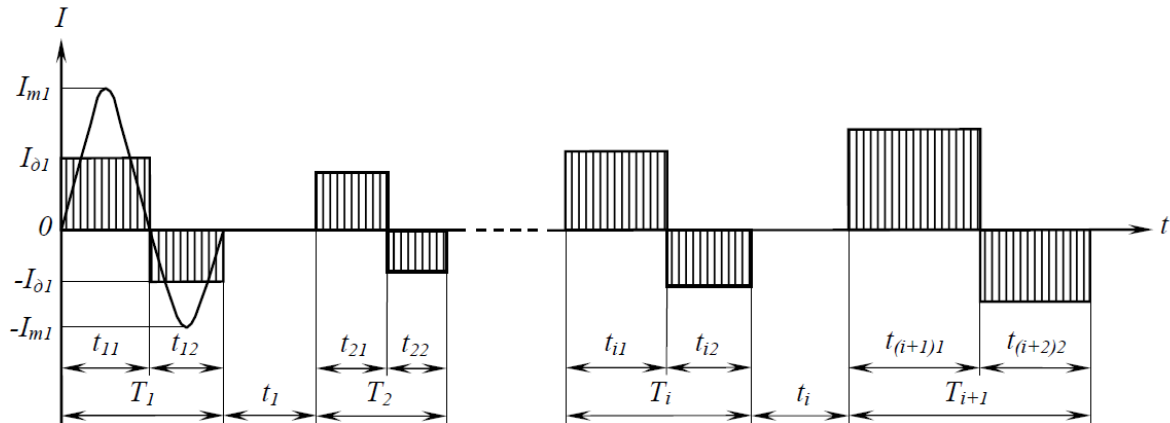


Рисунок 2 – Циклограма роботи амортизатора

При роботі амортизатора його п'єзокерамічними вставками виробляється змінний струм, фрагмент циклограми дійсних значень якого, представлений на рисунку 2. 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 $\pm I_{di}$ 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 нерівностей і дефектів дорожнього полотна.

Ефективність їх впровадження можна визначити за допомогою типового розрахунку. Так напругу, що виникає при одноразовому прикладенні навантаження, можна визначити за формулою [7]:

$$U_1 = \frac{d_{33} \cdot F}{C} = 167,4 \text{ В}, \quad (2)$$

де d_{33} – п'єзоелектричний модуль, для матеріалу PZT-5Н $d_{33} = 593 \cdot 10^{-12} \text{ Кл/Н}$ [8];

F – сила, яка впливає на елемент конструкції із закріпленим перетворювачем, прийемо $F = 12500 \text{ Н}$;

C – електрична ємність п'єзоелектричного перетворювача [9].

$$C = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S}{l} = 4,427 \cdot 10^{-8} \text{ Ф}, \quad (3)$$

де ϵ – електрична постійна, $\epsilon = 5000$;

ϵ_0 – діелектрична проникність матеріалу п'єзоелектричного перетворювача, для матеріалу PZT-5H, $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

S – площа п'єзоелектричного перетворювача, прийmemo $S = 0,01$ м²;

l – товщина п'єзоелектричного перетворювача, прийmemo $l = 0,01$ м.

Сила струму I , що виникає на електродах одного перетворювача при одноразовому прикладанні навантаження, становить 0,01 А. Тоді елемент конструкції машини або механізму, що піддається навантаженні з циклічністю до 50 впливів в хвилину, з двома приєднаними перетворювачами може виробляти електричну енергію потужністю [10]:

$$P = U_1 \cdot I \cdot n_1 \cdot n_2 = 167,4 \text{ Вт}, \quad (4)$$

де n_1 – циклічність прикладання навантаження, $n_1 = 50$ д/хв;

n_2 – кількість використуваних перетворювачів, $n_2 = 2$ шт.

При безперервній роботі за одну годину часу перетворювачі зможуть виробляти електричну енергію потужністю до 10 044 Вт (без обліку втрат).

Висновки. Отже, п'єзогенератори знаходять своє застосування як компоненти рекуперативних систем машин та механізмів, що перетворюють механічну навантаження в електричну енергію. Як показали розрахунки то за вихідними даними можливо отримати потужність $P = 10\,044$ Вт, за напруги при одноразовому прикладанні навантаження $U_1 = 167,4$ В. Наразі застосування їх в транспортній галузі обмежене, через недоліки конструкцій самих перетворювачів та низьку зацікавленість виробників автотранспорту. Крім того, є складнощі при реалізації систем рекуперації енергії на їх базі, пов'язані з потребою впровадження ефективних систем управління, передачі та накопичення енергії.

Список використаних джерел.

1. Global EV Outlook 2020. International Energy Agency. Червень 2020. URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>. (дата звернення 20.04.2021);
2. Поплавко Ю., Якименко Ю. П'єзоелектрики. Навчальний посібник. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. 327 с.;
3. 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;
4. Жуков С. О. О пьезокерамике и перспективах ее применения. *Рынок микроэлектроники*. 03.05.2017. URL: http://www.compitech.ru/html.cgi/архив/01_01/stat-48.htm. (дата звернення 07.05.2021);
5. Бочкарьов Д. И., Пупачьов Д. С. Современное состояние и перспективы использования пьезопреобразователей в конструкциях мобильных машин. *Механика машин, механизмов и материалов*. 2019. №1(46). С. 13-18;

6. Сиротин Ю. И., Шаскольская М. П. Основы кристаллофизики. Москва: Наука, 1979. 640 с.;
7. 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
8. Довгяло В. А., Бочкарьов Д. І. Дорожно-строительные машины. Машины для земельных работ: учебное пособие. Гомель: Білоруський державний університет транспорту, 2010. 250 с.;
9. Богуш М. В. Пьезоэлектрическое приборостроение: сб. в 3 т. Ростов-на Дону: Издательство СКНЦ ВШ, 2006;
10. Шарапов В. М., Мусієнко М. П., Шарапова О. В. Пьезоэлектрические датчики. Москва, Техносфера, 2006. 632 с.

ДЕПРЕСИВНИЙ ГЕНЕРАТОР ІМПЛОЗІЙНОЇ ДІЇ НА КОЛЕКТОР НАФТОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ

Анотація. У статті досліджено спосіб підвищення продуктивності нафтової свердловини за рахунок дії імпульсного пристрою імпульсами тиску на смолисті та парафінові відкладення в пластовому колекторі нафтової свердловини.

Ключові слова: депресивний генератор, імпульсія, вакуумна камера, гідроудар, ефективність.

Abstract. The method of increase of oil well productivity due to the action of the implosion device by pressure pulses on resinous and paraffin deposits in the reservoir reservoir of the oil well is investigated in the article.

Keywords: depressive generator, implosion, vacuum chamber, hydraulic shock, efficiency.

Вступ. На сьогодні 56,4 % запасів нафти та понад 12 % запасів газу за своїми характеристиками належать до важковидобувних. Безперечною умовою стабілізації та зростання видобутку нафти і газу в Україні є вдосконалення існуючих систем видобутку та впровадження нових методів інтенсифікації видобутку вуглеводнів [1].

Мета та завдання. Обґрунтування структури та функцій депресивного генератора імпульсної дії, з визначенням рівня підвищення амплітуди тиску.

Матеріал і результати досліджень. Методи дослідження включають системний аналіз існуючих конструкцій та основних залежностей імпульсних процесів.

Запропонована конструктивна схема генератора імпульсної дії (ГІД) (рис.1) включає корпус (1), поршень (2), імпульсний клапан (3), імпульсну камеру (4), клапан часової затримки (5), шток (6), фільтр (7), перехідник (8) для навішування генератора на колону компресорних труб (НКТ), центральний канал зв'язку імпульсної камери (4) з НКТ, радіальні канали (10) в корпусі (1) для зв'язку з затрубним простором обсадної колони.

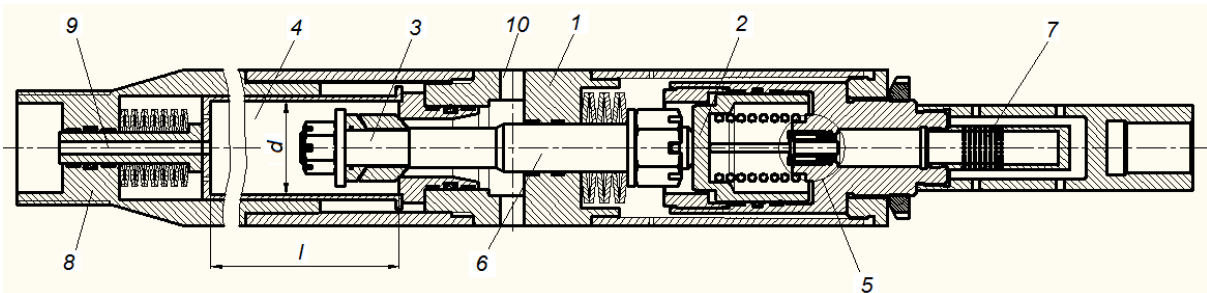


Рисунок 1 – Конструктивна схема генератора імпульсної дії (ГІД)

ГІД опускається на колоні НКТ безпосередньо в зону перфораційних отворів в обсадній колоні. Над ГІД послідовно встановлюються струминний насос і пакер. За допомогою струминного насоса в колоні НКТ різко знижують тиск. Тиск падає і в імпульсній камері через її гідравлічний зв'язок з НКТ через отвір (9), а тиск в затрубному просторі залишається на рівні гідростатичного, який відповідає глибині установки ГІД. За визначеним перепадом

тисків в колоні НКТ і затрубу, спрацьовує клапан (3) і камера (4) різко з'єднується з затрубним простором реалізуючи імпульсний процес гідроудару. При цьому, на початку клапан (3) закривається повільно, через спрацювання блоку часової затримки, а надалі - різко перекриває потік із затруба в імпульсній камері реалізуючи повторний прямий гідроудар. Після закінчення хвильового процесу елементи ПД повертаються в початкове положення і далі цикл повторюється.

Швидкість руху рідини по імпульсній камері в залежності від її довжини (довжини камери сопла депресатора) визначається залежністю [2]:

$$w = \varphi \sqrt{\frac{2p_0 d}{\rho \lambda l} \left[1 - \exp\left(-\frac{\lambda (l-l_0)}{d}\right) \right]}$$

де φ – коефіцієнт швидкості, прийнятий для даної конструкції $\varphi=0,71$; p_0 – гідростатичний тиск в свердловині глибиною 3000 м, $p_0 = 30 \cdot 10^6$ Па; ρ – густина рідини, $\rho = 1000$ кг/м³; d – внутрішній діаметр НКТ, $d=0,059$ м; λ – коефіцієнт гідравлічного опору тертя, $\lambda = 0,02$; l – оптимальна довжина імпульсної камери, приймається $l = 1,3$ м, надалі поточне значення x ; l_0 – розмір, який характеризує втрати довжини імпульсної камери через розташування механізму різкого перекриття, $l_0 = 0$.

Підвищення тиску від різкого перекриття руху рідини визначається за формулою Жуковського [3]:

$$\Delta p = \rho c w,$$

де c – швидкість звуку в рідині, $c=1400$ м/с.

Для змінної довжини імпульсної камери $x=0, \dots, 10$ м. за формулою

$$w(x) = \varphi \sqrt{\frac{2p_0 d}{\rho \lambda (x + 0,000001)} \left[1 - \exp\left(-\frac{\lambda (x-l_0)}{d}\right) \right]},$$

яка реалізована в MathCAD, отримана залежність швидкості рідини при її різкому вливанні в імпульсній камері в залежності від довжини камери (рис 2).

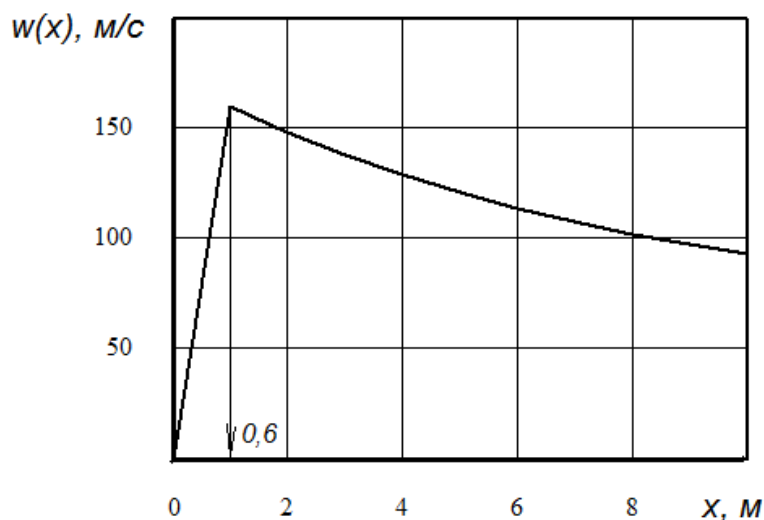


Рисунок 2 – Залежність швидкості імпульсного потоку від довжини імпульсної камери

Відповідно зміна тиску гідроудару визначається залежністю:

$$\Delta p(x) = \rho \cdot c \cdot w(x)$$

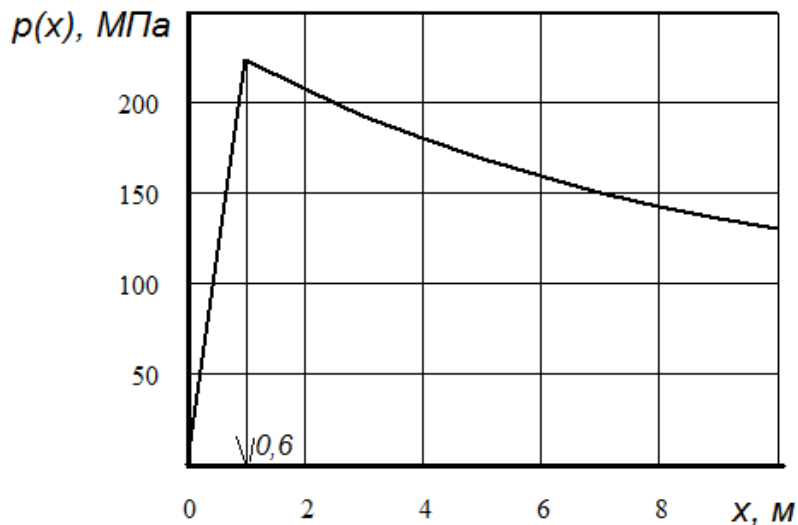


Рисунок 3 – Залежність тиску гідроудару від довжини імпульсійної камери

Як видно з графіків (рис.2, 3) оптимальне значення довжини камери імпульсії $l_{opt} = 0,6$ м, при цьому досягається максимальні значення швидкості і тиску гідроудару відповідно: $w(0,6) = 165$ м/с; $\Delta p(0,6) = 231,6$ МПа.

Отже, при конструктивній реалізації (рис.1) визначена оптимальна довжина імпульсійної камери 0,6 м з діаметром 0.059 м.

Висновки.

Синтезовано конструктивну схему генератора імпульсійної дії та встановлені силові характеристики дії на привибійну зону нафтової свердловини. Встановлені параметри генератора, характерні для свердловини глибиною 3000 м: оптимальне значення довжини імпульсійної камери 0,6 м з діаметром 59 мм; швидкість імпульсійного потоку 165 м/с; тиск гідроудару 231,6 МПа. В цьому випадку тиск гідроудару, який досягає значної величини, може впливати на привибійну зону свердловини і далі на пластову систему як сейсмічний фактор, що призведе до зміцнення пластової системи і, як наслідок, підвищення видобутку вуглеводнів.

Список літератури

1. Дыбленко В.П., Камалов Р.Н., Шариффулин Р.Я., Туфанов И.А. Повышение продуктивности и реанимация скважин с применением виброволнового воздействия. –М.: ООО “Недра-Бизнесцентр”, 2000. – 381 с.
2. Попов А.А. Импульзия в процессах нефтедобычи. М.: Недра, 1996. – 186 с.
3. Коваль П.В. Гидравлика и гидропривод горных машин: Учебник для вузов по специальности: “Горные машины и комплексы”. М.: Машиностроение, 1979. - 319 с.

УДК622.323

Котомова Р.І.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

РОЗРОБКА СТРУМИННОГО ДВОРЕЖИМНОГО НАСОСУ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ НАФТОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ

Анотація. В роботі представлено конструкцію струминного дворежимного насосу, який значно скорочує процес хімічних обробок, під час проведення капітального ремонту свердловини.

Ключові слова: дебіт, привибійна зона свердловини, струминний насос, камера змішування, насосно-компресорні труби (НКТ)

***Abstract.** The paper presents the design of a two-mode jet pump, which significantly reduces the process of chemical treatments during the overhaul of the well.*

***Keywords:** flow rate, downhole zone of the well, jet pump, mixing chamber, pump-compressor pipes*

Вступ. Під час закінчення свердловин бурінням привибійна зона часто забруднюється фільтратом промивальної рідини, що, з часом, особливо на пізніх етапах експлуатації, призводить до закупорки пор пласта та зниження природної проникності порід. Також, іноді, при загальній високій проникності порід пласта окремі свердловини розкривають зони із зниженою проникністю, що обумовлює погіршення припливу нафти і газу до цих свердловин. І в процесі експлуатації свердловин їх привибійні зони можуть закупорюватися відкладеннями парафіну, асфальтенів і смол, що також знижує приплив нафти до свердловин [1]. Для видалення забруднень і підвищення дебіту, часто використовують кислотні методи обробки. Процес обробки має відносно велику вартість та тривалість, що призводить до зниження загальної ефективності кислотних обробок [1].

Мета дослідження. Розробити конструкцію струминного насосу, який би значно скоротив процес обробки свердловини, підвищивши тим самим її якість та знизивши капітальні витрати. Провести аналізування параметрів його функціонування та використання струминного дворежимного насосу в процесі кислотної обробки привибійної зони пластів свердловин.

Матеріали та результати досліджень. Кислотна обробка свердловин полягає в заливанні або закачуванні в свердловину і продавлюванні в пристовбурну зону водоносного або нафтоносного пласта рідиною або повітрям під тиском інгібованих кислотомісних розчинів на основі соляної, фтористоводневої, оцтової і сульфамінової к-т або їх сумішей. Основна задача кислотної обробки — утворення глибоко проникаючих у пласт каналів роз'їдання, що з'єднують вибій свердловини з насиченими нафтою і газом ділянками пласта [2]. Зазвичай, алгоритм кислотної обробки містить декілька етапів: опускання труб з пакером і задавлювання кислотного розчину, піднімання труб, опускання труб з пакером і струминним насосом, відкачування продуктів реакції, піднімання обладнання, промивання свердловини.

Описаний алгоритм обробки потребує вдосконалення, оскільки він не завжди приносить очікуваного результату, або ж на нього використовується надто багато часу та ресурсів.

Запропоновано конструкцію струминного дворежимного насоса, який здатен значно зменшити час на обробку за рахунок зменшення кількості спуско-піднімальних операцій. Даний насос здатен працювати в режимі труби та безпосередньо насосу. Конструкція такого насоса представлена на рис.1. Робочий потік в режимі труби рухається по каналу 4, потім потрапляє в канал 11 і далі під насос в привибійну зону. Для того щоб перемкнути прилад в режим насосу необхідно робочу рідину під тиском подати в затрубний простір через канал 5 у внутрішню частину насоса, саме через це рухома конструкція, що складається з конфузора, дифузора та втулки зривається з фіксаторів та переміщується в нижнє положення. Далі, через НКТ та канал 4 робочий потік надходить до входу в конфузур, далі в камеру змішування, де, внаслідок створення розрідження, підсмоктується потік з продуктами реакції (інжектований потік) з підпакерної зони через канал 8. Потім змішаний потік через дифузур 1 та канал 5 надходить в затрубний простір і піднімається на денну поверхню.

Проаналізувавши принцип роботи струминного дворежимного насоса, можна зробити висновок, що при застосуванні його під час кислотної обробки нафтового пласта, зменшується довгостривалий час підйому і опускання всього необхідного обладнання, а отже з'являється можливість значно економити час та ресурси.

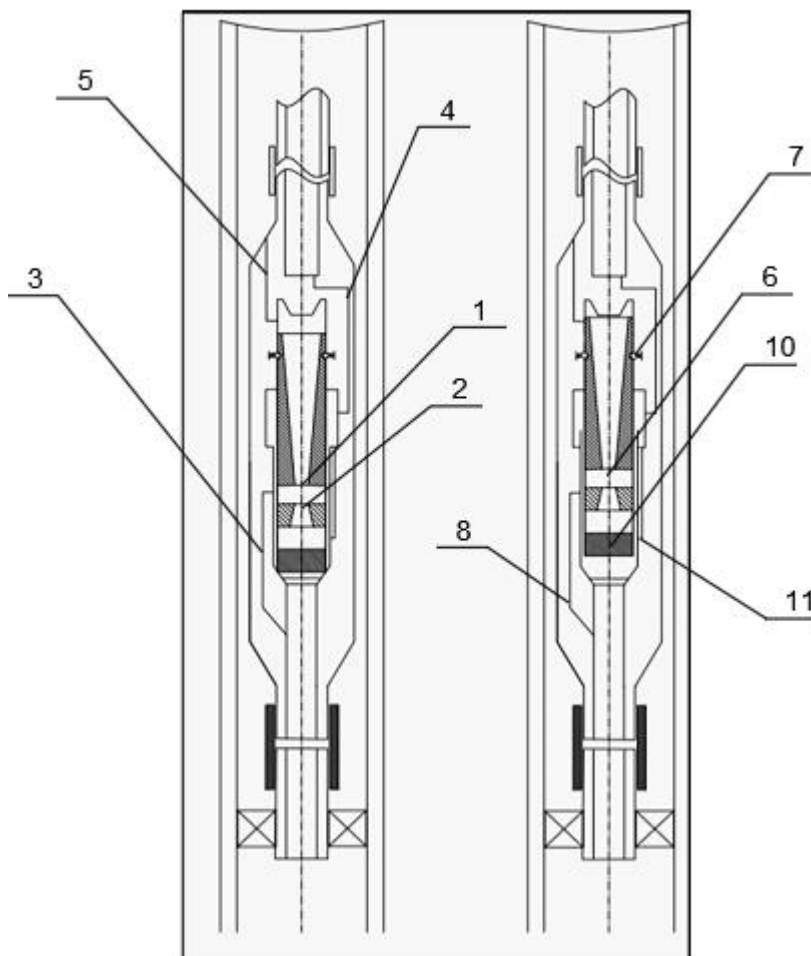


Рисунок 1- Схема струминного дворежимного насоса

Для ефективного функціонування струминного насосу, необхідно, щоб значення одного з основних характерних параметрів, а саме коефіцієнту інжекції було в межах від 0,1 до 0,5. Розрахунками було встановлено, що значення коефіцієнта інжекції вищеописаного струминного дворежимного насосу складає 0,416, яке є цілком достатнім для проведення ремонтних робіт для покращення продуктивності нафтової свердловини.

Висновок: Використання нової установки струминного дворежимного насосу здатне вдосконалити хімічний метод впливу на продуктивний пласт, оскільки використовуючи дану установку, з алгоритму кислотної обробки можна зменшити кількість спуско-піднімальних операцій, що є причиною економії часу та капітальних витрат.

Список літератури

1. Розробка та експлуатація нафтових родовищ: підручник для студентів ВНЗ / В. С. Бойко. — Київ: ІСДО, 1995. — 496 с.
2. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Донбас, 2004. — Т. 1 : А — К. — 640 с. — ISBN 966-7804-14-3.

СЕКЦІЯ 5.

**ПРОБЛЕМИ ВИДОБУТКУ КОРИСНИХ
КОПАЛИН.
ГЕОТЕХНІЧНЕ І МІСЬКЕ ПІДЗЕМНЕ
БУДІВНИЦТВО.
ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ ТА
РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ.**

УДК 622.235.535

Р. Ф.Харченко, магістр кафедри геоінженерії
КПІ імені Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

ПРИНЦИПИ ТРАНСФОРМАЦІЇ ВУГІЛЬНИХ РЕГІОНІВ НА ПРИКЛАДІ ЛЬВІВСЬКО–ВОЛИНСЬКОГО БАСЕЙНУ

У роботі розглянуто питання справедливої трансформації вугільних регіонів України в контексті світової декарбонізації і сталого розвитку. Проаналізовано європейський досвід трансформації вугільної галузі та можливості його використання в Україні. Визначено принципи, напрями та механізми трансформації вугільних регіонів на прикладі Львівсько-Волинського басейну.

Ключові слова: *справедлива трансформація, вугільні регіони, декарбонізація, сталий розвиток.*

PRINCIPLES OF TRANSFORMATION OF COAL REGIONS ON THE EXAMPLE OF LVIV-VOLYN BASIN

The paper considers the issue of fair transformation of coal regions of Ukraine in the context of global decarbonization and sustainable development. The European experience of transformation of the coal industry and possibilities of its use in Ukraine are analyzed. The principles, directions and mechanisms of transformation of coal regions on the example of the Lviv-Volyn basin are determined.

Key words: *fair transformation, coal regions, decarbonization, sustainable development.*

Вступ. Перехід провідних країн світу до низьковуглецевої економіки, створення сталого та конкурентоспроможного виробництва вказує на докорінну трансформацію вугільного сектору України, що потребує значних інноваційних перетворень. Відповідно до «Енергетичної стратегії України до 2035 р.» та Концепції трансформації вугільних регіонів України передбачається закриття усіх збиткових державних підприємств галузі до 2030 р. [1–3]. Наразі основними завданнями державної стратегії регіонального розвитку на період 2021–2027 р. є сприяння впровадженню інноваційних рішень у сфері видобутку вугілля, використання супутніх ресурсів (зокрема, шахтного метану, технологій підземної газифікації вугілля, шахтних вод тощо), створення належних умов для функціонування вітчизняної традиційної енергетики, стимулювання розвитку альтернативної енергетики, відновлення та розбудова трансформованих вугільних територій, забезпечення їх соціальної, економічної та екологічної безпеки тощо [4–6].

Аналіз стану питання. Аналіз динаміки розвитку вугільної галузі України свідчить, що вона занепадає. У 1991 р. в країні налічувалося 276 державних шахт, станом на 2021 р. – їх 33 [7]. Також кількість працівників вугільної галузі скоротилася з близько 1 мільйона у 1991 році до 56 тисяч [7]. Частково це зумовлено збройним конфліктом на Сході, оскільки на непідконтрольних територіях залишилися 95 шахт. Однак з 2004 року в Україні ліквідовано 68 державних гірничих підприємств, 19 державних шахт зараз перебувають в процесі ліквідації. Водночас собівартість видобутку вугілля зростає. Державні вугільні шахти

зазнають збитки в середньому у 230 євро на тону видобутого вугілля. Тому держава продовжує і надалі надавати дотації в цей сектор, знижуючи витрати на заходи з енергоефективності. Відповідно до звіту про прямі субсидії у вугільний сектор протягом 2018–2019 років серед договірних сторін Енергетичного Співтовариства, Україна – лідер із надання субсидій для вугільного сектору. З 2018 року прямі субсидії склали 275,44 млн євро, а 2019-го зросли майже вдвічі – до 476,08 млн євро. Загальний видобуток вугілля зменшився з близько 65 млн. т. у 2014 р. до 29 млн. т. у 2020 р. (рис. 1) [7].

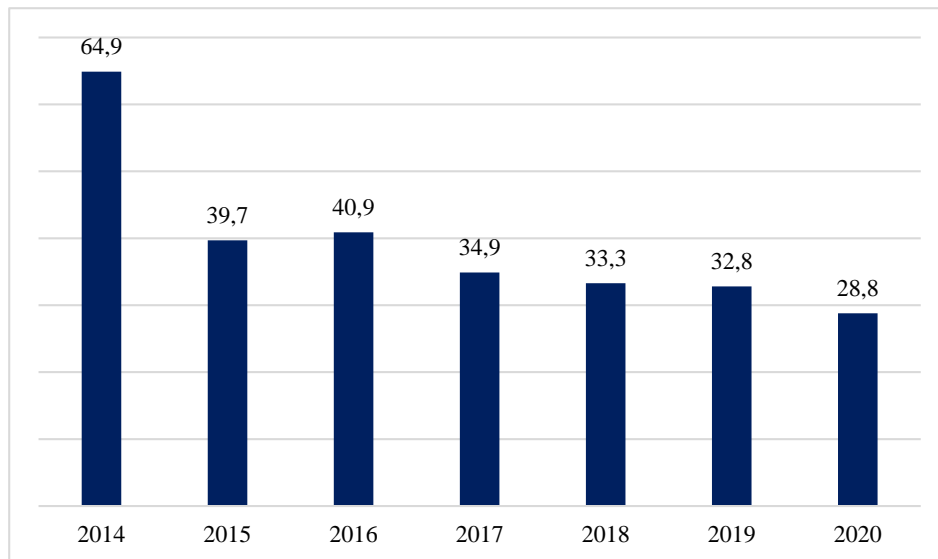


Рисунок 1 – Динаміка видобутку вугілля в Україні за 2014–2020 рр., млн. т.

За підрахунками, закриття збиткових шахт зменшить витрати держави на 35% навіть з урахуванням витрат на виведення шахт з експлуатації та компенсацію для робітників. Крім того, майже 96% шахт працюють без реконструкції понад 20 років.

Однак, аналіз досвіду закриття шахт в Україні свідчить, що не було обґрунтованих планів соціально-економічної підтримки регіонів і це призвело до виникнення комплексних негативних наслідків. Водночас видобуток вугілля і далі залишається одним із складників енергетичного забезпечення країни, попри інтенсивне впровадження в Україні альтернативних та відновлювальних джерел енергії.

Серйозною складовою питання трансформації галузі і, зокрема, закриття шахт є вирішення соціальних та екологічних наслідків, котрі виникатимуть в процесі реформування галузі. За таких обставин проблематика справедливої трансформації та підвищення економічної, соціальної та екологічної безпеки тощо енергетичного сектору в Україні загалом та в її основних вуглевидобувних регіонах, до яких належить і Львівсько-Волинський басейн, набуває особливої актуальності.

Метою роботи є визначення принципів трансформації вугільних регіонів України, зокрема на прикладі Львівсько-Волинського басейну, які б відповідали як державним інтересам, так і інтересам регіонів, у котрих вугільна промисловість відіграла важливу соціально-економічну роль як одна з основних сфер зайнятості місцевого населення.

Виклад основного матеріалу. Поняття «справедлива трансформація» означає таку модель розвитку вугільних регіонів, котра забезпечить збалансоване та більш продуктивне використання енергетичних ресурсів для підвищення екологічної та соціальної безпеки країни. На рис. 2 наведено вугледобувні регіони України та аналітичні дані щодо зайнятості населення у вугільній галузі. Отже, найбільшими ризиками може бути зниження рівня життя працівників державних підприємств вугільної галузі у випадку ліквідації/консервації шахт. Оскільки вразливою групою у випадку закриття всіх державних шахт залишається близько 38 тис. шахтарів, котрим необхідно створити альтернативні робочі місця після закриття чи реорганізації вугільних підприємств [8].

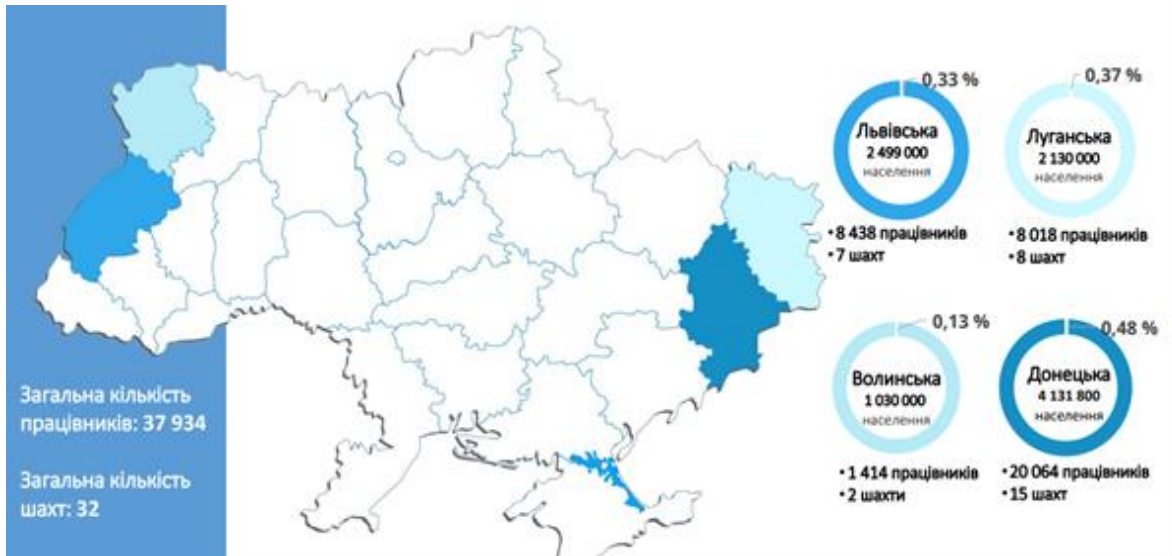


Рисунок 2 – Вугледобувні регіони та зайнятість населення у вугільній галузі [8]

Таким чином, проблема регулювання розвитку депресивних вугледобувних регіонів тісно пов'язана з регулюванням самої вугільної галузі. Основні поклади українського вугілля зосереджені саме у Львівсько-Волинському вугільному басейні. Зазначимо, що усі вуглевидобувні підприємства Західного регіону України, на відміну від інших, перебувають у державній власності.

Львівсько-Волинський вугільний басейн розташований на північному заході України у верхній течії річки Західний Буг і є південно-східною частиною Люблінського вугільного басейну, що знаходиться на території Польщі. Площа Львівсько-Волинського вугільного басейну складає 1400 км², протяжність понад 190 км, середня ширина приблизно 60 км. В межах Львівсько-Волинського басейну розташовані 4 кам'яновугільні родовища: Нововолинське, Забузьке, Межиріченське і Сокальське. На базі Львівсько-Волинського вугільного басейну функціонують вугледобувні підприємства Львівської та Волинської областей, на які припадає близько 7% загального обсягу видобування вугілля в Україні. Львівський регіон представляють: ДП «Львіввугілля» (7 вуглевидобувних шахт). У Волинській області функціонує ДП «Волиньвугілля» (2 діючі вугледобувні шахти) (табл. 1) [9].

Таблиця 1 – Добувні підприємства Львівсько-Волинського вугільного басейну

Назва підприємства	Видобуток вугілля за 2017 р., тис. т	
	План	Факт
ДП «Львіввугілля»	1722,0	1341,2
Шахта «Великомостівська»	250, 0	228,7
Шахта «Межирічанська»	277, 5	161,0
Шахта «Відродження»	263, 0	162,0
Шахта «Лісова»	218,5	221,0
Шахта «Зарічна»	132	78
Шахта «Степова»	280	186
Шахта «Червоноградська»	301	302
ДП «Волиньвугілля»	400	376
Шахта «Бужанська»	190	142
Шахта «Нововолинська»	120	138

Проведений аналіз [9] демонструє вкрай низьку економічну ефективність діяльності більшості вуглевидобувних потужностей Західного регіону України, що призведе до появи нових депресивних районів. На рис.3 наведено приклади населених пунктів, які підпадають під трансформацію вугільних регіонів.



Рисунок 3 – Приклади населених пунктів, які підпадають під трансформацію вугільних регіонів [8]

Таким чином, процес трансформації передбачає оцінку ресурсного потенціалу окремих вугільних підприємств та прийняття на цій основі рішення про їх закриття або подальшу приватизацію. Разом з цим, відповідно до кліматичних цілей, багато країн оголосили про припинення електрогенерації на основі вугілля з метою декарбонізації своїх

електроенергетичних систем. На сьогодні 20 із 27 країн - членів ЄС оголосили про відмову від використання вугілля як джерела електроенергії або вже не використовують його.

Отже, відповідно до глобальних та національних викликів маємо з однієї сторони деградацію вугільної промисловості, а з іншої – розвиток енергетики на відновлюваних джерелах У роботі [10] зазначається, що відновлювані джерела енергії за сценарієм переходу забезпечують більше половини виробництва електроенергії до 2030 року. На основі проведених досліджень [10] було змодельовано сценарій переходу, який передбачає лінійне закриття усіх вугільних потужностей в Україні у період 2021–2030 років. Паралельно встановлена потужність виробництва електроенергії з відновлюваних джерел за цим сценарієм 35 ГВт потужності вітрової, сонячної, гідро- та біоенергетики до 2030 року. Інші потужності, такі як атомна генерація, залишаються незмінними або змінюються відповідно до поточних планів щодо закриття або введення в експлуатацію (рис. 4). Таким чином, ключовими принципами трансформації мають бути поступовість, поетапність, довгостроковість, державна бюджетна підтримка, залучення нових інвесторів, створення робочих місць, вивільнення та навчання персоналу тощо.

Проблеми розвитку трансформованих вугільних регіонів та їх реабілітації на основі інженерних та екологічних технологій потребують регулювання, які впроваджуються на державному рівні та побудовані на основі балансу інституційних інтересів держави, бізнесу та науки. У зв'язку з трансформацією вугільної галузі невирішеним досі питанням залишається удосконалення вже наявних в Україні механізмів державно-приватного стимулювання розвитку депресивних вугледобувних регіонів з урахуванням принципів та положень комплексної концепції справедливої трансформації.

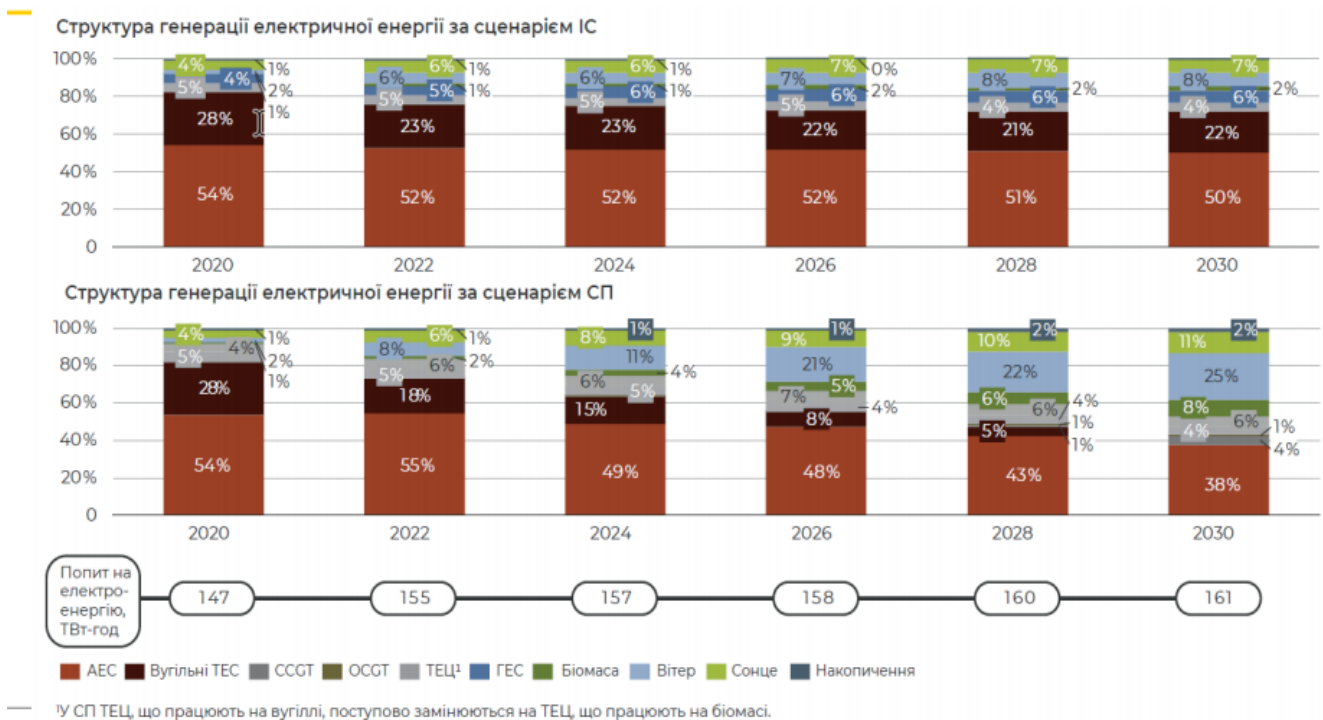


Рисунок 4 – Структура генерації електричної енергії за сценарієм [10]

Отже, враховуючи світовий тренд декарбонізації економіки для виконання цілей Сталого розвитку та амбітних цілей Паризької кліматичної угоди, а також Європейський Green Deal, Україні потрібні дієві кроки для забезпечення економічної, екологічної та соціальної безпеки трансформованих вугільних регіонів. Наразі деякі збиткові шахти України просто ліквідуються без виконання належної державної підтримки (наприклад, забезпечення новими робочими місцями) як самих вивільнених шахтарів, так і мешканців тих територій, котрі залежать від вугільної промисловості, а також, без врахування подальших економічних та екологічних наслідків занедбаних регіонів.

Висновок. Основними принципами справедливої або зеленої трансформації вугільних регіонів є використання їхнього потенціалу для створення привабливого для життя середовища, що підвищить екологічну та соціально-економічну безпеку таких територій після закриття об'єктів вугільної промисловості. Також використання нових енергетичних технологій дозволить зменшити негативні наслідки ліквідації безперспективних вугільних шахт та інших підприємств, збільшити зайнятість населення місцевих громад, забезпечити позитивний вплив на промислову й екологічну безпеку, фінансування та соціально-економічний розвиток територій. Необхідними є реалізація проєктів для сприятливого інвестиційного розвитку вугільних територій, враховуючи найкращі Світові практики, наприклад розробка моделей індустріальних та екоіндустріальних парків, переформатування гірничих підприємств на інші види економічної діяльності тощо.

Список використаної літератури

1. Проєкт розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Концепції трансформації вугільних регіонів України на період до 2030 року». [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua>. – Назва з екрана.
2. Нова енергетична стратегія України до 2035 року: «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112>. – Назва з екрана.
3. Цілі сталого розвитку - Global Compact Network Ukraine. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://globalcompact.org.ua/pro-nas/tsili-stijkogo-rozvytku/>. – Назва з екрана.
4. Проєкт КМУ «Про схвалення Другого національно визначеного внеску України до Паризької угоди». [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/>. – Назва з екрана.
5. Дорожня карта кліматичних цілей України до 2030 року. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2020/02/dk-clim-ciley-full2.pdf>. – Назва з екрана.
6. Проєкт Аналітичного огляду Другого національно визначеного внеску України до Паризької угоди, квітень 2021. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://mepr.gov.ua>. – Назва з екрана.
7. ЗВІТ про результати аудиту ефективності використання коштів державного бюджету, передбачених Міністерству енергетики та вугільної промисловості України на державну підтримку вугледобувних підприємств на часткове покриття витрат із собівартості готової товарної вугільної продукції. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

https://rp.gov.ua/upload-files/Activity/Collegium/2019/32-2_2019/Zvit_32-2_2019.pdf. – Назва з екрана.

8. Про розробку національної програми трансформації вугільних регіонів України до 2027 року. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua/press/news/konczepczija-naczionalnoyi-programy-transformaczii-vugilnyh-regioniv-ukrayiny-do-2027-roku/> – Назва з екрана.

9. Босак П. В. Екологічна безпека стічних вод породних відвалів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового району. – Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 «Екологічна безпека» (101 «Екологія»). – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій, Львів, 2021.

10. Економічні наслідки поступової відмови від використання вугілля в Україні до 2030 року / М. Пройс, О. В. Михайленко, І. Сабака, Б. Пробст; за заг. ред. П.Баума та О. Р.Алієвої. - К.: 7БЦ, 2021. - 140 с.

УДК 624.191.242

О.С. Вислоух, магістрант кафедри Геоінженерії,
науковий керівник В.В. Вапнічна
КПІ імені Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРИ СПОРУДЖЕНІ ДЕМОНТАЖНО-ЩИТОВОЇ КАМЕРИ В ІСНУЮЧОМУ СТВОЛІ

Тези присвячені актуальній темі - визначенню методу послідовного виконання робіт для недопущення деформацій при безпосередній експлуатації демонтажно-щитової камери.

В роботі на основі комп'ютерно-математичного моделювання в залежності від методу виконання робіт визначено навантаження на кріплення, величину деформацій.

Також внесено пропозицію щодо методу закріплення для можливості безпечного виконання робіт та приведення стану ґрунтового масиву у сталий стан.

Ключові слова: спорудження, демонтажно-щитова камера, тунель, методи спорудження, ґрунтовий масив, тунелепрохідницький комплекс.

TECHNOLOGICAL ASPECTS IN THE CONSTRUCTION OF A DISASSEMBLY AND BOARD CAMERA IN AN EXISTING TRUNK

Theses are devoted to a topical issue - the definition of the method of sequential work to prevent deformation during direct operation of the dismantling panel.

In the work on the basis of computer-mathematical modeling, depending on the method of work, the load on the mounting, the amount of deformation is determined.

A proposal was also made on the method of fixing for the possibility of safe performance of works and bringing the condition of the soil mass into a stable condition.

Key words: construction of dismantling and panel chambers in the existing tunnel; analysis of existing methods of construction of dismantling panel boards; characteristics of the soil mass.

Вступ. При виконанні робіт під час будівництва тунелів та метрополітенів в Україні через існуючі шахтні стволи проводиться демонтаж механізованих тунелепрохідних комплексів, які безпосередньо беруть участь в активній розбудові інфраструктури міста.

Метою роботи є аналіз та порівняння методів виконання робіт при спорудженні демонтажно-щитової камери в існуючому стволі.

Завданням роботи є розрахунок впливу навантажень на майбутню виробку з розглядом новітньої технології закріплення ґрунтів (SPT).

Матеріали та результати дослідження. Для організації процесу демонтажу в існуючому стволі проводиться ряд підготовчих робіт, а саме:

- закріплення ґрунтового масиву;
- демонтаж існуючих блоків оправи стволу;
- спорудження демонтажно-щитової камери (сполучення) стволу з тунелем;
- проведення робіт з демонтажу щитового комплексу.

Основними чинниками для вибору методу виконання робіт є:

1. Технологія спорудження вже існуючого стволу.
2. Геологічні та гідрогеологічні умови.
3. Розміри майбутньої виробки.

Розглянемо два методи виконання робіт.

1. Спорудження суцільним забоєм, породу виймають по всьому перетині на проектну довжину спорудження демонтажно-щитової камери. По мірі виїмки породи зводять тимчасове анкерне кріплення в поєднанні з металевою сіткою або металевими арками. Можливо також застосування тимчасової дерев'яної затяжки. Породу транспортують в ствол, вантажать пневмонавантажувачами в бадді і видають на поверхню.

Найбільш поширеною є схема спорудження демонтажно-щитової камери шарами зверху вниз. При цьому перетин сполучення поділяють на два-три шари, висота шару 1,8-2,5 м. Ствол поглиблюють до ґрунту верхнього шару, після чого здійснюють виїмку породи у верхньому шарі на всю довжину спорудження демонтажно-щитової камери і зводять тимчасове кріплення. Далі зводять в напрямку від забою спорудження демонтажно-щитової камери до ствола - постійне бетонне або залізобетонне кріплення.

2. Спорудження сполучення незалежними забоями за допомогою бокових виробок проводять в слабостійких породах при значному гірському тиску. Прохідницькі роботи за цією схемою виконують в декілька етапів. Спочатку по краях спорудження демонтажно-щитової камери проводять бокові виробки шириною 1,8-2,0 м і висотою 2,0-2,5 м з тимчасовим дерев'яним кріпленням. Потім в бокових виробках зводять бетонні стіни сполучення. Далі виймають породу в частині склепіння сполучення зі зведенням тимчасового дерев'яного кріплення, після чого встановлюють опалубку і від забою до ствола зводять бетонне кріплення в склепінні. Потім виймають породний цілик, після цього здійснюють подальшу проходку ствола.

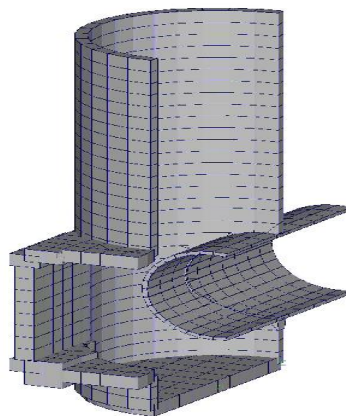


Рисунок 1 – Візуалізація існуючого ствола та майбутньої монтажно-щитової камери.

До виконання робіт зі спорудження демонтажно-щитової камери (рис. 1), ґрунтовий масив біля ствола знаходиться в стані стійкої рівноваги. Його напружений стан характеризується силою тяжіння ґрунту та незначними тектонічними й температурними факторами. Після виконання робіт з розкриття виробки, напружений стан переходить в двосторонній: вертикальний та горизонтальний й супроводжується навколо контуру ствола зоною непружної деформації. Величина зони залежить від глибини закладання, фізико-

механічних властивостей ґрунтового масиву, піддатливістю тимчасового кріплення, геометричними розмірами виробки.

При визначенні методу виконання робіт кріплення бокових виробок, штольні та каллоти приймаються за методом проф. Протодьяконова з умовою можливості утворення в породному масиві самонесучого склепіння обвалення у разі, достатній по висоті однорідного інженерно-геологічного масиву ґрунту над склепінням майбутньої виробки.

Величина навантаження приймається, як вага умовно розрихленої породи в межах контуру склепіння обвалення. Навантаження на тимчасове кріплення залежить від вчасного (в процесі розробки), якомога щільнішого прилягання його до породи. З часом навантаження зменшується в наслідок «пристосування» масиву та кріплення до нового стану силових впливів.

Найбільш складним етапом спорудження камери є влаштування сполучення з стволом. При розкритті виробки виникають концентрації навантаження, що призводить до їх нерівномірного розподілу на кріплення (рис. 2). Виконання робіт необхідно виконувати зверху вниз. Обпирання склепіння залізобетонної конструкції з відповідною жорсткістю, відбувається на верх оправки камери (рис. 3).

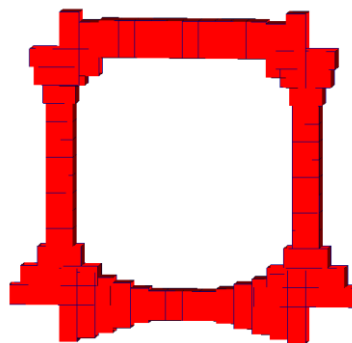


Рисунок 2 – Схема розподілу навантажень в демонтажно щитовій камері

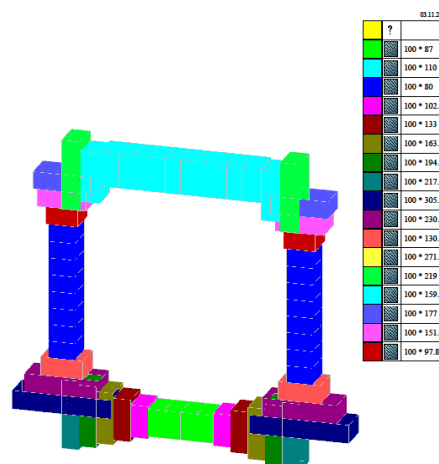


Рисунок 3 – Розрахункова схема жорсткості в елементах демонтажно-щитової камери в залежності від навантажень

Постійне навантаження від власної ваги ґрунтового масиву з урахуванням реального стану масиву до моменту утворення виробки слід прикладати у вигляді об'ємних сил, що створюють силове гравітаційне поле, рівень напруженості якого зростає прямо пропорційно глибині відносно поверхні землі [1].

Для стабілізації стану масиву використовується новітня технологія нагнітання SPT, що надає можливість закріпити масив та забезпечити його стійкість.

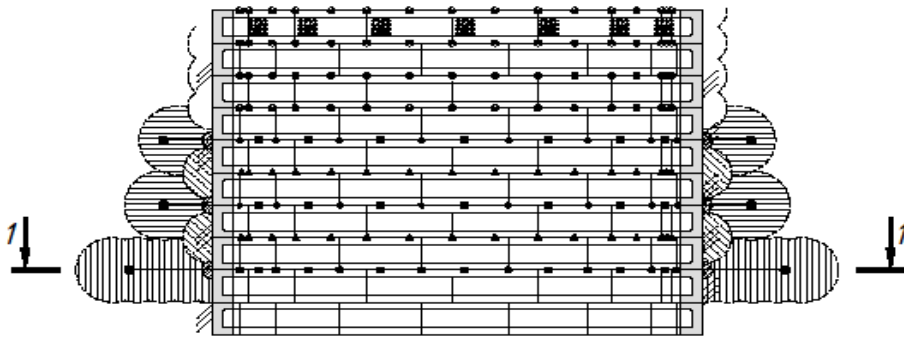


Рисунок 4 – Місце застосування технології SPT

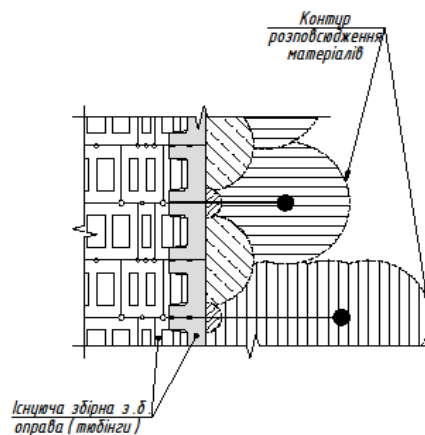


Рисунок 5 – Контур розповсюдження матеріалу

Полімерний матеріал, що нагнітається (при застосуванні технології SPT) за рахунок просочення в можливі мікротріщини за наступним розривом шарів при нагнітанні та лінійному розширенні при твердінні, здійснює ущільнення прилеглого до оправи ґрунту з витісненням залишків води в верхні шари водонасичених ґрунтів (рис. 4, 5). Крім того, створений таким чином тип захисту дозволяє убезпечити від проблеми розтікання незв'язних піщаних зволжених ґрунтів навколо оправи стволу, що знаходиться вище конструкції ножового кільця, в зонах поетапного розкриття отворів оправи стволу та надщелиною виробки при спорудженні демонтажно-щитової камери.

Висновок. Таким чином можна зробити висновок, що спосіб розкриття виробки

незалежними забоями з застосуванням технології SPT дозволяє значно зменшити навантаження на кріплення виробки та уникнути ризиків, що можуть виникнути у разі використання методу розкриття виробки на повний переріз. А саме, критичного збільшення навантаження на кріплення виробки, що може призвести до її деформацій та руйнування.

Список використаної літератури

1. ДБН В.2.3-7-2010 «МЕТРОПОЛІТЕНИ. Споруди транспорту»: Київ Мінрегіонбуд України, 2011. 192 с. URL: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/12/77.1.-DBN-V.2.3-7-2010.-Sporudi-transportu.-Metropoliten.pdf>

УДК 628.24

С. І. Гончаренко, студент 2-го курсу
КПІ імені Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

УСУНЕННЯ АВАРІЙНОЇ СИТУАЦІЇ ПРИ ЗМІНІ ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ ПІД ЧАС МІКРОТУНЕЛЮВАННЯ

Проаналізовано випадок, що виникає під час мікротунельної проходки, яка приводить до непередбачених витрат, руйнування щиту та збільшення терміну будівництва. Для вирішення проблеми був розглянутий датчик високого тиску.

Ключові слова: щит, мікротунелювання, аварія, тиск, датчик.

ELIMINATION OF THE EMERGENCY SITUATION DURING THE CHANGE OF GEOLOGICAL MINDES DURING THE MICROTUNNELLING METHOD

The case that occurs during microtunnel drilling, which leads to unforeseen costs, destruction of the shield and increase the construction time is analyzed. To solve the problem, a high pressure sensor was considered.

Key words: shield, microtunnelling, accident, pressure, sensor.

Вступ. В м. Києві зустрічались випадки, коли при будівництві щитовим способом, із за переходу з піщано – глинистих в скельні ґрунти, валуни або будівельне сміття, виникає різкий перепад тиску, тим самим викликає аварію.

Мета роботи. Дослідження аварійної ситуації, яка викликана різкою зміною геологічних умов ґрунтових масивів, під час мікротунелювання.

Матеріали і результати досліджень. Об'єктом дослідження, є колектор, який прокладається по вул. Челябінська (рис. 1).

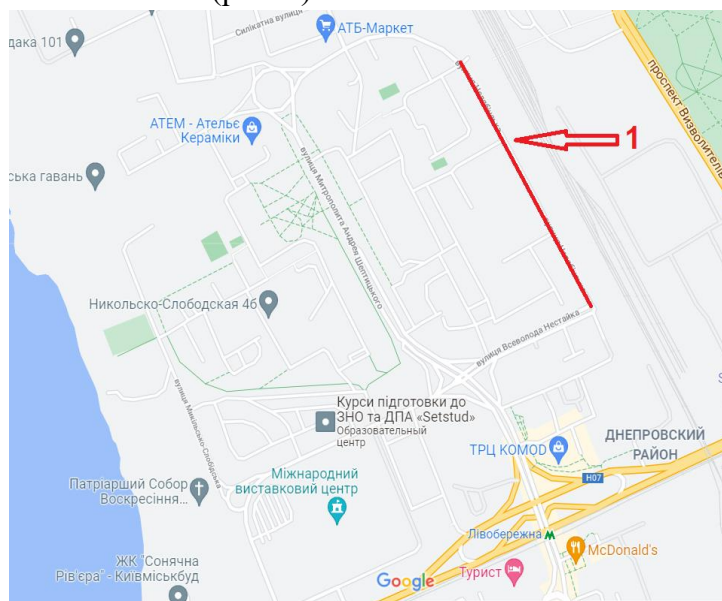


Рисунок 1 – Ситуаційний план

На даному об'єкті, під час мікротунелювання стався випадок, який привів до тимчасового припинення робіт. Під час проходки, щит натрапив на будівельне сміття, що призвело до руйнування ножової частини.

Вирішенням проблеми є спеціально розроблений датчик тиску для його вимірювання на тунельно-бурильній машині (рис. 2).

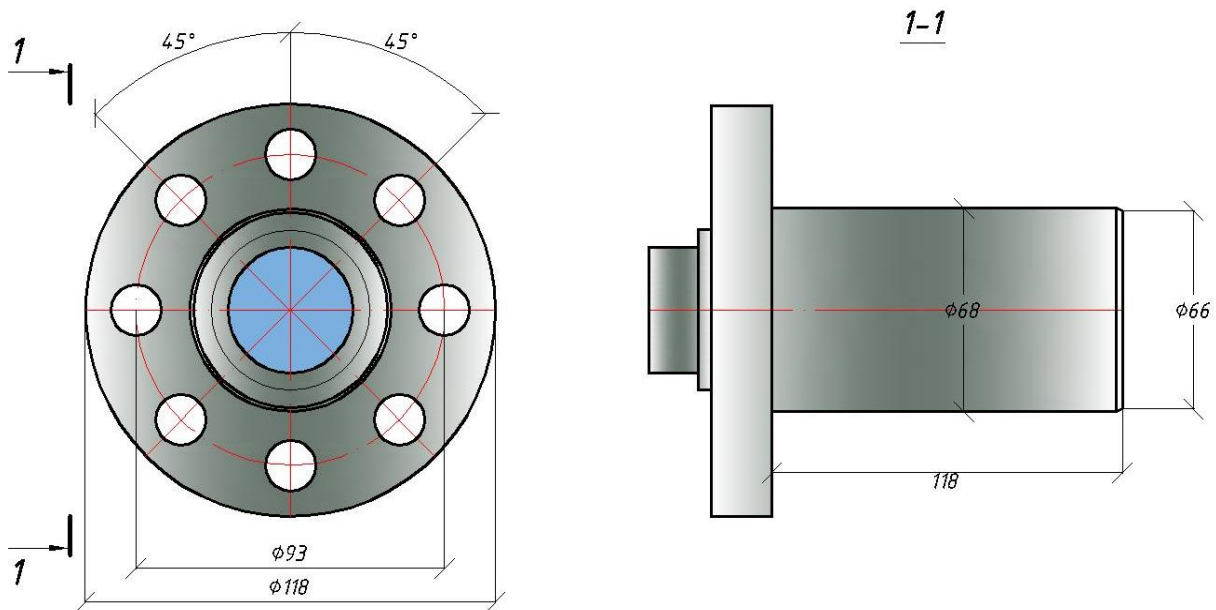


Рисунок 2 – Датчик високого тиску

Конструкція виконана для досягнення максимально можливої стійкості до середовища з камінням, гравієм, піщаною глиною, суспензією, водою, повітрям або їх сумішшю. Відкрита діафрагма покрита надзвичайно міцним гумовим захистом.

Завдяки конструкції передавач може вимірювати як тиск в одній точці, так і розподілений тиск, тобто тиск на всю діафрагму, з однаковою високою точністю. Одиночний точковий тиск може бути, наприклад, кутом каменю, що контактує з діафрагмою.

Принцип дії датчику високого тиску:

- Тиск середовища діє на діафрагму і передається на п'єзорезистивний датчик через технічне масло під тиском. Оскільки це масло повністю заповнює об'єм між діафрагмою і датчиком, рух діафрагми дуже малий при зміні тиску;
- Для отримання атмосферного тиску на задній стороні датчика як еталонного тиску його з'єднують з навколишнім через капілярну трубку, захищену рідинним фільтром;
- Електроніка вимірює та перетворює вихідний сигнал з моста датчика, що залежить від тиску, у цифрові значення;
- Цифрове значення перетворюється в аналогове;
- При перевищенні заданого тиску, щит автоматично вимикається.

Результати показали що датчик усуває аварійну ситуацію, яка викликана різкою зміною

геологічних умов ґрунтових масивів, під час мікротунельної проходки.

Висновок. Провівши дослідження проблеми, яка виникла на колекторі, який прокладається по вул. Челябінська, визначено що при вимірюванні тиску при проходці, знижується ризик руйнування ріжучої частини щиту, тим самим не виникає фінансові проблеми, та не подовжуються строки робіт.

Список використаної літератури

1. Keiper K., Crapp R., Amberg, F. Assessment of the interaction of TBM and rock mass in rock tunnelling based on geomechanical calculations /. Bewertung der Interaktion von TBM und Gebirge im Felstunnelbau auf der Basis von geomechanischen Berechnungen. *Geomechanics and Tunnelling*. 2010. Vol. 3, No. 5. P. 534-546.
<https://doi.org/10.1002/geot.201000046>
2. Qi Geng, Zhengying, Wei, Hao Meng. An experimental research on the rock cutting process of the gage cutters for rock tunnel boring machine (TBM). *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2016. Vol. 52. P. 182-191
<https://doi.org/10.1016/j.tust.2015.12.008>

УДК 624.1

Олександр Лісовський, студ. гр. ОС-301мп,
керівник Наталя Зуєвська.
КПІ імені Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

ОГОРОДЖУВАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ КОТЛОВАНІВ ТА МЕТОДИ БУДІВНИЦТВА ПІДЗЕМНИХ СПОРУД

У наші дні освоєння підземного простору може, по-праву, вважатися у світовому масштабі одним з найважливіших напрямків, що динамічно розвивається в цивільному і промисловому будівництві. Найбільш широко будівництво підземних споруд ведеться на територіях великих міст та мегаполісів. Основними факторами, що сприяють необхідності використання підземного простору міст, є як нестача вільних територій в умовах забудови, що історично сформувалася, так і вимоги розвитку міської інфраструктури.

Ключові слова: огороджувальні конструкції, котлован, траншея, бічний тиск, «стіна в ґрунті», тиск ґрунту, кріплення, підземна споруда, відкритий спосіб.

PROTECTIVE STRUCTURES OF BOILERS AND METHODS OF CONSTRUCTION OF UNDERGROUND STRUCTURES

Nowadays, the development of underground space can rightly be considered one of the most important areas in the world, which is developing dynamically in civil and industrial construction. The most widespread construction of underground structures is carried out in large cities and metropolises. The main factors contributing to the need to use the underground space of cities are both the lack of free territories in the conditions of historically formed buildings and the requirements for the development of urban infrastructure.

Key words: enclosing structures, pit, trench, lateral pressure, "wall in the ground", soil pressure, fastening, underground structure, open method.

Вступ. Сьогодні підземний простір міст використовується не лише для розміщення інженерних комунікацій та об'єктів транспортного будівництва, але також для будівництва комплексів суспільно-побутового призначення, багатоповерхових підземних гаражів та стоянок, підприємств торгівлі, приміщень заглиблених частин житлових та офісних будівель.

Конструктивні рішення підземних споруд, а також способи їх влаштування залежать від об'ємно-планувальних рішень, їх призначення, глибини закладення, інженерно-геологічних умов, кліматичних та сейсмічних умов будівництва, навантажень на поверхні, наявності довколишніх будівель та споруд. За способом будівництва підземні споруди поділяються на закриті, відкриті і напівзакриті способи, що влаштовуються. Закритим способом будуються переважно лінійні споруди глибокого закладання, такі як тунелі та колектори різного призначення, похилі ходи метрополітену. Закрита проходка може здійснюватися штовельною, комбайновим способом, способом так званої «новоавстрійської технології», щитовим обладнанням, мікротунелюванням, методом продавлювання. У

розпорядженні будівельників на даний час є значний асортимент спеціального обладнання та технологій для виконання закритих підземних робіт практично на будь-яких глибинах та інженерно-геологічних умовах.

Мета та завдання полягає у розкритті та дослідженні основних методів будівництва підземних споруд та огорожуючих конструкцій котлованів, що мають попит в сьогоденні.

Матеріал та результати досліджень. Будівництво підземних споруд відкритим способом може здійснюватися як у котлованах без кріплення, борти яких сформовані під кутом природного укосу ґрунту, так і в котлованах, які підкріплені огорожувальними конструкціями (рис. 1). Влаштування котлованів у відкосах є найпростішим і, як правило, економічним рішенням, проте застосування цього способу зустрічає безліч обмежень, особливо в умовах обмеженої міської забудови. Обмеженням насамперед є необхідна глибина котловану. При збільшенні глибини закладення слід робити більш пологі укоси, займає площа та обсяги виїнятого з котловану ґрунту істотно зростають, що робить цей спосіб недоцільним або неможливим через обмеженість майданчика. Істотно ускладнюють застосування цього методу підземні води, оскільки стає необхідним використання будівельного водозниження. Тому котловани у відкосах зазвичай влаштовуються за відсутності забудови при глибокому заляганні рівня підземних вод.

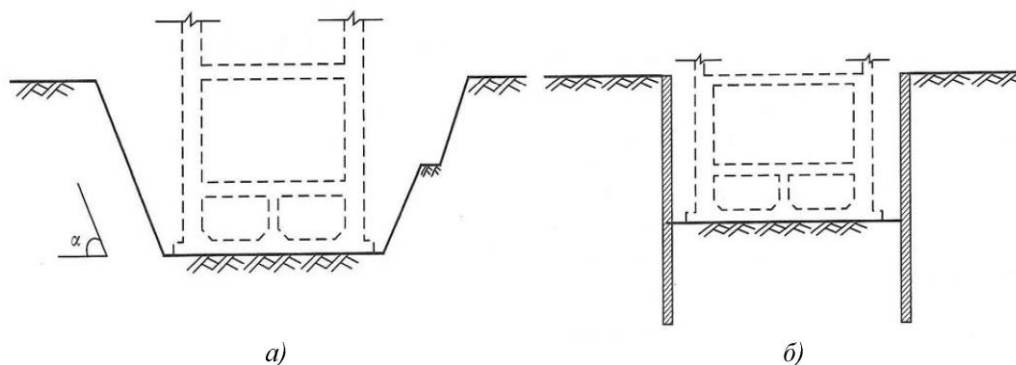


Рисунок 1 – Схема будівництва котловану з відкосами (а) і з огорожею (б)

Іншою технологією влаштування підземних споруд у котлованах є будівництво способом опускного колодезя. Даний метод будівництва передбачає влаштування на поверхні або в піонерному котловані конструкції колодезя, відкритого зверху та знизу. Стіни в нижній частині колодезя обладнують ріжучим елементом – ножем. При вилученні ґрунту всередині колодезя конструкція занурюється в ґрунт під дією власної ваги або додаткового навантаження. У міру занурення стіни колодезя можуть збільшуватися. Після занурення колодезя до проектної глибини влаштовується днище, гідроізоляція та виконуються конструкції у середині колодезя. Колодезі влаштовуються, як правило, круглими в плані (рис. 2), хоча можлива й інша їх форма. Конструкція опускних колодезів виконується із монолітного, збірного чи збірно-монолітного залізобетону. Діаметр опускних колодезів може змінюватися від кількох метрів до кількох десятків метрів. Найбільша споруда у світі, побудована способом опускного колодезя, знаходиться в Росії - Головна насосна станція в селищі Ольгине має діаметр 66 м і глибину занурення 70 м. Спосіб знайшов своє застосування переважно для будівництва інженерних споруд: стволів шахт, підземних камер, резервуарів та

насосних станцій. У міських умовах поблизу забудови занурення колодязів нині виконують дуже рідко через можливість розвитку осадки існуючих будівель.

Найбільш простою у виконанні і, відповідно, економічною є конструкція огороження котловану, що влаштовується з вертикальних сталевих елементів, що занурюються в ґрунт по контуру котловану. У міру розробки ґрунту в котловані між металевими елементами встановлюється забірка із дерев'яних дощок або сталевих листів, що перешкоджає обсіпання ґрунту в котлован. Як несучі сталеві елементи, як правило, використовують труби або двотаври (рис. 3), які занурюють у пробурені свердловини або задавлюють. При використанні у складі огороження труб для їх занурення можливе також застосування технології загвинчування. Даний тип огороження не є водонепроникним, тому у разі його використання у водонасичених ґрунтах потрібно водозниження. Порівняно з іншими типами огорожі котлованів конструкція із забіркою має більшу деформованість та меншу міцність. Діапазон його застосування обмежується, як правило, глибинами котловану до 10 м, його застосування не рекомендується за наявності в основі водонасичених структурно-нестійких ґрунтів.



Рисунок 2 – Занурення збірно-монолітного опускного колодязя

Найбільш простою у виконанні і, відповідно, економічною є конструкція огороження котловану, що влаштовується з вертикальних сталевих елементів, що занурюються в ґрунт по контуру котловану. У міру розробки ґрунту в котловані між металевими елементами встановлюється забірка з дерев'яних дощок або сталевих листів, що перешкоджає обсіпання ґрунту в котлован. Як несучі сталеві елементи, як правило, використовують труби або двотаври (рис. 3), які занурюють у пробурені свердловини або задавлюють. При використанні у складі огороження труб для їх занурення можливе також застосування технології загвинчування. Даний тип огороження не є водонепроникним, тому у разі його використання у водонасичених ґрунтах потрібно водозниження. Порівняно з іншими типами огорожі котлованів конструкція із забіркою має більшу деформованість та меншу міцність. Діапазон його застосування обмежується, як правило, глибинами котловану до 10 м, його застосування не рекомендується за наявності в основі водонасичених структурно-нестійких ґрунтів.

Шпунтові огорожі котлованів широко використовуються в гідротехнічному

будівництві в умовах слабких водонасичених ґрунтів за високих позначок рівня підземних вод. Такі конструкції здатні сприймати не тільки тиск ґрунту, а й гідростатичний тиск, будучи одночасно протифільтраційною завісою. Шпунтові елементи стін являють собою сталеві профілі U- , Z-подібного поперечного перерізу або плоскі (рис. 4.а), забезпечені замковими захватами по краях, що дозволяють фіксувати один елемент відносно іншого у вертикальному положенні. Найбільшого поширення набули U-подібні шпунти типу «Ларсен». Встановлення шпунта в ґрунт здійснюється зазвичай віброзануренням.



Рисунок 3 – Огородження котловану зі сталевих елементів із забіркою

Шпунтові стіни, влаштовані в замок, мають досить високу жорсткість і здатні сприймати згинальні моменти, що значно перевищують граничні значення для огорож з забіркою (рис. 4.б). Обмеженням для використання шпунта є складність або неможливість його занурення в гравійних, скельних та напівскельних ґрунтах. Іншим його недоліком є висока вартість. В умовах міста за наявності забудови використання шпунта може бути рекомендовано тільки за відсутності в геологічному розрізі міцних ґрунтів, так як в іншому випадку занурення шпунту може призвести до розвитку значних осадки приміщень, а також до дискомфорту через шум жителів.

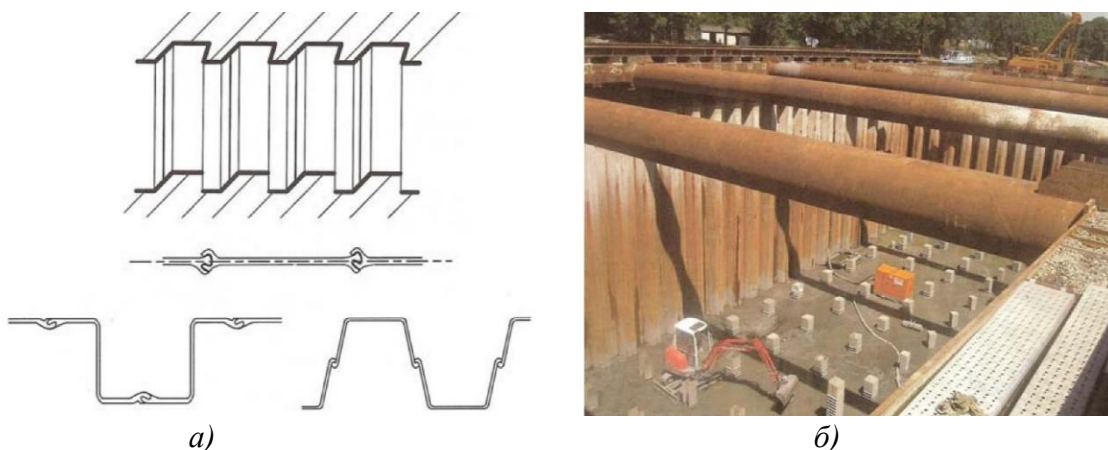


Рисунок 4 – Шпунтове огородження котловану

Огородження котловану в ідеальному випадку має поєднувати в собі такі основні функції: сприймати бічний тиск ґрунту, бути протифільтраційною завісою і сприймати гідростатичний тиск підземних вод, при необхідності сприймати вертикальні навантаження, мінімізувати вплив котловану на забудову. Найбільш повно поєднанню всіх цих функцій відповідають конструкції, що влаштовуються способом «стіна в ґрунті». Будівництво огорож котлованів і фундаментів будівель способом «стіна в ґрунті» передбачає влаштування в ґрунті за допомогою спецобладнання вузької траншеї необхідної глибини, стійкість стінок якої забезпечується спеціальними тиссотропними розчинами з бентонітових глин. Траншеї розробляються окремими захватками, довжина яких у плані відповідає розмірам навісного обладнання і становить зазвичай від 2.2 до 3 м. Захватки відокремлюються один від одного інвентарними обмежувачами, що витягуються до початку бетонування захватки, що примикає. Найбільшого поширення набули трубчасті або фасонні металеві розділові елементи обмежувачів, що дозволяють влаштовувати напівкруглі стики захваток або встановлювати між захватками гідроізолюючі вставки. Після того, як екскавація захватки доводиться до проектної позначки, до неї занурюється просторовий арматурний каркас. Далі в траншею занурюється бетонолітна труба, в яку подається бетонна суміш, що витісняє на поверхню бентонітовий розчин, що знаходився в захваті. Таким чином бетонування здійснюється знизу вгору в процесі підйому бетонолітної труби. Після набору необхідної міцності бетону починається влаштування сусідньої захватки. Послідовність робіт з влаштування «стіни в ґрунті» показано на рис. 5.а. В результаті, після замикання контуру в основі створюється залізобетонна стіна, що служить надійною огорожею котловану (рис. 5.б).

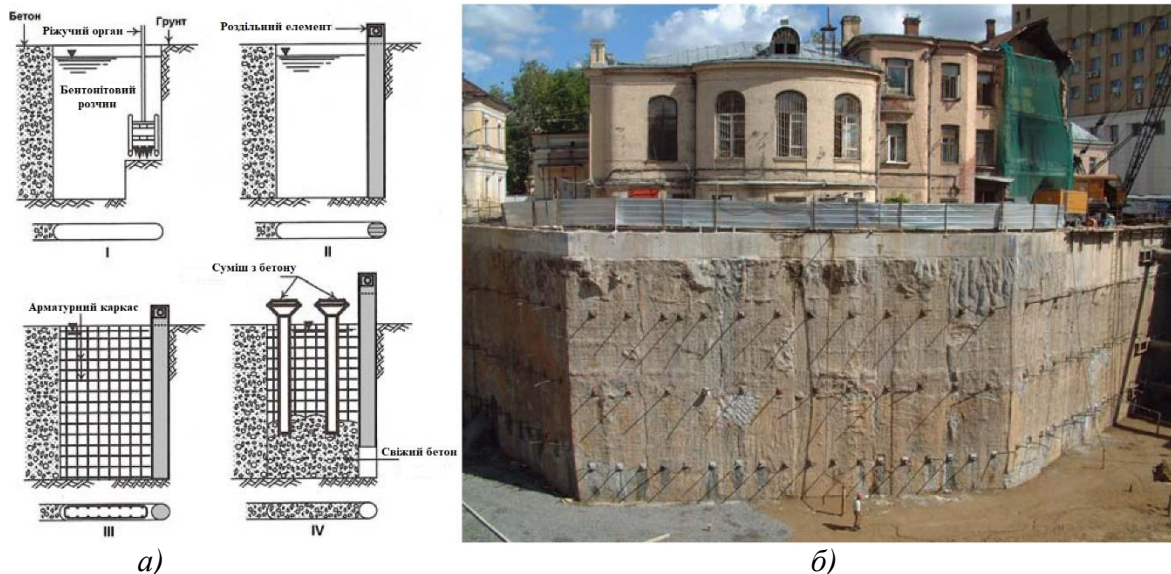


Рисунок 5 – Послідовність влаштування «стіни в ґрунті» (а). Монолітна «стіна в ґрунті» Турецького торгового центру в Замоскворіччі (б)

«Стіна в ґрунті» в сучасних умовах є найбільш універсальною конструкцією, яка використовується в підземному будівництві для огороження котлованів та захисту від підземних вод. Обладнання провідних світових виробників здатне влаштовувати траншейні стіни глибиною до 70 м та шириною від 400 до 1200 мм. Для проходки траншеї в м'яких

грунтах, що легко розробляються, застосовують плоскі ковшові грейфери (рис. 6.а), для влаштування траншей за наявності скельних і напівскельних ґрунтів застосовують навісне обладнання безперервної роторної дії - гідрофрези (рис. 6.б). Сучасні механізми для влаштування «стіни в ґрунті» дозволяють працювати навіть за дуже обмеженого висотного габариту, наприклад під прольотами мостів.

Влаштування траншейних «стін у ґрунті» в міських умовах все ж таки має ряд обмежень, пов'язаних в першу чергу з можливістю потрапляння бентонітового розчину в порожнини техногенних відкладень і макропористі ґрунти. Небезпечним є також проникнення глинистої суспензії в інженерні комунікації за умови їх близького розташування. Недоліком «стіни у ґрунті» є її висока вартість.

В умовах, коли втрати бентонітового розчину в ґрунтах можливі, а також при складній формі конфігурації підземної споруди в плані все більш широкого застосування знаходить влаштування огорож котловану з паль. Якщо рівень підземних вод розташований нижче дна котловану або передбачається будівельне водозниження, конструкція, що захищає котлован, може бути також виконана з окремо стоячих або дотичних бурових паль. Варіанти, що застосовуються на практиці планового розташування паль у складі огорож котлованів наведено на рис. 7.а, де номерами показано послідовність влаштування паль.



а)
б)
Рисунок 6 – Навісне обладнання для утворення «стіни в ґрунті»

Для влаштування тіла паль застосовуються різні технології, найбільш поширеною з яких є буріння ґрунту під захистом інвентарної обсадної труби, бетонування свердловини за допомогою бетонолітної труби, що піднімається, занурення в несхоплений бетон арматурного каркаса (рис. 7.б). Для влаштування огорож котлованів, як правило, застосовують палі діаметром від 0.6 до 1.2 м, при відсутності підземних вод застосовують окремі палі менших діаметрів. Досить висока міцність і жорсткість паль дозволяє розробляти під захистом котловани глибиною до 20-25 м (рис. 7.в). До недоліків таких підпірних стін можна віднести гіршу гідроізоляцію, ніж у траншейних «стін у ґрунті», а також досить високу вартість. При неякісному виконанні паль у нестійких водонасичених ґрунтах слід побоюватися можливих проривів ґрунтової маси в котлован через дефектні стики.

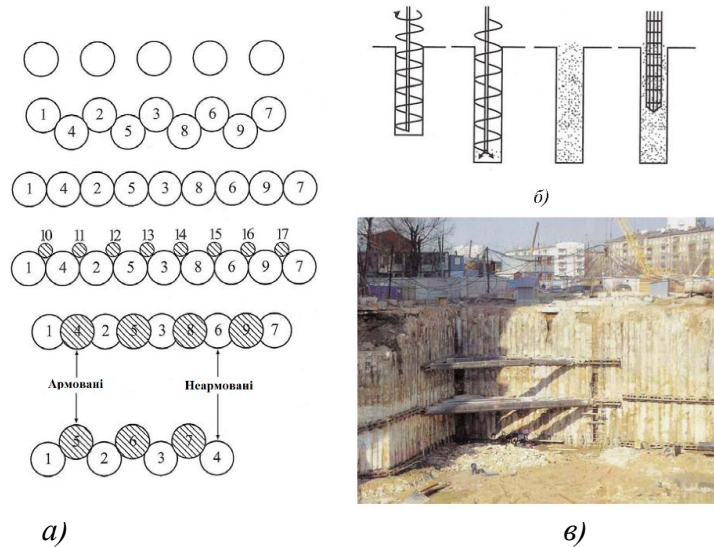


Рисунок 7 – Влаштування огороження із бурових паль

Все ширше в останні роки при влаштуванні котлованів стала застосовуватися струменева технологія (jet-grouting). Суть цієї технології полягає в перемішуванні ґрунту з цементним розчином або в повному заміщенні ґрунту розчином за допомогою високонапірного струменя. Для цього в свердловині малого діаметра занурюється гідромонітор, що має бічне сопло для створення водяного струменя високого тиску і отвір для торця для подачі затверджуючого наповнювача. При підйомі бурової штанги включається гідромонітор, що обертається, здійснює під тиском до 50 МПа розмив ґрунту в свердловині і одночасну подачу цементного розчину. В результаті в ґрунті утворюється стовп із ґрунтоцементу діаметром 0.8-1.5 м. При послідовному формуванні сусідніх ґрунтоцементних елементів струменева технологія застосовується для влаштування вертикальних екранів з jet-паль, які, працюючи у складі огорож котлованів, повинні армуватися металевими або залізобетонними сердечниками (рис. 8.a). Стінки з jet-паль мають рельєфну шорховату поверхню (мал. 8.б), тому при необхідності додаткового кріплення огорожі котловану слід проводити їх вирівнювання. Багаторядні jet-палі використовують також для посилення основ будівель, що знаходяться на брівці котлованів, спільно зі створенням масивних підпірних стін. Приклад такого технічного рішення пристрою огорожі котловану, реалізованого практично, наведено на рис. 9.

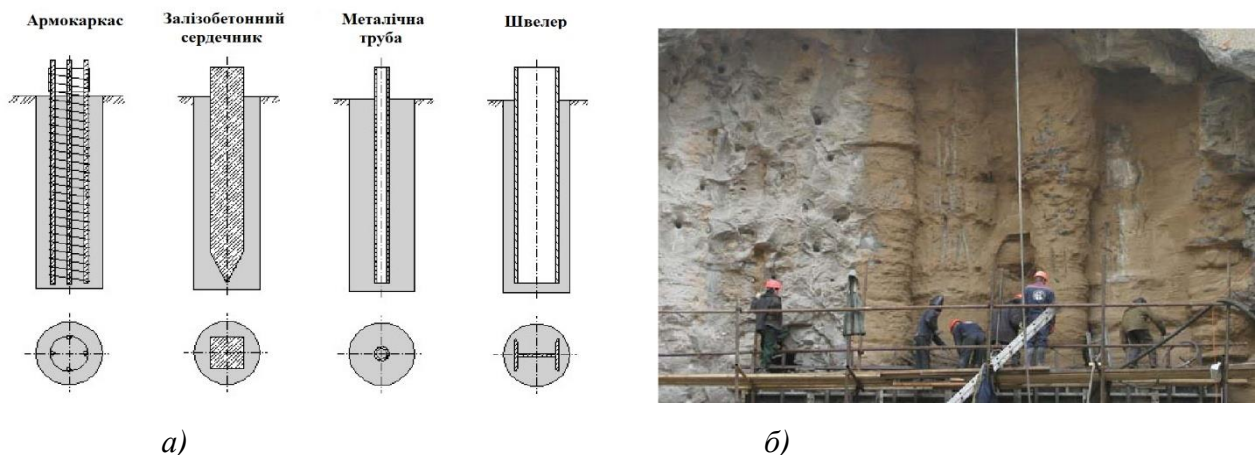


Рисунок 8 – Огороження котлованів, що виконане із застосуванням струменевої технології

Найбільш поширеним на даний час в Україні способом кріплення огорож котлованів при будівництві відкритим способом є влаштування тимчасової системи розпору з металевих елементів (рис. 10). Як розпірні елементи зазвичай використовують сталеві труби або прокатні профілі. У глибоких котлованах розпірні системи встановлюються кілька ярусів. Позначки встановлення ярусів розпірок вибираються із статичного розрахунку конструкції з урахуванням зручності їхнього подальшого демонтажу. Для цього розпірки мають у своєму розпорядженні кілька постійних перекриттів у підземній частині проектованої споруди. Крок встановлення розпірних елементів у плані, як правило, знаходиться в діапазоні від 4 до 8 м. Оскільки розпірки передають на огородження значні зосереджені навантаження, влаштування металевих або залізобетонних розподільних поясів на рівні установки розпорок є обов'язковим. При необхідності влаштування розпірних елементів більше 20 м зазвичай виконують проміжні тимчасові опори-стійки, що знижують вільну довжину розпорок.

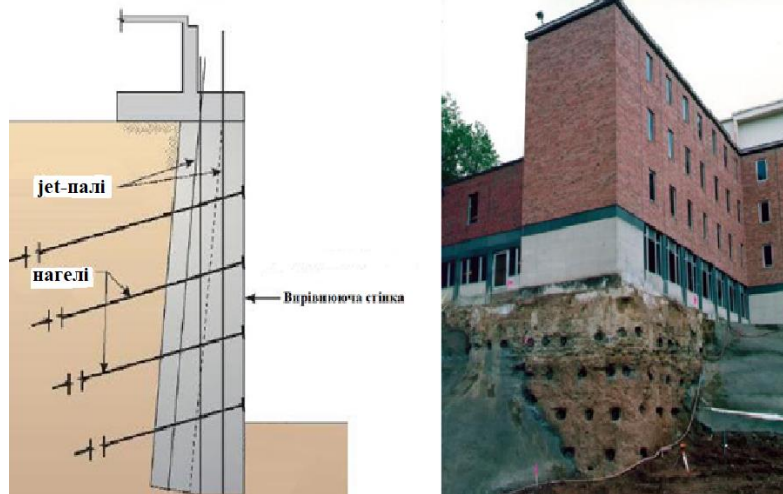
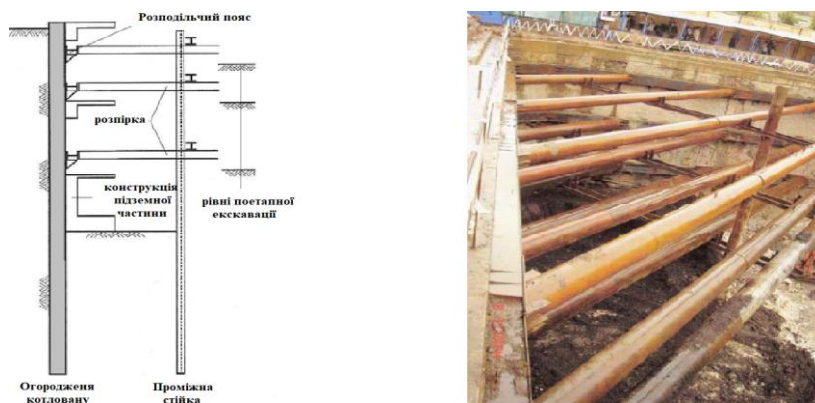


Рисунок 9 - Огородження котловану, що суміщує функції посилення фундаментів

Обмеженням доцільності розпірного методу кріплення служать планові розміри і глибина котловану, оскільки розробка ґрунту при влаштуванні трьох і більше ярусів розпорок або за наявності значної кількості проміжних опор є технологічно складною. При значному обсязі металу, що одноразово використовується, демонтованих елементів розпірної системи цей спосіб будівництва стає неекономічним.

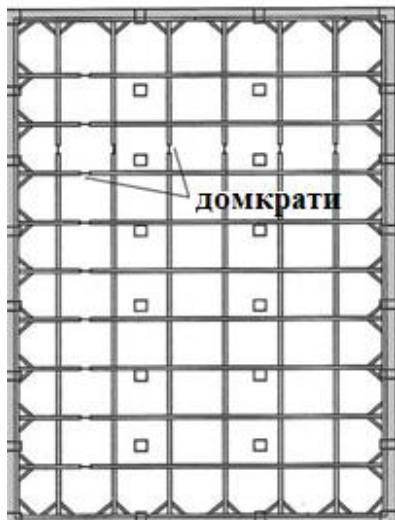


а)

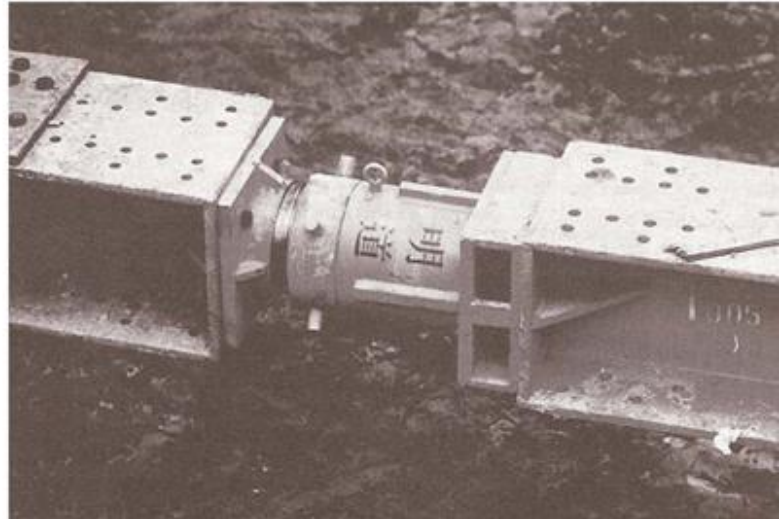
б)

Рисунок 10 – Багаторярусне розпірне кріплення котловану

Серед технологічних новинок, що використовуються за кордоном, але які не знайшли ще широкого застосування в нашій країні, можна відзначити системи збірних металевих розпірних елементів багаторазового застосування із кінцевими частинами, що замінюються (рис. 11.а). Ці системи набули поширення в країнах східної Азії. Часто вони включають ряд елементів, що напружуються (рис. 11.б), що дозволяє знижувати переміщення огородження котловану і контролювати величини зусиль в розпірках. Переднапруження в подібних системах досягається шляхом використання компактних горизонтальних домкратів, вмонтованих у металеві розпірні елементи багаторазового використання.



а)



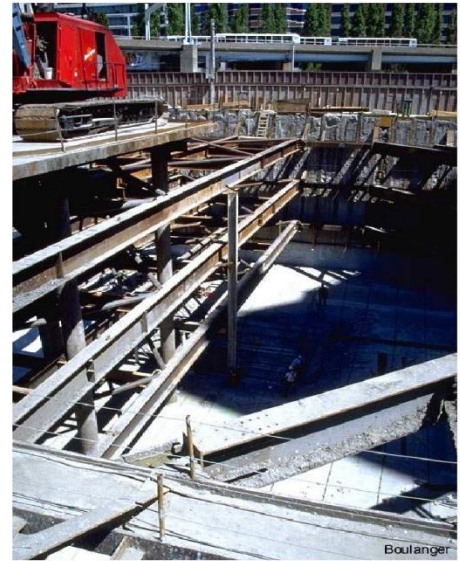
б)

Рисунок 11 – Розпірне кріплення із інвентарних елементів (а) і конструкція переднапруженого домкрата (б)

Іншим нововведенням, що набув поширення за кордоном, є розпірні системи у вигляді ферм. Конструкції горизонтальних залізобетонних ферм, що мають проміжні стійки, використовуються в Китаї (рис. 12.а) для екскавації котлованів значних розмірів у плані. Після завершення розробки котловану такі конструкції можуть бути включені до складу ребристих перекриттів підземних поверхів споруди. Вертикальні розпірні ферми з металевих елементів використовуються у США (рис. 12. б) для перекриття великих прольотів та забезпечення можливості розташувати на розпірній системі будівельне та технологічне обладнання, а також складувати матеріали у процесі зведення підземної частини будівлі.

Ще одним прикладом, що заслуговує на увагу, застосування у світовій практиці додаткових заходів влаштування так званих Т-подібних підпірних стін, або огорож з контрфорсами. Такі конструкції використовують при значних глибинах та площах котлованів. Контрфорси можуть влаштуватись як способом «стіна в ґрунті», так і з монолітного залізобетону в піонерному котловані. Прикладом застосування останньої технології є будівництво комплексу культурного призначення у Сінгапурі. Конструктивна схема огороження котловану комплексу показано на рис. 13. а. Котлован мав глибину 10 м і ширину понад 180 м. Будівництво підземної частини було розпочато з влаштування «стіни в ґрунті» по периметру та тимчасової огорожі шпунтів на відстані 17 м від неї всередині контуру споруди. До початку земляних робіт між стіною та шпунтом з поверхні були виконані бурові

палі, що бетонуються до позначки дна котловану.

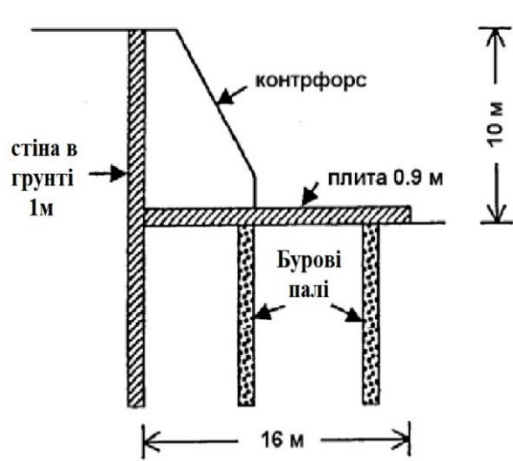


а)

б)

Рисунок 12 – Розпірне кріплення котлованів за допомогою горизонтальних (а) і вертикальних (б) ферм

Далі проводилася розробка піонерного котловану між постійною та тимчасовою стінами під захистом двох ярусів розпорок. Після завершення екскавації було влаштовано фундаментну плиту та контрфорси, що дозволяють далі утримувати тиск ґрунту без допомоги додаткового кріплення «стіни в ґрунті». Завершувалися роботи демонтажем тимчасової шпунтової стіни та екскавацією основного котловану. Як ще один приклад ефективного використання додаткових конструкцій можна навести пристрій котловану культурно-виставкового центру Монако глибиною 25 м під захистом «стіни в ґрунті» з контрфорсами (рис. 13.б).



а)

б)

Рисунок. 13 – Влаштування огорожувальних конструкцій котлованів з контрфорсами

Висновки. Можливості сучасних технологій та обладнання надають інженерам та будівельникам величезний вибір доступних способів улаштування підземних споруд. Широкий спектр технічних рішень щодо улаштування огорож котлованів та варіантів їх кріплення охоплює практично весь діапазон інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов, необхідних глибин та планових розмірів споруд. Вибір конструктивної схеми підземної споруди, типу огороження котлованів, способу її кріплення та технологічної послідовності робіт у котловані повинен бути продуманий та взаємно пов'язаний. У складних умовах цей вибір слід виконувати, зазвичай, виходячи з техніко-економічного зіставлення варіантів.

Список літератури

1. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика. М.: Стройиздат, 1985. 478 с.
2. Конюхов Д.С. Строительство городских подземных сооружений мелкого заложения. М.: Архитектура, 2005. 298 с.
3. Смородинов М. И., Федоров Б. С. Устройство фундаментов и конструкций способом «стена в грунте». М.: Стройиздат, 1986. 216 с.
4. МГСН 2.07-01. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М.: Москомархитектура, 2003. 108 с.

УДК 551.3

Ю. М. Сердюк, магістр

Кафедра геоінженерії,

КПІ імені Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

УМОВИ ТА ЧИННИКИ РОЗВИТКУ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ

У статті розглянуто чинники розвитку зсувних процесів, на основі цих чинників було виділено три основних причини зсувних процесів: зміна геометрії схилу, зміна якісного складу, додаткові навантаження на породу. Описано умови, що сприяють зсувним процесам, причому одна умова не призводить до зсуву, умовою зсувних процесів це завжди комбінація декількох умов. Вказано умову порушення рівноваги.

Ключові слова: зсуви, укоси, причини, умови, структура, властивості.

CONDITIONS AND FACTORS OF LANDSLIDE

The article considers the factors of development of landslide processes, on the basis of these factors were identified three main causes of landslide processes: changes in the geometry of the slope, changes in the qualitative composition, additional loads on the rock. The conditions that promote shear processes are described, and one condition does not lead to shear, the condition of shear processes is always a combination of several conditions. The condition of imbalance is was name.

Key words: landslides, slopes, causes, conditions, structure, properties

Вступ

Зсуви - поширені явища в світі та на території України. Це явища, що приносять економічні збитки та псують естетичну складову. Людство бореться з наслідками зсувних процесів та запобігає їх утворенню, та для ефективності дій необхідне чітке розуміння умов і причин виникнення зсувних явищ.

На рисунку наведено динаміку чисельності зсувних процесів в Україні по регіонам (рис. 1).

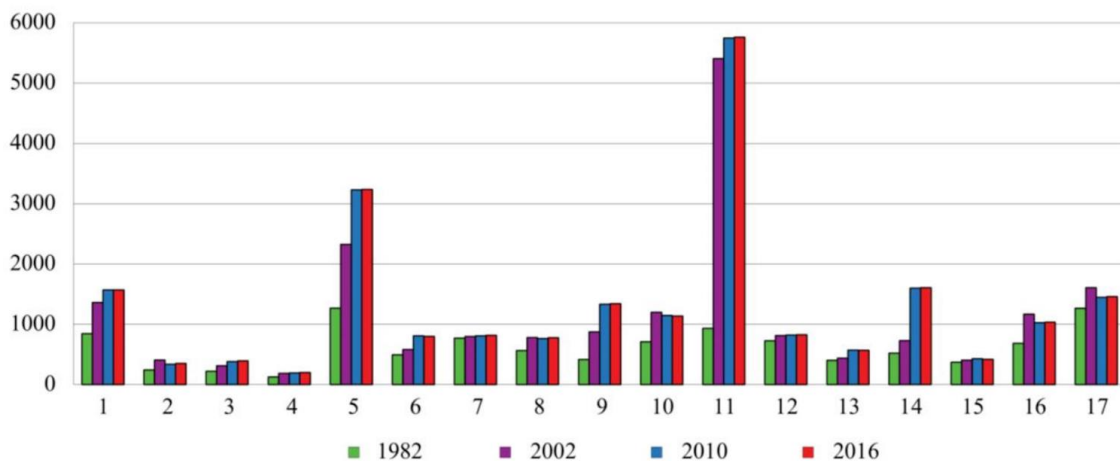


Рисунок 1 Динаміка чисельності зсувів (1982–2016 рр.) у найбільш зсувонебезпечних регіонах України: 1 – АР Крим, 2 – Вінницька, 3 – Дніпропетровська, 4 – Донецька, 5 – Закарпатська, 6 – Івано-Франківська, 7 – Київська, 8 - Луганська, 9 – Львівська, 10 – Миколаївська, 11 – Одеська, 12 - Полтавська, 13 – Сумська, 14 – Харківська, 15 – Хмельницька, 16 – Черкаська, 17 – Чернівецька.

Отже, закарпатська та одеська області найбільше страждають від зсувних процесів.

Мета дослідження

Визначити чинники, що активізують зсувні процеси

Визначити сприятливі умови для зсувних процесів

Матеріал та результати дослідження

Зсув - геологічний процес, переміщення земляних чи гірських мас по схилу під дією сили тяжіння.

Під чинниками, що сприяють утворенню зсувів, слід розглядати всю сукупність природних та штучних умов, які полегшують дію сил та порушують рівновагу ґрунтових мас. Вивчення причини зсувних процесів полегшує прогноз явищ, а також вибір напрямку захисних інженерних заходів.

Умови, що сприяють утворенню зсувів:

- рельєф місцевості;
- геологічна будова схилів та укосів;
- особливості фізико-механічних властивостей гірських порід;
- гідрогеологічні умови;
- сучасні та новітні тектонічні рухи та сейсмічні явища;
- кліматичні особливості району;
- гідрологічний режим водойм та річок для берегових зсувних ділянок;
- розвиток супутніх екзогенних геологічних процесів та явищ;
- Інженерна діяльність людини [1].

Періоди зсувних рухів збігаються з періодами дощів, танення снігу. Особливо страждають райони, яким властиві тривалі дощі, що спричиняють значне просочування і насичення водою ґрунтів на укосах. У районах з інтенсивними зливами велика частина води швидко стікає з вододілів і укосів і лише незначна йде на інфільтрацію (просочування у гірських породах через капілярні пори, тріщини та інші пустоти).

Важливою умовою, що сприяє утворенню зсувів, є рельєф місцевості. Зсуви найчастіше поширені: у гірських районах; на ділянках із різко пересіченим рельєфом; на високих та крутих схилах річкових долин, на берегових схилах водойм, на укосах виїмок та кар'єрів.

Укоси, з зонами постійного або тимчасового зволоження, змочування та насичення, більш сприятливі для утворення зсувів у порівнянні з укосами дренажними та сухими ґрунтами.

Оцінка міцності та стійкості ґрунтів без урахування їх вологості та водоносності неприпустима. При дослідженні стійкості укосів та умов утворення зсувів слід розглядати вологість ґрунту як один із найважливіших природних факторів.

Сприятливі умови утворення зсувів створюються у разі розвитку супутніх геологічних процесів і явищ. Процеси вивітрювання ґрунтів, підмиву, деградація мерзлоти, суфозійні явища (вимивання мінеральних часток з ґрунту), тектонічні рухи, землетруси готують умови, що полегшують дію зсувних зусиль.

Важливе значення має міцність ґрунтів - опір зсуву, а також властивості, які характеризують схильність знижувати міцність. Важливо враховувати такі властивості ґрунтів: мінеральний склад та будова; фізико-механічний стан; розмокання, розм'якшення; гідрофільність; схильність до набухання, схильність до пластичних деформацій; тривалу

міцність; схильність до повзучості; та інші.

Будь-який зсув ґрунтових мас обумовлює руйнування укосу. Воно відбувається під впливом сили тяжіння та інших сил. Руйнування відбувається тільки тоді, коли зсувна складова сили тяжіння перевищить міцність ґрунтових мас на поверхнях або зонах ослаблення - коефіцієнт стійкості буде менше одиниці. Коли рівновага буде порушена, відбувається повільне або швидке зміщення ґрунтових мас [2].

Причинами утворення зсувів, найчастіше є такі:

- збільшення крутості укосу (понад 15-20°);
- ослаблення міцності ґрунтів внаслідок їх підмивання;
- фізико-механічний стан при зволоженні, набуханні, розущільненні, вивітрюванні;
- фільтраційні деформації (наприклад суфозія);
- зміна напруженого стану ґрунтів у зоні будівництва укосу;
- зовнішні впливи - завантаження укосу, мікросейсмічні та сейсмічні коливання;
- антропогенне втручання [3].

Причини можна поділити на три групи:

- зміна форми та висоти схилу;
- зміна будови, стану та властивостей порід, що складають схил;
- додаткове навантаження на схил.

Висновок

У виникненні та розвитку зсувного процесу бере участь безліч факторів у різних поєднаннях, посилюючи один одного. Вплив одного з факторів або синергія факторів стає вирішальним для виникнення або активізації зсувного процесу.

Узагальнюючи можна сказати, що причинами зсуву є зміна геологічної будови, зміна складу ґрунтового профілю та навантаження на схил.

Список використаних джерел

1. Емельянова Е.П. Сравнительный метод оценки устойчивости склонов и прогноза оползней. Москва: Недра, 1971. 103 с.
2. Кузьменко Э.Д., Крыжановский Е.И., Карпенко А.Н., Журавель А.М. Закономерная связь между величинами вероятностей возникновения оползней и оползневой опасности при комплексном воздействии природно-техногенных факторов. Научное открытие. Диплом № 310. Научные открытия: сборник кратких описаний научных открытий, научных идей, научных гипотез. 2006. М.: МААНОИ, 2007. С. 64–65.
3. Шутенко Л. М., Рудь О. Г., Кічаєва О. В. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 66 с.

УДК 624.1

І. М. Євтушенко, магістр
Кафедра геоінженерії
КПІ імені Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ КРІПЛЕННЯ СТВОЛА КОЛЕКТОРА

В статті на основі аналізу існуючих безтраншейних способів проходки комунікаційних систем в місцях щільної забудови для конкретних інженерно-геологічних умов запропоновано штольневий спосіб спорудження каналізаційного колектору діаметром 0,3 м протяжністю 19 м. Для даної підземної споруди за допомогою програмного комплексу "Lira Sapr" обгрунтовано оптимальну конструкцію кріплення ствола колектору.

Усі необхідні розрахунки та побудова моделей для заданих умов були виконані за допомогою програмного забезпечення "Lira Sapr" з додатковим модулем геології. Слід також зазначити, що побудова моделей відбувалася з урахуванням впливу навантаження від обладнання, розташованого в межах призми ковзання навколо контуру ствола, що в свою чергу, дозволить забезпечити необхідну міцність кріплення стінок ствола без додаткових перевитрат матеріалів з дотриманням необхідних вимог безпеки виконання робіт.

На основі отриманих результатів розрахунків було встановлено зони розтягу, стиснення та руйнування ґрунтового масиву навколо колекторного ствола при застосуванні різних типів кріплення. Аналіз розрахунків дозволив обрати оптимальне кріплення для заданих параметрів каналізаційного ствола в конкретних інженерно-геологічних умовах.

Ключові слова: *безтраншейна проходка, штольнева проходка, ствол, колектор, кріплення, шпунтове кріплення, монолітне кріплення.*

I. Yevtushenko, master
Geoengineering department
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

ARGUMENTATION OF A DESIGN OF FASTENING OF A TRUNK OF A COLLECTOR

The article, based on the analysis of existing trenchless methods of communication systems in densely built-up areas for specific engineering and geological conditions, proposes a tunnel method of construction of a sewer collector with a diameter of 0.3 m and a length of 19 m. For this underground structure with the help of the software complex "Lira Sapr" the optimal design of the collector shaft mounting is substantiated.

All the necessary calculations and construction of models for the given conditions were performed using the software "Lira Sapr" with an additional module of geology. It should also be noted that the models were built taking into account the effect of load from the equipment located within the sliding prism around the barrel contour, which in turn will provide the necessary strength

of the barrel walls without additional material consumption.

Based on the obtained results of calculations, the zones of tension, compression and destruction of the soil mass around the collector shaft were established using different types of fastening. The analysis of calculations allowed to choose the optimal fastening for the given parameters of a sewer trunk in concrete engineering and geological conditions.

Keywords: *trenchless drilling, gallery drilling, trunk, collector, fastening, sheet pile fastening, monolithic fastening.*

ВСТУП

Інженерні мережі є основним елементом інженерного благоустрою міських територій. Спорудження мереж водопостачання та водовідведення займають одне із провідних місць у комплексі містобудівних і санітарно-епідеміологічних завдань.

У разі необхідності прокладання трубопроводу у місцях щільної промислової і міської забудови, а також під залізничними та автомобільними дорогами, їх проходка відкритим способом, частіше всього, буде просто неможлива. В таких випадках звертаються до так званих закритих методів прокладання трубопроводу, які включають в себе: проколювання (без виїмки ґрунту), продавлювання (з виїмкою ґрунту), горизонтальне буріння, віброударний спосіб, щитова проходка і метод штольневої проходки. Звичайно, необхідний і підходящий спосіб обирають виходячи з діаметра трубопроводу, його довжини, характеру пересічної споруди, геологічних умов і потрібною точністю прокладання трубопроводу в плані і профілі.

Метод проколювання доцільно застосовувати для влаштування захисних кожухів у глинах і суглинках нормальної вологості, без вмісту твердих включень. З метою зменшення бокового тертя, кожух облаштовують наконечником, який на 30-40 мм більший за зовнішній діаметр труби. Роботи проводяться без виїмки ґрунту.

Найпоширенішим методом безтраншейної прокладки трубопроводів є метод продавлювання. Він дозволяє влаштовувати переходи трубопроводів діаметром 700-2000 мм у будь-яких ґрунтах, окрім скельних та водонасичених.

Метод горизонтального буріння – індустріальний метод, який реалізується за допомогою наступних установок: машина з двигунами внутрішнього згорання, шнековий транспортер з ріжучим органом (голівкою), механізм подачі з лебідкою і системи блоків-поліспатів.

Щитовий спосіб проходки успішно застосовується в різноманітних геологічних умовах (піски, глини, вапняки, пливуні) при глибинні закладання від 6 до 25 м і більше.[1]

Штольнева проходка застосовується в умовах, де неможливо проводити роботи відкритим способом і в умовах великого перетину комунікацій. При проходці штольнею мінімізується ризик пошкодження інших комунікацій, так як роботи проводяться без застосування землерийної техніки. Даний спосіб характеризується великим об'ємом ґрунту, який необхідно виймати на поверхню. Для цього споруджуються спеціальні стволи, для видачі порід на поверхню і подачі необхідного обладнання.[2]

Оскільки наш каналізаційний колектор запроектований на ділянці в умовах уже існуючої щільної забудови, де прокладені і інші підземні комунікації, точне місце розташування яких не відоме, та з урахуванням геометричних параметрів колектору найдоцільніше застосувати штольневу проходку.

Мета та завдання: забезпечення стійкості ствола при будівництві колектора мілкового закладання штольневим методом, шляхом підбору оптимальної конструкції кріплення.

Матеріал і результати досліджень.

Для заданих умов розташування вертикального ствола з урахуванням його розмірів було розглянуто три типових конструкції кріплення, таких як: шпунтове, з анкерним кріпленням, монолітне кріплення з одним рядом анкерів і монолітне кріплення з двома рядами анкерів. Дані конструкції кріплення обрані через високу водонасиченість ґрунтів з метою запобігання підтоплення основних вузлів комунікацій.

Усі розрахунки та побудова моделей для заданих умов були виконані за допомогою програмного забезпечення “Lira Sapr” з додатковим модулем геології.[3].

Для проведення розрахунків та побудови розрахункових схем, в усіх трьох варіантах, були задані наступні параметри ствола колектора:

Ширина – 4 м;

Глибина – 6 м;

Область моделювання: зліва – 10 м, справа – 10 м, нижня відмітка – 10 м.

Розрахункова схема наведена на рис. 1, а характеристики ґрунтів у табл. 1. Характеристики шпунтів та анкерів вказано в таблицях 2 і 3, відповідно.

Варіант шпунтового кріплення з одним рядом анкерів.

Таблиця 1 – Характеристика ґрунтів

Пласт	Відмітка верху пласта зліва, м	Відмітка верху пласта справа, м	Питома маса ґрунта, тс/м ²	Кут внутрішнього тертя, град	Модуль деформації, тс/м ²	Коефіцієнт Пуассона	Питоме щеплення, тс/м ²	Граничне розтягнення, тс/м ²	Коефіцієнт розвантаження
№п/п	L ₁₁	L ₂₁	γ ₁	φ ₁	E ₁	μ ₁	C ₁	R _{г,1}	K _{E,1}
1	0.00	0.00	1.60	30.00	800.00	0.30	0.10	0.01	3.00
2	-3.00	-3.00	1.70	34.00	3000.00	0.30	0.10	0.01	3.00
3	-5.00	-5.00	1.70	29.00	2000.00	0.33	0.80	0.08	3.00
4	5.00	5.00	1.70	29.00	3000.00	0.30	0.80	0.08	3.00

Таблиця 2 – Характеристика шпунтів

№п/п	Відмітка низу, м	Повздожня жорсткість, м	Жорсткість на згин, тс*м ²	Кількість дроблень
	Z ₁	E _{F1}	E _{I1}	K _{d1}
1	-8.00	1200000.00	12000.00	10
2	-8.00	1200000.00	12000.00	10

Таблиця 3 – Характеристика анкерів

Характеристика анкерів зліва						
№п/п	Прив'язка верху, м	Кут нахилу до горизонталі, град	Довжина, м	Повздожня жорсткість, тс	Розтяг, тс	Граничний розтяг тс
	Z_1	α_1	L_1	EF_1	N_1	N_{max_1}
1	-3.00	45.00	3.00	8000.00	5.00	1000000000.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Характеристика анкерів справа						
№п/п	Прив'язка верху, м	Кут нахилу до горизонталі, град	Довжина, м	Повздожня жорсткість, тс	Розтяг, тс	Граничний розтяг тс
	Z_1	α_1	L_1	EF_1	N_1	N_{max_1}
1	-3.00	45.00	3.00	8000.00	5.00	1000000000.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

В результаті обчислень, було отримано значення дотичних і зонапружень відносно стінок ствола та місця кріплення шпунта. В ключових місцях навантаження змінювалось в діапазоні 1,1 – 4.4 тс/м², що є достатнім для порушення цілісності стінок ствола. Виходячи з отриманих даних, було побудовано загальну схему конструкції кріплення (рис. 1) та графічну модель цілісних змін структури ґрунта, в межах будівництва (рис.2).

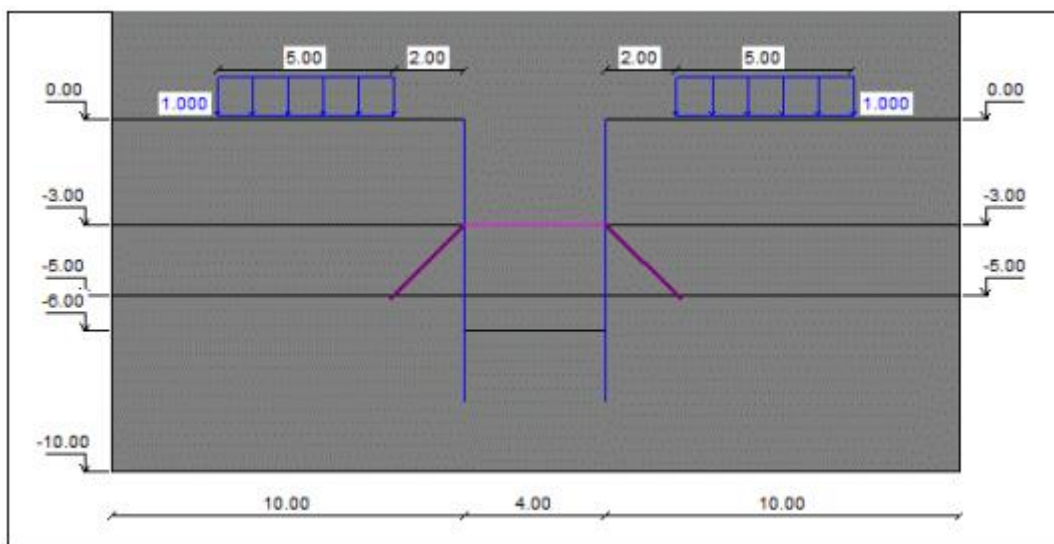


Рисунок 1 – Загальна схема конструкції кріплення

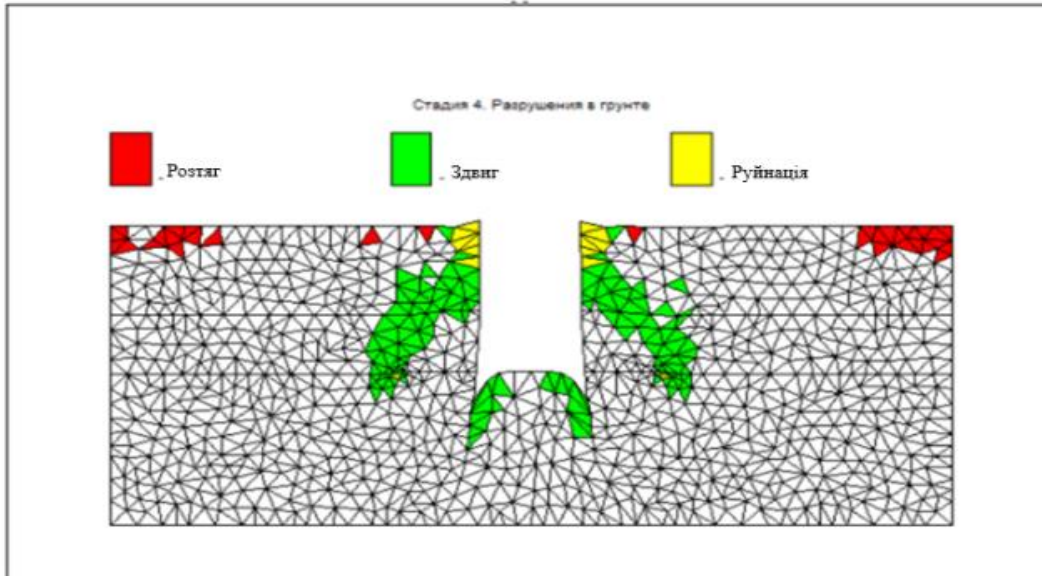


Рисунок 2 – Кінцевий стан ґрунту при встановленні шпунтового кріплення з одним рядом анкерів

Варіант монолітного кріплення з одним рядом анкерів.

Характеристики шпунтів (табл. 4) та анкерів (табл. 5) для даного варіанту кріплення приведені нижче.

Таблиця 4 – Характеристика шпунтів

№п/п	Відмітка низу, м	Повздовжня жорсткість, тс	Жорсткість на згин, тс*м2	Кількість дроблень
	Z_1	EF_1	EI_1	Kd_1
1	-8.00	600000.00	1000.00	10
2	-8.00	600000.00	1000.00	10

Таблиця 5 - Характеристика анкерів

Характеристика анкерів зліва						
№п/п	Прив'язка верха, м	Кут нахилу до горизонталі, град	Довжина, м	Повздовжня жорсткість, тс	Розтяг, тс	Граничне розтягнення, тс
	Z_1	α_1	L_1	EF_1	N_1	N_{max_1}
1	-3.00	45.00	3.00	8000.00	5.00	1000000000.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Характеристика анкерів справа						
№п/п	Прив'язка верха, м	Кут нахилу до горизонталі, град	Довжина, м	Повздовжня жорсткість, тс	Розтяг, тс	Граничне розтягнення, тс
	Z_1	α_1	L_1	EF_1	N_1	N_{max_1}
1	-3.00	45.00	3.00	8000.00	5.00	1000000000.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1000000000.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

За рахунок зміни конструкції кріплення, ізополя дотичних навантажень мають інший характер розповсюдження, і діапазон їх значень коливається в межах від $0,023 \text{ тс/м}^2$ до 4 тс/м^2 (в нижній частині ствола).

В результаті побудови на основі отриманих значень, було отримано загальну схему кріплення (рис. 3) та модель цілісних змін ґрунта (рис. 4):

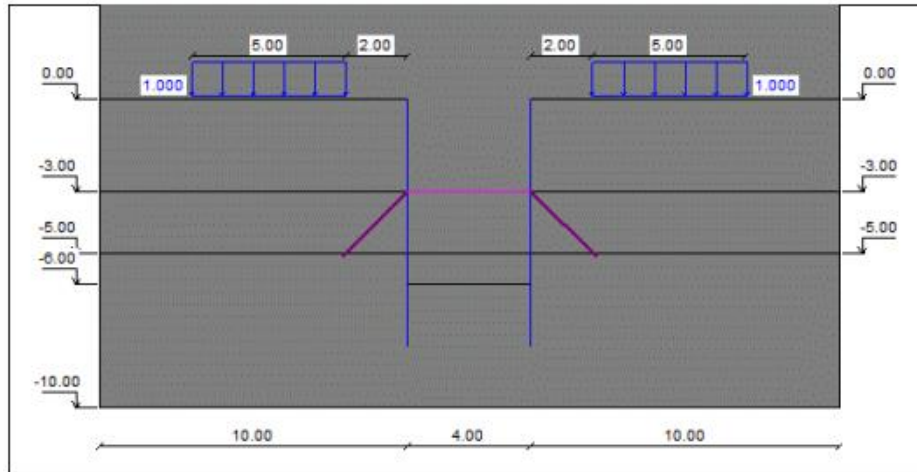


Рисунок 3 – Загальна схема конструкції монолітного кріплення з одним рядом анкерів

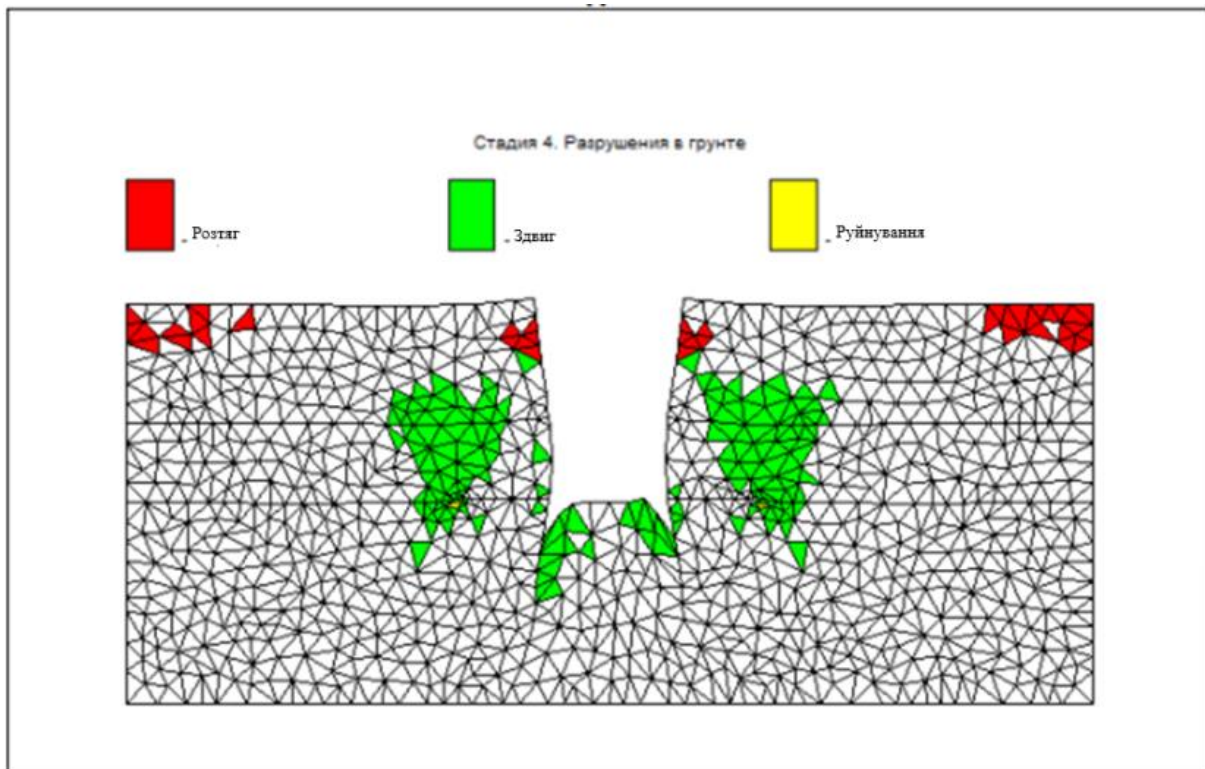


Рисунок 4 – Кінцевий стан ґрунта при встановленні монолітного кріплення з одним рядом анкерів

Варіант монолітного кріплення з двома рядами анкерів.

Характеристика шпунтів та анкерів для даного варіанту кріплення приведена нижче (табл. 6) і (табл. 7), відповідно.

Таблиця 6 – Характеристика шпунтів

№п/п	Відмітка низу, м	Повздовжня жорсткість, тс	Жорсткість на згин, тс*м ²	Кількість дріблень
	Z_1	EF_1	EI_1	Kd_1
1	-8.00	600000.00	6000.00	10
2	-8.00	600000.00	6000.00	10

Таблиця 7 – Характеристика анкерів

Характеристика анкерів зліва						
№п/п	Прив'язка верху, м	Кут нахилу до горизонталі, град	Довжина, м	Повздовжня жорсткість, тс	Ростяг, тс	Граничне розтягнення, тс
	Z_1	α_1	L_1	EF_1	N_1	N_{max_1}
1	-3.00	45.00	3.00	8000.00	5.00	1000000000.00
2	-1.00	45.00	3.00	8000.00	5.00	1000000000.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Характеристика анкерів справа						
№п/п	Прив'язка верху, м	Кут нахилу до горизонталі, град	Довжина, м	Повздовжня жорсткість, тс	Ростяг, тс	Граничне розтягнення, тс
	Z_1	α_1	L_1	EF_1	N_1	N_{max_1}
1	-3.00	45.00	3.00	8000.00	5.00	1000000000.00
2	-1.00	45.00	3.00	8000.00	5.00	1000000000.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

В результаті додання ще одного ряду анкерів, дотичні навантаження більш рівномірно розподілені в ґрунті, за рахунок чого, діапазон коливання значень майже в два рази менший, ніж у попередньому варіанті і складає 0,027 – 2,4 тс/м². За отриманими результатами розрахунку, було побудовано загальну схему кріплення (рис. 5) і модель цілісних змін ґрунта (рис. 6):

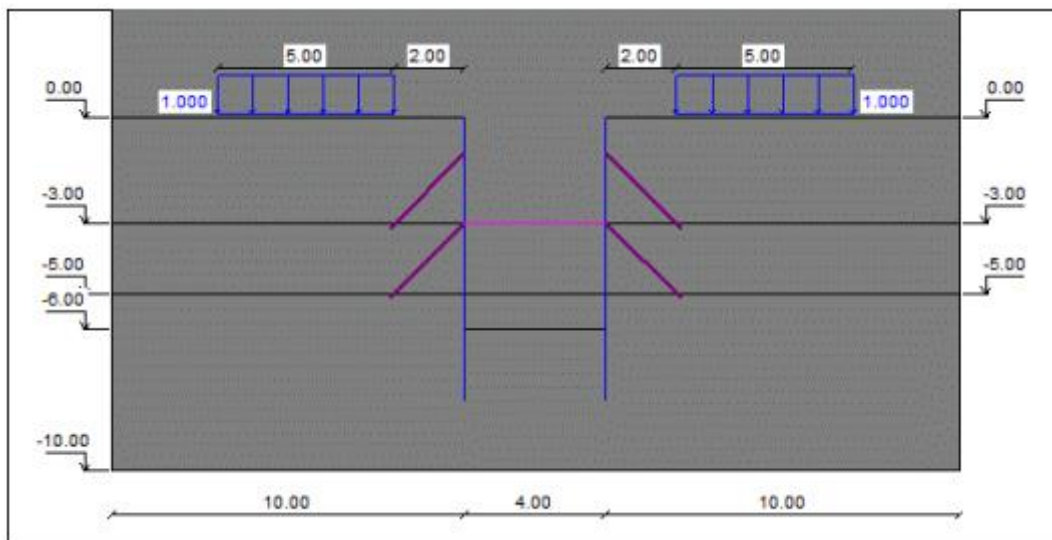


Рисунок 5 – загальна схема монолітного кріплення з двома анкерами

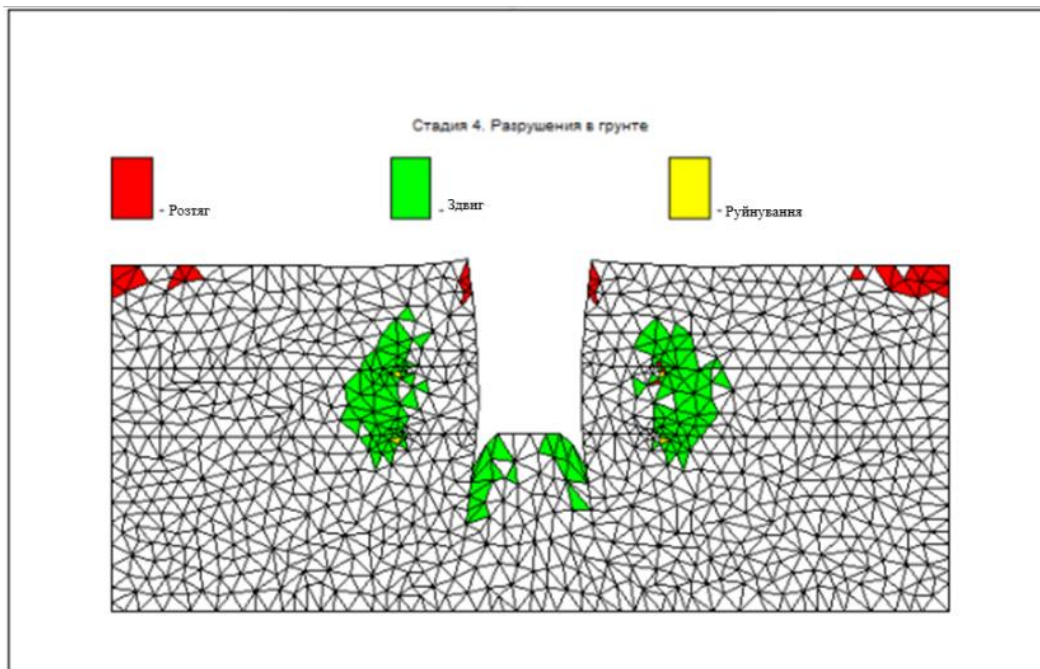


Рисунок 6 - Кінцевий стан ґрунту при встановленні монолітного кріплення з двома рядами анкерів

ВИСНОВКИ

Було проведено математичні вишукування, в результаті яких, за допомогою програми “Lira Sapr” візуалізовано порушення ґрунтів стінок ствола колектора мілкового закладання для трьох типів кріплення і проаналізовано отримані результати.

Отже, шляхом порівняння трьох типів конструкції кріплення, а саме: шпунтового кріплення з одним рядом анкерів, монолітного кріплення з одним рядом анкерів і монолітного кріплення з двома рядами анкерів, було встановлено, що варіант монолітного кріплення з двома рядами анкерів буде найбільш доречний для даних геологічних умов, оскільки відповідає вимогам основних поставлених задач: утримання стінок ствола від обрушення і деформації та забезпечення безпеки робітників при проведенні робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Айрапетян Т.С. Міські інженерні мережі. Харків: ХНАМГ, 2008. 54 с.
2. Інженерні системи, Штольньова прохідка. “БК” ЦЕНТР ІНЖИНІРИНГ. 19.12.2017. URL: <http://xn--90agehz2b.com.ua/uk/2017/12/19/shtolnya/>
3. Розрахунок та проектування конструкцій. URL: <https://www.liraland.ua/>

УДК 624.1

Р. І. Балковий, студ. гр. ОС-01мп, кафедри геоінженерії,
керівник Любов Шайдецька
КПІ імені Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

СУЧАСНИЙ СПРОЩЕНИЙ СПОСІБ ФУТЕРУВАННЯ

В наш час для спрощення будівництва підземних споруд винаходять багато цікавих методів які дозволяють виконати необхідний об'єм робіт за менші терміни. Новітній спосіб футерування трубопроводу в колекторі показує наскільки технічний прогрес здійснив крок уперед.

Ключові слова: , колектор, трубопровід, футерування.

MODERN SIMPLIFIED METHOD OF LINING

Nowadays, to simplify the construction of underground structures, many interesting methods are invented that allow you to perform the required amount of work in less time. The latest method of lining the pipeline in the collector shows how much technical progress has taken a step forward.

Key words: pipeline, lining, collector.

Вступ. Системи водопостачання та водовідведення є важливим елементом промислової та господарсько-побутової інфраструктури населених міст Вони забезпечують стабільне функціонування підприємств, задовольняють соціальні потреби населення.

Будівництво зовнішніх і внутрішніх мереж водопостачання та водовідведення має організаційні та технологічні особливості, пов'язані з природними умовами, конструкцією споруджуваних об'єктів, їх майбутньою експлуатацією. Таке будівництво потребує значних матеріальних та трудових ресурсів, а якість будівельної продукції повинна забезпечувати надійну, раціональну та економічну роботу даних систем.

Мета та завдання полягає у розкритті та дослідженні нового сучасного спрощеного способу футерування.

Матеріал та результати досліджень. Після ретельного огляду та очищення/звільнення від накипу системи трубопроводів, гнучка насичена епоксидною смолою трубка (вкладиш) спеціально виготовляється та вставляється в існуючу каналізаційну трубу, яка вийшла з ладу. Висококваліфіковані спеціалісти з футеровки труб вміло встановлюють спеціально виготовлений вкладиш по всьому трубопроводу – навколо вигинів водопроводу, зміни діаметра, у бічних або вертикальних штабелях. Після того, як вкладиш затвердіє (затвердіє), утворює нову структурну поверхню. За потреби, роботизовані інструменти використовуються для повторного відкриття гілок і забезпечення оптимального потоку

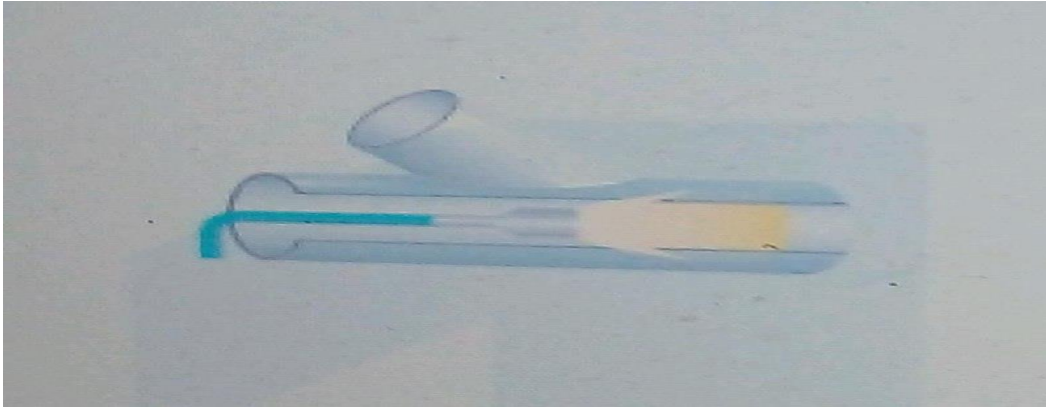


Рисунок 1 – Огляд трубопроводу

На додаток до структурних вкладишів, розпилювальні покриття та щіткові покриття можуть бути включені, щоб досягти інших недоступних ділянок або залежно від унікальних обставин окремої каналізаційної труби.

Щоб якнайкраще обслуговувати власників нерухомості в південно-східній Флориді, Pipelining Technologies, Inc. спростила процес безтраншейного ремонту каналізації на 3 кроки:

- діагностична відеокамера, огляд каналізаційних труб;
- механічне очищення та видалення накипу (може включати як вологий, так і сухий способи);
- точна підкладка труб із роботизованим відновленням гілки.

Судово-медична відеоінспекція фіксує деталі у високій чіткості. Повнокольорове цифрове відео також має зафіксувати діаметр труб, довжину (лінійні кадри), матеріал(и) та розташування розгалужень, задіяних у ваших каналізаційних лініях. Ви завжди повинні отримувати копію відеоінспекції разом із докладним звітом про результати для ваших особистих записів.

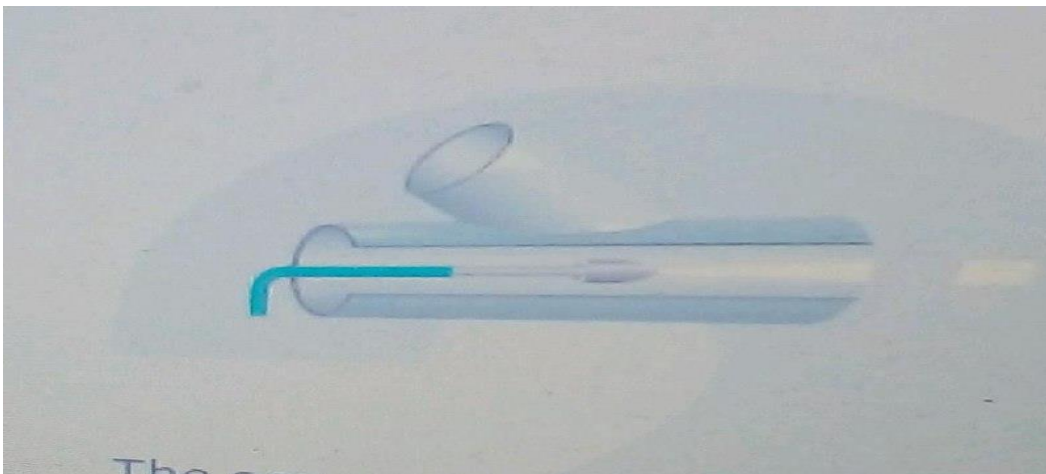


Рисунок 2 – Очищення труб колектору

Механічне очищення та видалення накипу для видалення засмічень, жирових відкладень, коріння дерев і сильного накипу або корозії. Очищення відновлює первинний діаметр труб, що має негайно покращити пропускну здатність і підготувати труби до футеровки. Відповідно до потреб об'єкта використовуються як гідро (мокрый), так і сухі

методи прибирання.

Після того, як труби були належним чином очищені, спеціальні вкладиші формуються, щоб вони поміщалися всередину існуючих трубопроводів. Підкладки виготовлені з високотехнологічного гнучкого матеріалу, насиченого епоксидною смолою. Використовуючи невеликі точки доступу та очищення зовнішньої сантехніки, вкладиш вставляється по всій довжині труби і дає можливість затвердіти (затвердіти). Новий лайнер стає власною структурою і має очікуваний термін служби 50 років!

Після встановлення прокладки каналізаційної труби відгалуження знову відкриваються за допомогою роботизованого відновлення. Ці футуристичні роботи переміщуються по трубах і з'єднують гілку з гілкою(ами), щоб забезпечити повністю інтегровану дренажну систему. Роботизовані інструменти керуються дистанційно за допомогою живих камер і керуються техніками з підкладки.

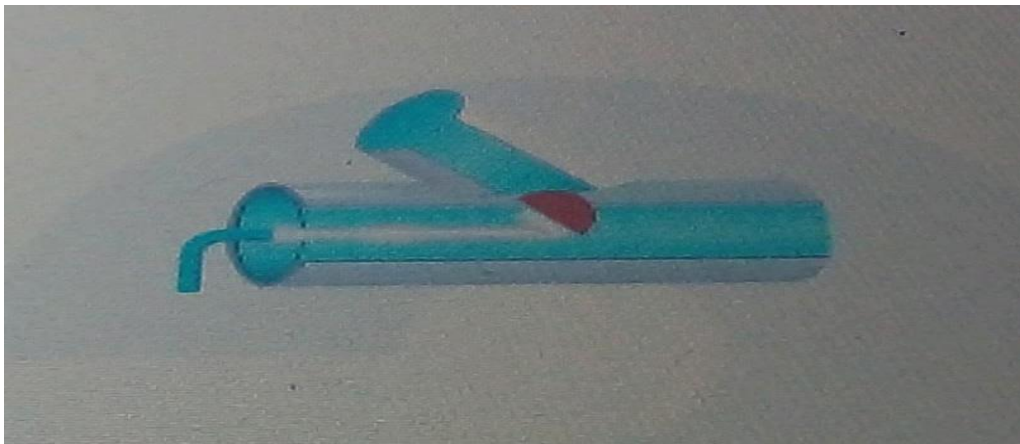


Рисунок 3 – Прокладка та відновлення
ПЕРЕВАГИ БЕЗТРАНШЕЙНОЇ ПРОКЛАДКИ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ТРУБ

Однією з найбільших переваг безтраншейної прокладки труб є зниження впливу на ваше майно. Використовуючи невеликі точки доступу та наявну сантехніку, безтраншейний підхід допомагає захистити цінну обробку, підлогу, стіни та шафи вашої будівлі. Це також захищає фундамент вашого майна.

- Мінімальні перебої в роботі каналізації або водопостачання;
- Утворюється менше відходів;
- Тривалість використання 50 років;
- Дорогі оздоблення та ландшафти не руйнуються.

Висновки. Можливості сучасних технологій та обладнання надають інженерам та будівельникам величезний вибір доступних способів улаштування споруд. Широкий спектр технічних рішень щодо улаштування огорож котлованів та варіантів їх кріплення охоплює практично весь діапазон інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов, необхідних глибин та планових розмірів споруд. Вибір конструктивної схеми підземної споруди, типу огороження котлованів, способу її кріплення та технологічної послідовності робіт у котловані повинен бути продуманий та взаємно пов'язаний. У складних умовах цей вибір слід виконувати, зазвичай, виходячи з техніко-економічного зіставлення варіантів.

Список використаної літератури

1. Преимущества бестраншейной футеровки труб. URL: <https://pipelt.com/>

УДК 624.15

О. С. Самусь, студ. гр. ОС-01мп,
науковий керівник С. М. Стовпник
КПІ імені Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

СУЧАСНЕ БУДІВНИЦТВО МЕТРО ТУНЕЛІВ

У даній статті розглянуто метод підсилення тунелю в нестійких масивах. Завдяки цьому методу можна уникнути просідань покрівлі тунелю та його обрушення. Також використовувати цементний розчин як додаткове кріплення.

Ключові слова: метро-тунелю; техніко-економічний; деформації; тампонаж; осідання; напружено-деформований

MODERN CONSTRUCTION OF METRO TUNNELS

This article considers the method of tunnel reinforcement in unstable arrays. With this method, you can avoid subsidence of the tunnel roof and its collapse. Also use cement mortar as an additional fastener.

Key-words: metro tunnel; technical and economic; deformations; tamponage; sinking; stress-strain

Вступ. Зручний та ефективний транспорт у міській місцевості, що поширюється у багатьох країнах світу – метро. Найкращий варіант для покращення швидкості переміщення та зменшення транспортних витрат. Цей дипломний проект актуалізує питання до ролі мереж метро на інноваціях та кількісно оцінює ефект від використання інноваційних технологій при будівництві нових станцій. Результати показують, що метро полегшує пасажиропотік, зменшуючи витрати на комунікацію та збільшуючи можливість безперешкодного пересування.

Мета та задачі дослідження. Метою даної роботи є визначення зон критичних напруг під дією навантаження та вібрацій для оптимізації конструктивних параметрів при спорудженні тунелю Сирецько-Печерської лінії метрополітену на житловий масив Виноградар в умовах демонтування конструкції з використанням підсилення кріплення.

Вказана мета досягається вирішенням наступних задач

- проаналізувати світовий досвід при будівництві метро-тунелів;
- визначення нормативно-технічної бази та вимог, що керують процесом метробудування;
- визначення критичних зон, що виникають в процесі будівництва і експлуатації, на етапі проектування за допомогою комп'ютерного моделювання ;
- оптимізувати конструктивні параметри метро тунелю.

Матеріали та результати дослідження. У виїмці ТБМ плита обертається під впливом поштовху, а ґрунт ламається під силою тяги і крутного моменту. Після розбиття породи початкова напруга на місці виїмки знімається.

Таким чином, цей процес еквівалентний копанню та розбиванню породи шляхом викопування та розвантаження для моделювання ТБМ. Якщо припустити, що процес розвантаження є лінійним, то конструкцію виїмки ТБМ можна моделювати шляхом лінійного зняття навантаження при нормальному русі тиск і навантаження домкрата прикладаються до стіни тунелю протягом певного часу. Програмне забезпечення Midas GTS NX використовується для моделювання процесу тунелювання ТБМ. Показано розташування точок DC1 до DC2 в моделі на рис.1.

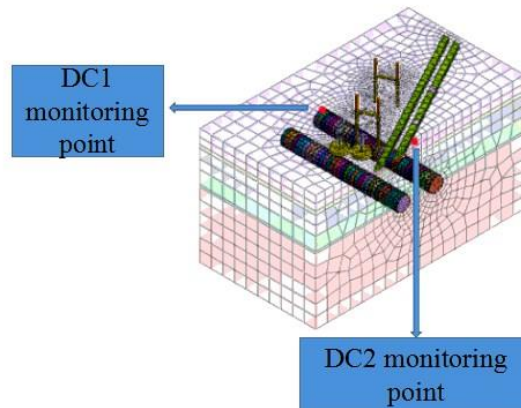


Рисунок 1 – Розташування точок DC1 та DC4

Враховуючи відповідний інженерний досвід та теорії, розглядається відповідний ефект розміру моделі. Відстань від лівої та правої межі тунелю до краю в моделі має бути приблизне 3D моделювання. З дальньої межі на це значення не вплине земляна робота. Якщо модель розміру невелика, то результат розрахунку буде неточним. У моделі діаметр щитовий тунель 6 м, товщина відрізка 0,3 м, довжина відрізка щита 1,5 м. Геометричні розміри моделі такі ж, як і оточуючих ґрунтів розміром 90 м × 50 м × 50 м.

Модель враховує лише вібрацію від розбиття породи фрезою, а не вібрацію механічна вібрація головного двигуна ТБМ та операція свердління болтів. В аналізі з огляду на чутливість різних швидкостей руху, середня швидкість руху становить 2,30 м/год для ТБМ для перетин злегка вивітрюваного гранітного шару. За домовленістю з проходженням тунелю на місці даних, моделювання процесу тунелювання ТБМ на 1 м займає приблизно 1400 с, 1700 с, 2000 с, 2300с та 2600 с для швидкостей копання 2,55 м/год, 2,11 м/год, 1,8 м/год, 1,56 м/год та 1,38 м/год відповідно. Ці значення швидкості використовуються для вивчення впливу різних швидкостей копання конструкції ТБМ наземне поселення. Для аналізу чутливості різних тисків руху, звіти про будівництво та вимірювання на місці виявили, що тиск руху, який буде використовуватися в моделюванні водіння ТБМ, зображено на рис.2 при тисках руху 120кН/м², 240 кН/м², 360 кН/м², 480 кН/м², 600 кН/м².

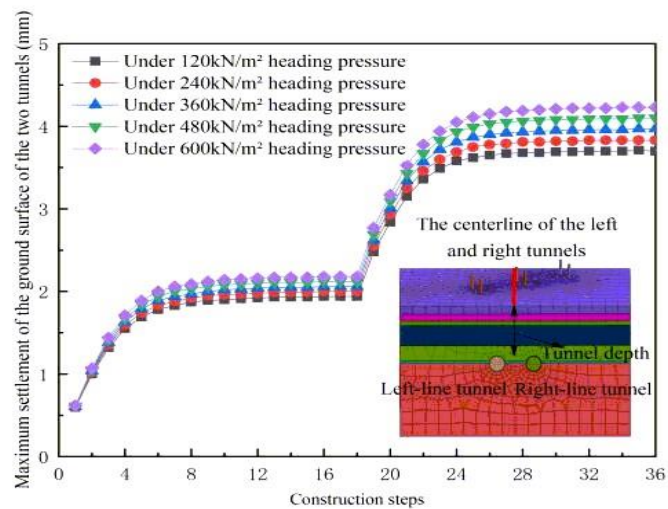


Рисунок 2 – Максимальне осадження поверхні на центральній лінії тунелю

Зміна остаточного осідання поверхні землі при різних швидкостях руху показано на рис.3. Вся поверхня тунелю знаходиться в стані занурення під час виїмки тунелю, а найбільша осідання поверхні відбувається на осі тунелю.

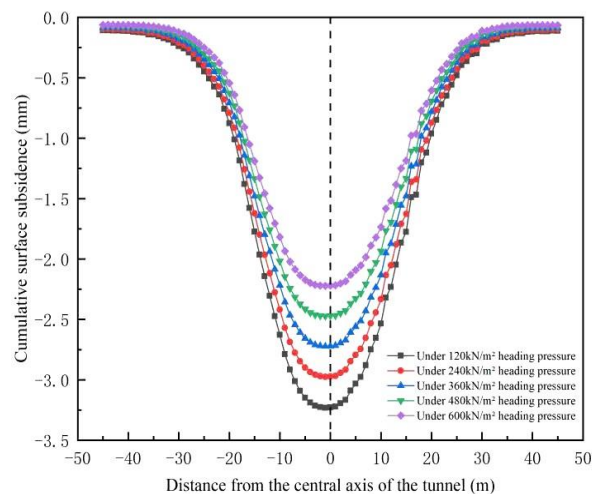


Рисунок 3 – Карта накопиченого поверхневого осідання

Хоча тунель побудований подвійною лінією виїмки, немає двох осадних борозен, симетричних відносно центральної осі на поверхні, тому що тунель має велику глибину заглиблення, а також вплив подвійного тунельного розкопування на заселення землі ослаблений. Осідання ґрунтової поверхні приблизно на 30 м від центральної осі с тунель знаходиться в межах 1 мм, що має мінімальний вплив на ґрунт. Починається осідання поверхні різко збільшується, коли відстань менше 30 м. На малюнку показано, що коли швидкість руху є 1700 с/м (2,55 м/год), 2000 с/мс (2,11 м/год), 2300 с/мс (1,8 м/год), 2600 с/м (1,56 м/год) і 2900 с/м (1,38 м/год), осідання поверхні центральної осі 3,22, 3,43, 3,63, 3,96 і 4,18 мм відповідно.

Швидкість проходження тунелю впливає на осідання поверхні; поселення невелике при проходженні тунелю швидкість висока. Щоб максимізувати економічні вигоди від конструкції ТБМ, швидкість руху повинна бути максимально збільшено (з контролем інших параметрів руху), щоб зменшити ґрунт осідання і вплив на поверхневі структури.

Висновок: У конструкції ТБМ різні швидкості руху мають різний вплив на поверхню. Коли інші параметри руху контролюються, при високій швидкості розрахунки невеликий. До максимізувати економічну вигоду, швидкість копання слід збільшити, щоб ґрунт зменшуються просідання і вплив на ґрунтові конструкції. Різні тунельні тиски мають різний вплив на поверхню. У певному діапазоні, осадка мала, коли тунельний тиск високий. У практичному інженерному застосуванні. Для максимізації економічного ефекту та зменшення поверхні необхідно збільшити тиск у воді ТБМ просідання і вплив на поверхню будівлі.

Список використаної літератури

1. Голіцинский Д. М. Будівництво тунелів та метрополітенів. М.: Транспорт, 1989. 319 с.
2. Arbabsiar M. H., Ebrahimi Farsangi M. A., Mansouri H. A. New Model for Predicting the Advance Rate of a Tunnel Boring Machine (Tbm) in Hard Rock Conditions. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*. 2020. Vol. 35. P.57-74. [doi:10.17794/rgn.2020.2.6](https://doi.org/10.17794/rgn.2020.2.6)
3. Cao Y. H., Zhuge A. J. Effect of Shield Tunneling on Existent Piles in Soft Soil Area. *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 671-674. P.1093-1097. [doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.671-674.1093](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.671-674.1093)
4. Faramarzi L., Kheradmandian A., Azhari A. Evaluation and Optimization of the Effective Parameters on the Shield TBM Performance: Torque and Thrust—Using Discrete Element Method (DEM). *Geotechnical and Geological Engineering*. 220. Vol. 38. P. 2745-2759. [doi:10.1007/s10706-020-01183-y](https://doi.org/10.1007/s10706-020-01183-y)
5. Kwak Chang-Won, Park Inn-Joon. Numerical simulation for surface settlement considering face vibration of TBM tunnelling in mixed-face condition. *Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association*. Vol. 17. P. 333-339. [doi:10.9711/ktaj.2015.17.3.333](https://doi.org/10.9711/ktaj.2015.17.3.333)

УДК 624.15

Я. Р. Полякова, магістр

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
КПІ імені Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

ПОРІВНЯННЯ ТА ЧИСЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗМІНИ ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТУ ГЛИБОКОГО ЗАКЛАДАННЯ НА ПЛИТНО-ПАЛЬОВИЙ ФУНДАМЕНТ

У цій статті описується випадок використання композитного пальово-плитного фундаменту для вирішення проблеми з нерівністю осідання споруди. Зазвичай для вирішення цієї проблеми використовується метод заглибленого бетонного плитного фундаменту, однак цей метод створює велику концентрацію напружень в межах 1 м від кінця споруди.

Механічна несуча здатність плитного фундаменту глибокого закладання недостатня і схильна до структурних пошкоджень. Крім того, швидкість поздовжньої зміни схилу також дуже висока.

Для подолання цих обмежень і вирішення проблеми пропонується метод переробки структури фундаменту глибокого закладання на плитно-пальнової фундамент. Наведено побудову запропонованого методу, а результати дослідження прикладу, проаналізованого за допомогою польового моніторингу та моделювання, виконаного за допомогою моделювання методом скінчених елементів у програмному забезпеченні ABAQUS, показують кращі за плитний фундамент результати.

Результати свідчать про те, що механічні несучі характеристики запропонованого методу зведення фундаменту є кращими, ніж звичайний метод глибоко закладання плити, а отже, конструкція більш стійка до пошкоджень.

Крім того, оскільки пальнової фундамент підвищує несучу здатність фундаменту, швидкість поздовжньої зміни ухилу нового композитного фундаменту палево-плит у 2,5 рази перевищує швидкість заглиблення бетонної плити.

COMPARISONS AND NUMERICAL ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE CHANGE OF THE DEEP FOUNDATION PLATE FOUNDATION ON THE PLATE AND PILE FOUNDATION

This paper describes a case of using a pile-slab composite foundation to handle a bridge-end bump problem. Conventionally, a deep-seated concrete slab method is employed to tackle this problem; however, this method generates a large stress concentration within 1m from the bridge end.

The mechanical bearing capacity of the deep-seated concrete slab is insufficient and prone to structural damage. Further, the longitudinal slope change rate is also very high. To overcome these limitations and solve the problem, a lower partition slab-pile foundation treatment method is proposed. The construction of the proposed method is provided, and the results of a case study analyzed by field monitoring and a simulation executed using ABAQUS finite element simulation show good agreement.

The results indicate that the mechanical bearing characteristics for the proposed lower partition

slab-pile foundation treatment method are better than the conventional deep-seated concrete slab method, and therefore, the structure is more resistant to damage. In addition, because the pile foundation enhances the foundation bearing capacity, the longitudinal slope change rate of the new pile-slab composite foundation is 2.5 times that for the deep-seated concrete slab technology.

Вступ. Дослідження гірських порід і ґрунтів надало велике значення дослідам стійкості та осадки м'яких ґрунтові основи. У реальній інженерії проблему нерівностей, викликаних м'яким осадженням фундаменту, було важко контролювати та вирішити.

Ця стаття базується на експерименті побудови плити під кутом, щоб зменшити проблему утворення деформацій на кінці плити. Було проведено тривимірний аналіз методом скінчених елементів, враховуючи взаємодію між плитою та ґрунтом насипу, і виявили, що при відділенні плити від ґрунту, плита перебуває в стані руйнування. В ході дослідження використано аналіз скінчених елементів для дослідження диференційного осідання ґрунтової насипи під навантаженням від будівлі. Чисельний аналіз проведено для вивчення ступеня і локалізації тріщин шляхом виконання нелінійного аналізу плити.

Виходячи з поточного стану застосування методу, проблема нерівності осідання все ще виникає і впливає на нормальне використання та довговічність основ будівель. Актуальним залишається метод виявлення проблеми з кінцевими частинами фундаментів.

Традиційна технологія плитного фундаменту має кілька обмежень, наприклад, дуже легко відокремити дно плити від ґрунту, що не сприяє деформації та опору плити. Тому необхідно вдосконалити традиційний підхід, та оптимізувати компонування плити та конструктивну схему.

Мета роботи. Метою даної роботи є визначення критичних зон плитного фундаменту, урахування всіх недоліків такого типу фундаменту, розрахунок альтернативної схеми зведення з заміщенням плитного фундаменту на пальово-плитний фундамент.

Методика, матеріали та результати дослідження. Випадок, що досліджується має певний недолік з точки зору механізму роботи на слабких ґрунтах що осідають. Однак заміщення цього типу фундаменту на запропонований підвищить економічні і міцнісні характеристики об'єкту.

Завдяки м'яким властивостям ґрунту фундаменту на проектній ділянці під дією верхнього навантаження виникне велике осадження. Таким чином, між спорудою з жорстким фундаментом і гнучкою фундаментною основою може легко виникнути надмірна осадка, що спричинить вибоїння фундаментних плит. Рекомендуються різні конструкції, щоб покращити контроль кривої осадки торцевої основи та пом'якшити вплив осадки. [1]

З цією метою було вирішено використовувати схему плитно-пального фундаменту для контролю осідання споруди, та пом'якшити проблему з нерівномірним осіданням.

Етап 1. Мінімальна глибина заглиблення 2 м. Після проведення земляних робіт до проектної висоти виконується обробка ділянки. На дно котловану в якості робочої будівельної поверхні укладається гравій 10 см та інші водопроникні матеріали. Після завершення встановлюють буронабивну палі.

Етап 2. Буронабивна паля має діаметр 50 см і розташовується в два ряди по шість одиниць. Міцність бетону тіла палі - С30, а максимальна довжина одиночного стрижня - 32 м. Верхня частина палі виконується з випусками для з'єднання з плитою. Після завершення

будівництва верх палії вирівнюється і укладається гравійна подушка товщиною 20 см. [2]

Етап 3. Залізобетонна плита відливається відповідно до сталевих випусків у верхній частині палі. Опорна балка виготовлена з бетону С30. Всього встановлено три опори. Після ущільнення днища третьої опори пальовий фундамент не передбачається. Перший опорний щиток призначений для з'єднання сталевого випуска з нижньою перегородкою, а зовнішня частина обшита трубою з ПВХ, щоб гарантувати, що нижня перегородка може обертатися під певним кутом навколо стику внахлест, а дві останні опорні балки є не підготовленими для з'єднання з нижньою перегородкою. Арматура знаходиться у вільно кінцях. Після того, як міцність опорної балки відповідає вимогам специфікації, шлак належним чином засипають і ущільнюють до дна нижньої плити основи. [3]

Етап 4. Нижня перегородка завершується залізобетонною заливкою класу С30. Марка сталі - сталь HRB400. Нижня перегородка має довжину 10 м, ширину 5 м, товщину 30 см. Після того, як нижня перегородка набула проектної міцності, щоб відповідати певним вимогам, виконують зворотню засипку. Між плитами нижньої перегородки резервується 2-сантиметровий будівельний стик, який заповнюється асфальтовою ватиною та двошаровою сталепластиковою сіткою, розміщеною на шві стику для запобігання відбиття тріщин. [4]

Етап 5. Після того, як міцність нижньої перегородки відповідає вимогам специфікації, шлаковий наповнювач з хорошою водопроникністю засипають і ущільнюють до нижньої поверхні шару дорожнього покриття. [5]

Аналіз методом кінцевих елементів.

У цій роботі ABAQUS використовується для моделювання чисельного моделювання проекту з використанням методу пальового фундаменту глибокого закладання та методу плитного фундаменту для створення двовимірної (2D) моделі аналізу (рис. 1).

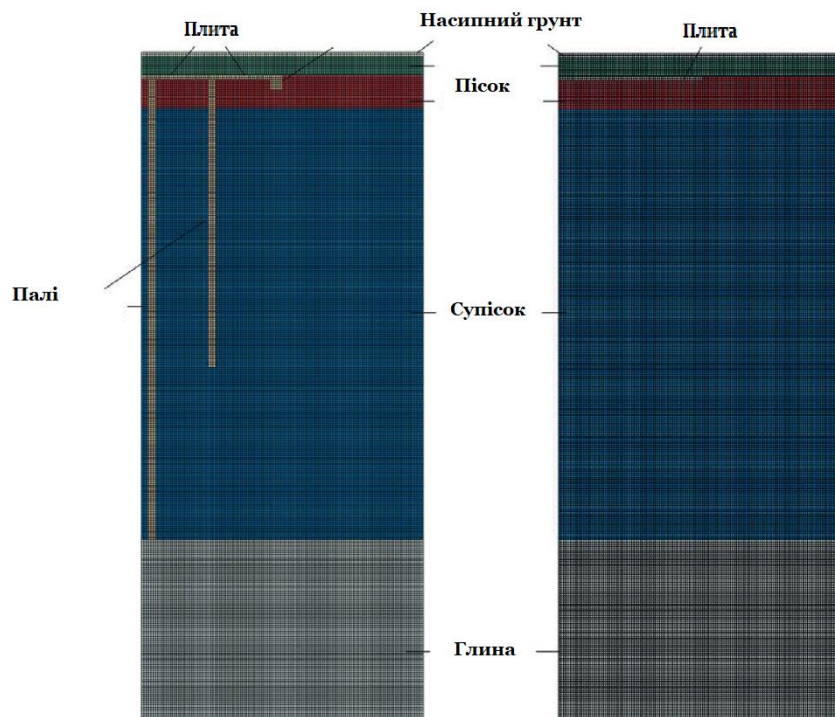


Рисунок 1 – Розрахункова модель

Довжина плитного фундаменту 20 м, глибина 46 м, що дозволяє виключити вплив граничних ефектів на результати моделювання. Загальна кількість сіток – 41 490, з них кількість елементів ґрунту – 38 827, елементів пальово-плитного композитного фундаменту – 1200, кількість елементів у шарі шлаку – 1197, кількість елементів у шарі дорожнього покриття. сітки — 266. Показники шару ґрунту, необхідні для моделювання, отримані за протоколом інженерних вишукувань та лабораторних випробувань. Ґрунт приймає модифіковану модель суглинку. Модуль пружності — 30 ГПа, коефіцієнт Пуассона — 0,2, модуль пружності покриття — 1,4 ГПа, коефіцієнт Пуассона — 0,2, модуль пружності шару засипки ґрунту — 14 МПа, коефіцієнт Пуассона — 0,35. Контакт паля-ґрунт використовує контакт поверхня-поверхня, звичайний контакт важко контактувати, тангенціальний контакт є хибним контактом, а коефіцієнт тертя становить 0,35. Всі інші контакти є жорсткими контактами. Спочатку використовуються кроки геостатичного аналізу на загальній моделі, щоб отримати правильне початкове поле напружень, а потім використовуються етапи аналізу ґрунту для врахування розсіювання тиску, а потім аналізується ефект обробки осадження в різний час. Після того, як споруда була введена в експлуатацію, навантаження еквівалентне 10,5 кПа, а загальний час аналізу становить 730 днів.

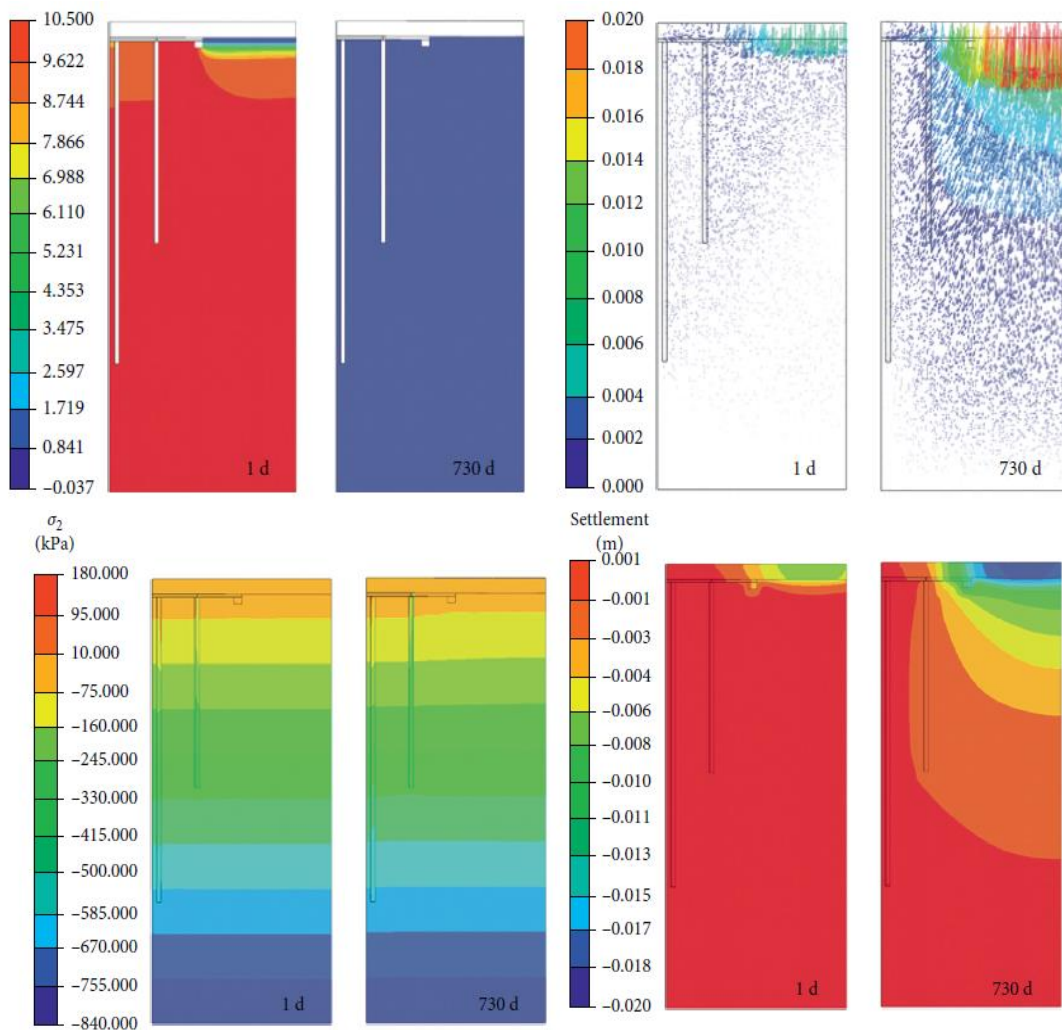


Рисунок 2 – Деформації і зміщення плитно-пального фундаменту

На рисунку 2 показані результати вертикального напруження, вертикального зміщення, тимчасового тиску та вектора зміщення за перший день і 730 днів моделювання ABAQUS. З рисунка 2 можна зробити висновок, що вертикальне напруження не змінюється суттєво, а зосереджене напруження створюється на стику плити паль.

Вертикальне зміщення поступово збільшується з часом, а зі збільшенням відстані від кінця зміщення також збільшується. Створюється надлишковий тиск від ґрунту і максимальне значення становить 10,46 кПа. З розвитком консолідації тимчасове навантаження в основному розсіявся через 60 днів. Вектор деформації поступово збільшується з часом, максимум становить 19,45 см, поступово зменшується з глибиною і збільшується з віддаленням від кінця фундаменту і досягає максимуму в кінці ділянки обробки, що свідчить про те, що пальово-плитний композитний фундамент може повністю замінити плитний.

Висновки. В цій статті представлено випадок використання нового композитного фундаменту паль-плит для боротьби з відділенням плити фундаменту від гірського масиву. Спочатку запропоновано спосіб обробки нижнього плитно-пального фундаменту та детально ознайомлено з методом будівництва. За результатами моніторингу на місці та аналізу кінцевих елементів можна зробити наступні висновки: Вперше запропоновано метод обробки торця плити інтегрованим бетонним перегородко-пальовим фундаментом. За рахунок загальної дії паль і плит розсіюється напруга фундаменту в фундаменті, що може не тільки зменшити осідання, але й покращити диференціальну осадку, забезпечуючи переходи між елементами конструкції за допомогою шарнірного з'єднання. У фокусі цієї роботи є пропозиція нового методу для вирішення проблеми нерівності плити за допомогою нового композитного фундаменту з пальових плит. Три аспекти нового методу будівництва (механічний аналіз пальової структури, механічний аналіз конструкції плити та кінцевий ефект контролю осадки) досліджуються на реальних випадках у поєднанні з польовим моніторингом та чисельним моделюванням та порівнюються з оригінальним методом. Подальші роботи будуть зосереджені на оптимізації проекту нового пальово-плитного композитного фундаменту.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В 2.1.- 10: 2018 Основи та фундаменти будівель та споруд. Основні положення. К.: Мінрегіон України, 2018. 35 с.
2. ДБН В 2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування. – На заміну СНиП 2.03.01-84*. К.: Мінрегіон України, 2011. 71 с.
3. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. К.: Мінрегіон України, 2006. 14 с.
4. ДБН В.1.2-2-2006. Навантаження та впливи. К.: Мінрегіон України, 2006. 75 с.
5. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. К.: Мінрегіон України, 2009. 107 с.

УДК 624.1

С. М. Стовпник, к. т. н., доц.,
Д. І. Андрійчук, магістр.
КПІ імені Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

КОНСТРУКТИВНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ЩОДО РЕКОНСТРУКЦІЇ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ТУНЕЛІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ ВТОРИННИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Анотація. Постановка проблеми. Наразі каналізаційні мережі великих міст України істотно зношені через тривалу експлуатацію, неефективні рішення щодо захисту конструкцій від агресивного впливу середовища, низької якості матеріалів і будівельно-монтажних робіт. Відновлення експлуатаційних характеристик, надійності і довговічності каналізаційних тунелів – витратне і технічно складне завдання, виконання якого гостро необхідне для запобігання аварій, в тому числі таких, що мають серйозні екологічні наслідки. Існуючі сучасні технології виробництва робіт і застосовувані для відновлення матеріали з різною ефективністю дозволяють виконувати ці завдання, разом із тим потреба зниження витрат на відновлення за рахунок використання вторинної полімерної сировини та вдосконалення технологічних рішень бачиться актуальним напрямком досліджень.

Мета статті. З урахуванням накопиченого досвіду відновлення каналізаційних тунелів розробити рішення щодо відновлення експлуатаційної придатності, надійності і довговічності каналізаційних тунелів. Висновок. Застосування виробів із вторинних полімерних композитних матеріалів у процесі відновлення каналізаційних тунелів має суттєві економічний і екологічний ефекти, а також забезпечує можливість проведення робіт із відновлення ділянок з обмеженим доступом.

Ключові слова: каналізаційний тунель; руйнування кріплення; захисне облицювання; санація; відновлення; вироби з вторинних композитних полімерних матеріалів

S. Stovpnyk, Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.,
D. Andriyчук, master.

CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS REGARDING THE RECONSTRUCTION OF SEWERAGE TUNNELS USING SECONDARY POLYMER ELEMENTS COMPOSITE MATERIALS

Annotation. Problem statement. Currently sanitary drainage systems of large cities in Ukraine are significantly worn down with prolonged use and due to inefficient solutions for protection of the structures from aggressive effects of the environment, poor quality of materials and construction and installation works during building. Restoration of performance characteristics, reliability and

durability of sewer tunnels is the costly and technically complex task, which is urgently needed to be fulfilled to prevent accidents including those with serious environmental impact. Modern work technique and the materials used for restoration allow us to solve these problems with different levels of efficiency, while reducing the cost of restoration due to use of recycled polymeric raw material, as well as to improvement of technological solutions is a currently important direction of research.

Purpose of the article. *To develop solutions for restoring serviceability, reliability and durability of sewer tunnels taking into account the accumulated experience in renovation of water disposal networks. Conclusion. Use of components made of recycled polymer composite materials during restoring sewer tunnels has significant economic and environmental effects and allows to undertake repair work in hard-to-reach areas.*

Keywords: *sewer tunnel; destruction of supports; protective lining; sanitization; renovation; components made of recycled polymer composite materials.*

Постановка проблеми.

Геотехнічні умови сформованих і перспективних територій великих міст істотно впливають на компонування мереж водовідведення при проектуванні, значною мірою диктуючи основні технічні рішення та типи конструкцій, що застосовуються.

Системи водовідведення великих міст України, що експлуатуються в даний час, мають значні за протяжністю тунельні ділянки глибокого закладання, побудовані, як правило, закритим способом з використанням прохідницьких щитових комплексів ПЩ 2,1; 2,56; 3,2; 3,7 та 4 м. [1].

Період активного розвитку інфраструктури великих міст України, у тому числі будівництва мереж водовідведення, пов'язаний насамперед з розвитком промисловості і припадає на другу половину ХХ століття.

Так, наприклад, у Харкові у цей період було введено в експлуатацію понад 50 км каналізаційних тунелів глибокого закладання; відповідно до чинних на момент будівництва нормативних вимог, для обслуговування мережі каналізаційних тунелів було побудовано понад 90 оглядових та перепадних шахт [2].

В даний час експлуатаційний період зазначених мереж становить більше 40 років, що позначається на їх технічному стані та експлуатаційних характеристиках: аварії, що виникають з наростаючою частотою, вимагають значних витрат лише на їх ліквідацію та локальні відновлення.

Без перебільшення можна сказати, що каналізаційні системи великих міст України працюють на межі колапсу, загрожуючи, окрім економічної шкоди, великими аваріями та серйозними екологічними наслідками [9].

Враховуючи вище сказане, розробка ефективних конструктивних та технологічних рішень щодо відновлення експлуатаційної придатності, надійності та довговічності каналізаційних тунелів – необхідна складова успішного вирішення проблеми зношених мереж.

Аналіз публікацій. Відбитий у літературі досвід відновлення та захисту конструкцій каналізаційних тунелів зводиться до технічних рішень, що забезпечують відновлення (при необхідності) несучої здатності конструкцій кріплення та пристрій захисного покриття, стійкого до дії характерного для умов експлуатації агресивного середовища [2; 11].

Існуючі на сьогоднішній день матеріали, вироби та технології їх застосування [7; 8] дозволяють широко застосовувати різні види труб при влаштуванні та відновленні мереж каналізації.

Також є досвід застосування поліетиленових листів [3] для влаштування захисного покриття залізобетонних конструкцій та труб [10] для санації мереж каналізації.

Властивості та особливості поведінки полімерних матеріалів, зокрема, поліетилену, достатньо вивчені як у лабораторних умовах, так і умовах реальних агресивних хімічних середовищ та мікробіологічних впливів [4].

Мета дослідження. Використовуючи накопичений досвід експлуатації мереж відновлення каналізаційних тунелів, розробити та запропонувати ефективні конструктивні та технологічні рішення щодо відновлення їх експлуатаційної придатності, надійності та довговічності. **Виклад матеріалу.** Враховуючи існуючий досвід захисту та відновлення конструкцій мереж водовідведення, пропонувані технічні рішення нових (альтернативних) способів відновлення конструкцій каналізаційних тунелів повинні відповідати таким вимогам:

- технологічність при виготовленні елементів;
- Простота монтажу, можливість застосування на ділянках з обмеженим доступом;
- стійкість до агресивного впливу середовища;
- довговічність та надійність;
- забезпечення надійного захисту від корозії конструкцій несучої обробки;
- відповідність екологічним вимогам;
- висока економічна ефективність.

В останні роки в Україні крім санації каналізаційних мереж з використанням різних видів труб (склопластикові, поліетиленові) набув широкого поширення досвід використання поліетиленових листів з анкерними ребрами, або профільованого поліетилену, призначеного для захисту залізобетонних будівельних конструкцій. Незважаючи на позитивні властивості цього матеріалу, що забезпечує надійний та довговічний захист, а також його технологічність та зручність використання, він має істотний недолік високої вартості.

Збільшення обсягів побутових та виробничих полімерних відходів створює можливості їх вторинного використання, а суттєве зниження вартості виробів із вторинних полімерних композитних матеріалів у порівнянні з виробами із сировини первинного циклу забезпечує їх конкурентоспроможність.

Враховуючи сучасні технологічні можливості вторинної переробки полімерів та виробництво виробів із вторинних композитних матеріалів [5; 6], пропонується спосіб відновлення каналізаційних тунелів, основними особливостями якого є:

- Використання вторинної полімерної сировини для виготовлення виробів;
- збірність конструкції захисного покриття з окремих елементів, що з'єднуються за рахунок кромки із «замковими» стиками (рис. 1)

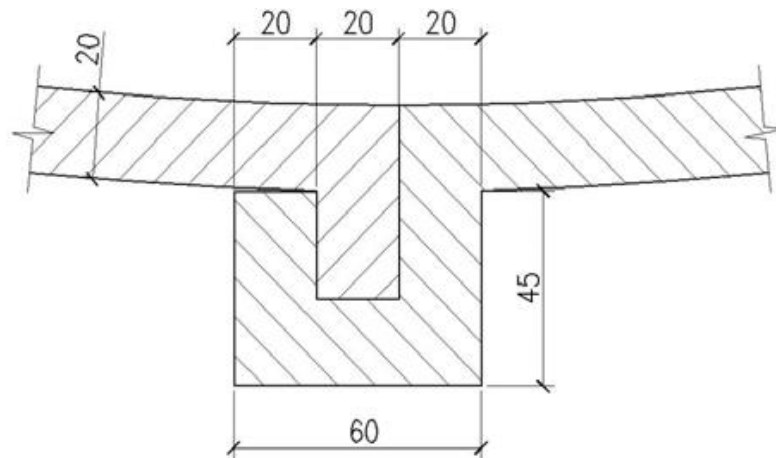


Рисунок – 1 Замкове з'єднання елементів за довжиною

Технологічний цикл виконання робіт із відновлення тунелів складається з наступних основних етапів:

- 1) очищення та підготовка внутрішніх поверхонь конструкцій обробки тунелю (рис. 2 а);
- 2) встановлення армування міжтрубного простору за необхідності посилення (рис. 2 б);
- 3) монтаж елементів облицювального покриття із вторинних полімерних композитних матеріалів (рис. 2 в);
- 4) наповнення міжтрубного простору методом ін'єктування (рис. 2 г).

Пропонований метод відновлення має ряд переваг:

- не потрібні значні розміри шахт для подачі елементів у стовбур колектора;
- технологічність, точність та простота монтажу, що забезпечується за рахунок точності виготовлення елементів у заводських умовах;
- довговічність, що обумовлюється товщиною полімерного покриття, що утворюється (порядку 20 мм) і стійкістю матеріалу до впливів характерної для систем каналізації агресивного середовища.

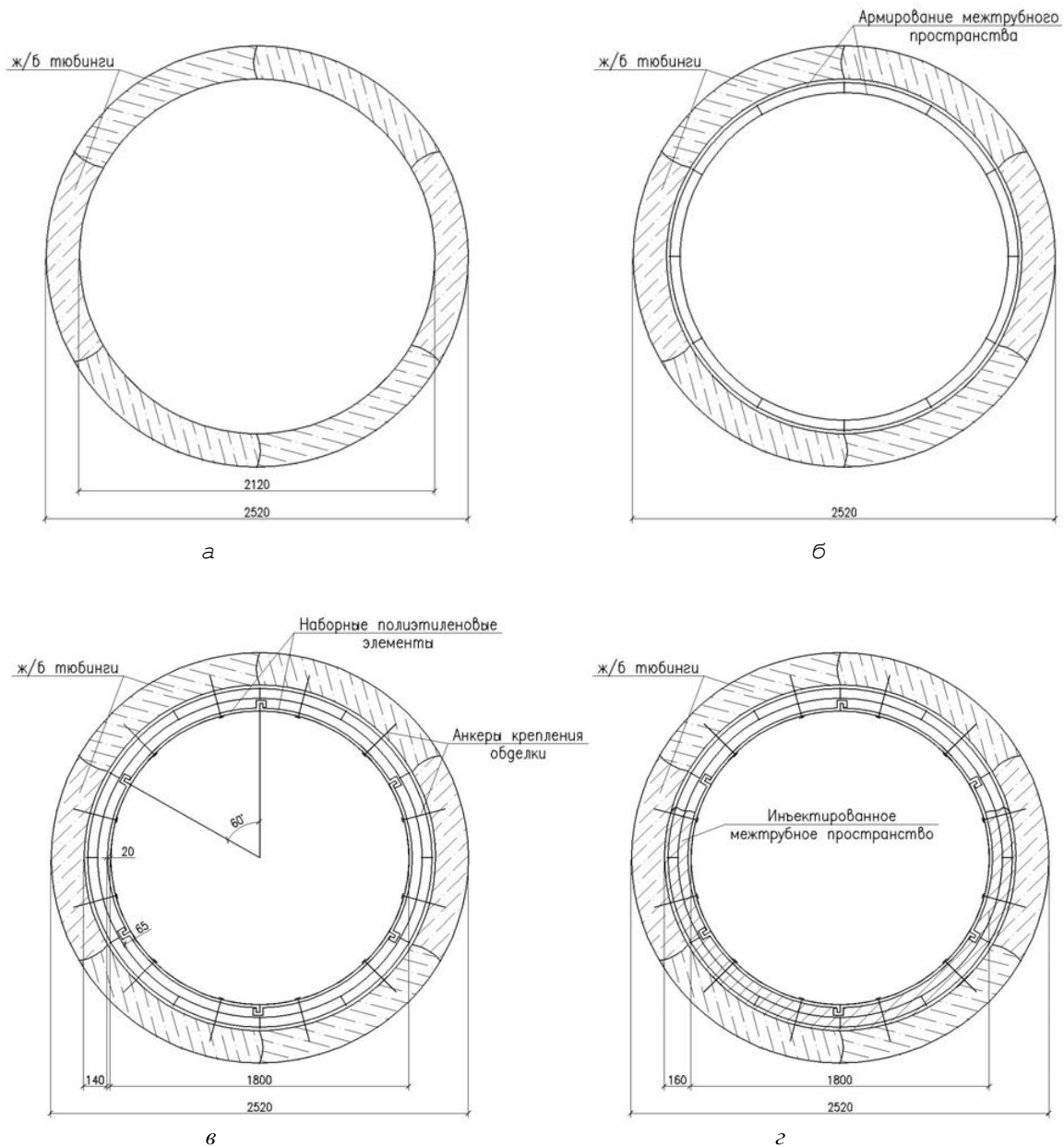


Рисунок – 2 Етапи відновлення каналізаційного тунелю з використанням елементів із вторинних полімерних композитних матеріалів:

а – очищення та підготовка внутрішньої поверхні (I етап); б - установка армування міжтрубного простору (II етап); в – встановлення композитних елементів облицювального покриття (III етап); г – бетонування міжтрубного простору методом ін'єктування (IV етап)

Висновки. Пропонований спосіб відновлення каналізаційних тунелів із застосуванням виробів із вторинних полімерних композитних матеріалів відповідає необхідним вимогам і має широкі можливості застосування, завдяки чому є конкурентоспроможною альтернативою наявним способам та забезпечує можливість економічно ефективного

вирішення проблеми відновлення надійності мереж каналізаційних колекторів великих міст.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Абрамович И. А. Сети и сооружения водоотведения: расчет, проектирование, эксплуатация / И. А. Абрамович. Харьков : Глобус, 2005. 288 с.
2. Гончаренко Д. Ф. Эксплуатация, ремонт и восстановление сетей водоотведения: монография / Д. Ф. Гончаренко. Харьков : Консум, 2008. 400 с.
3. Технологія відновлення трубопроводу водовідведення відкритим способом у місті Харкові / В. І. Шматченко, В. С. Шмуклер, Д. Ф. Гончаренко, А. О. Добряєв // Будівництво України. 2006. № 5. С. 15–19.
4. Эффективный метод ремонта и восстановления канализационных тоннелей / Д. Ф. Гончаренко, О. В. Старкова, Д. А. Бондаренко, А. А. Гармаш // Промислове будівництво і інженерні споруди. 2016. № 3. С. 33–36.
5. Горох Н. П. Защита конструкций систем водоотведения полимерными материалами / Горох Н. П., Коринько И. В., Коваленко А. В. // Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов : VIII междунар. науч.-техн. конф. : тр. конф. (12–16 июня 2000 г., г. Щелкино, АР Крым) / Нац. акад. наук Украины, М-во экологич. безопасности Украины, Гос. центр санэпиднадзора Украины [и др.]. Харьков, 2000. Т. 2. С. 404–407.
6. Процессы и аппараты регенерации и переработки полимерных отходов / Горох Н. П., Панов В. В., Булгаков В. В. Коринько В. И., Волков В. Н., Сторожук Ю. В., Хайло Я. Н., Гордеев А. Л. – Харьков, 2016. 327 с.
7. Забелин С. А. Технология ремонта трубопроводов водоотведения с использованием стеклопластиковых труб / С. А. Забелин // Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. – Київ : Техніка, 2012. Вип. 105. С. 272–278.
8. Fisher W. Abwasserrohre im Vergleich : Unterschiede von Rohren aus gefülltem und ungefülltem Polypropylen in Prüfung und Anwendung / Fisher W. // KA: Korrespondenz Abwasser, Abfall. 2013. g. 60, № 9. P. 765–772. Available at: <http://www.dwa.de/dwa/sitemapping.nsf/literaturvorschau?openform&bestandsnr=56483>.
9. On renovation of the destroyed tunnel sewer collector in Kharkiv / Garmash A., Bondarenko D., Zubko G., Goncharenko D. // World Journal of Engineering. 2016. Vol. 13, iss. 1. P. 72–76.
10. Schmidt U. Massnahmen gegen Geruch und Korrosion im Mindener Kanalnetz umgesetzt / Schmidt U., Bohatsch A. // KA: Korrespondenz Abwasser, Abfall. 2014. Jg. 61, № 4. P. 291–298.
11. Stein D. Trenchless Technology for Installation of Cables and Pipelines/ Stein D. – 1st edition. – Germany : Stein & Partner GmbH, 2005. 766 p.