

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ

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

**Навчально-науковий
Інститут енергозбереження та
енергоменеджменту**



ІЕЕ

**XV НАУКОВО-ТЕХНІЧНА
КОНФЕРЕНЦІЯ
«ЕНЕРГЕТИКА.
ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА»**

Присвячена 125-річчю КПІ

Збірник матеріалів конференції

16-18 травня 2023 р.

м. Київ

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

ГОЛОВА

Сергій ДЕНИСЮК

Директор

Навчально-наукового інституту

енергозбереження та енергоменеджменту

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАСТУПНИК ГОЛОВИ

Галина БЄЛОХА

Заступник директора з наукової роботи

Навчально-наукового інституту

енергозбереження та енергоменеджменту

КПІ ім. Ігоря Сікорського

Члени оргкомітету:

Білоус І.Ю. – к.т.н., доцент кафедри теплової та альтернативної енергетики НН ІАТЕ;

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

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

Вовк О.О. – д.т.н., проф., завідувачка кафедри геоінженерії НН ІЕЕ;

Дерев'янюк Д.Г. – к.т.н., доц., завідувач кафедри електропостачання НН ІЕЕ;

Докшина С.Ю. – асист. кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ;

Коцар О.В. – к.т.н., доц., доцент кафедри електропостачання НН ІЕЕ;

Левченко О.Г. – д.т.н., проф., завідувач кафедри охорони праці, промислової та цивільної безпеки НН ІЕЕ;

Третякова Л.Д. – д.т.н., проф. каф. Охорони праці, промислової та цивільної безпеки НН ІЕЕ.

Черноусенко О.Ю. д.т.н., професор, завідувачка кафедри теплової та альтернативної енергетики НН ІАТЕ.

Адреса організаційного комітету конференції:

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту. 03056, Україна, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, корпус 22,
к. 315, тел./факс (38-044) 204-85-14; с а й т : <https://en.iee.kpi.ua/> , e-mail: epconference1618@gmail.com

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF
UKRAINE**

**National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**

**Educational and Scientific
Institute of energy saving
and energy management**



IEE

**XV SCIENTIFIC AND TECHNICAL
CONFERENCE
"ENERGY.
ECOLOGY. HUMAN"**

Dedicated to the 125th anniversary of KPI

Conference proceedings

16-18 may 2023

Kyiv

"Energy. Ecology. Human" Collection of scientific works of the XV scientific and technical conference May 16-18, 2023 - Kyiv, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

CONFERENCE ORGANIZATION COMMITTEE

HEAD

Serhii DENYSIUK

Director

*of the Educational And Scientific Institute of
Energy saving and Energy management
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

DEPUTIE HEAD

Halyna Bielokha

Deputy director for scientific work

*of the Educational And Scientific Institute of
Energy saving and Energy management
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

Members of organization committee:

Bilous I.Yu. – Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, department of Heat and Alternative Power Engineering ES IATE;

Boychenko S.V. - Dr. Sc. (Eng.), Prof., head of the department of Automation of Control of Electrical Complexes ES IEE;

Vapnichna V.V. – Head of the trade union office Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, department of Geoengineering ES IEE;

Vovk O.O. – Dr. Sc. (Eng.), Prof., head of the department of Geoengineering ES IEE;

Derevianko D.H. – Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, head of the Power Supply department ES IEE;

Dokshyna S.Yu. – asst. department of Automation of Control of Electrical Complexes ES IEE;

Kotsar O.V. – Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, Power Supply department ES IEE;

Levchenko O.H. – Dr. Sc. (Eng.), Prof., head of the department of Labor Protection, Industrial and Civil Safety ES IEE;

Tretyakova L.D. – Dr. Sc. (Eng.), Prof., department of Labor Protection, Industrial and Civil Safety ES IEE.

Chernousenko O.Yu. Dr. Sc. (Eng.), Prof., head of the department of Heat and Alternative Power Engineering ES IATE.

Organizational committee of the conference:

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Institute of Energy saving and Energymanagement. 3056, Ukraine, Kyiv, 115 Borshchagivska st., b. 22, r. 315, tel./fax (38-044) 204-85-14;
e-mail: epconference1618@gmail.com, link: en.iee.kpi.ua

ЗМІСТ

Розділ 1: Сталий розвиток енергетики. Сучасні системи забезпечення електричною енергією

Ляхова К.М.

Проблема виникнення провалів напруги в електричній мережі.....8

Бушинський Б.А.

Видалення шумових компонент інформаційних сигналів за допомогою вейвлет-перетворень.....15

Кацюба Б.К.

Аналіз стану ринку електромобілів та розвитку інфраструктури зарядних станцій в Україні.....19

Беспала Н.Г.

Використання інсоляції для енергетичних потреб будівель: стратегії та перспективи.....22

Поведа М.О., Куудінова О.В.

Застосування сучасних інформаційних технологій для регулювання режиму споживання теплової енергії в будівлях.....31

Сисюк Т.С.

Аналіз підходів на принципів формування ВДЕ спільнот.....38

Кудінова О.В.

Застосування технології розумних контрактів блокчейну на ринку відновлюваної енергетики.....41

Цюх В.О.

Стан впровадження систем накопичення енергії.....46

Поведа М.О., Кудінова О.В.

Розумні лічильники і споживачі управління попитом - виклики та перспективи.....50

Розділ 2: Енергетичний менеджмент та інжиніринг

Гурєєв М.В.

Використання програмного забезпечення ENERGYPLUS для визначення складової повітрообміну.....58

Кононенко К.І.

Економічні показники проектів комбінованого енергозабезпечення багатоквартирної будівлі з використанням теплового насосу та централізованого тепlopостачання.....62

Сагайдак Я.Б., Буяк Н.А.

Підвищення рівня енергоефективності та оцінка енергетичних характеристик спеціалізованої школи.....67

Точинський Я.Р., Буяк Н.А., Білоус І.Ю.

Оцінювання енергетичної ефективності закладу охорони здоров'я м. Чернігів в період післявоєної розбудови.....70

Розділ 3: Інжиніринг, автоматизація електротехнічних комплексів, мехатроніка енергоємних виробництв

Горобець А.М.

Розподіл електричної енергії серед споживачів промисловості та житлового сектору в умовах обмежень енергосистеми.....73

Сірик А.В.

Підвищення ефективності процесу відновлення продуктивності нафтових свердловин шляхом використання дворежимного струминного насоса.....77

Кошиль П.В.

Синтез оптимального регулятора контуру температури вентиляторної установки варіаційним методом80

Яцишина С.О.

Мобільний дистильатор рідини.....85

Дяченко В.

Керування технологічним процесом з використанням нейронної мережі.....88

Боднарук О.Ю.

Насосні установки зі стабілізацією тиску. Огляд режимів роботи.....91

Шестак Д.Є.

Модернізація конструкції тюбінгоукладчика прохідницького щита WIRTH TB 576, шляхом зміни та проектування демфера гідроциліндра.....95

Пермяков Д.Д.

Комбіновані системи управління електроприводом підйомно-транспортних установок з пружними ланками.....99

Розділ 4: Інженерна екологія, геоінженерія та ресурсозбереження

Літвинчук І.Д., Остапчук А.О.

Встановлення факторів, що визначають ефективність екскаваторних комплексів під час їх роботи в кар'єрах.....102

Аксютенко П.С., Кисель А.В., Бабичев І.К.

Модельовання комбінованого заховання пустих порід та відходів збагачення залізної руди.....106

Бельтек М.І., Євпак Н.А.

Характеристика та порівняльний аналіз методів оцінки реальної міцності гірних масив.....110

Дзьоба М.В., Фастовчук В.М.

Аналіз причин деформації схилів у відкритому кар'єрі.....115

ПРОБЛЕМА ВИНИКНЕННЯ ПРОВАЛІВ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ

Анотація. Проблема беззаперечного дотримання визначених ДСТУ рівнів ПЯЕ за останнє десятиліття набула ще більшої актуальності через стрімке залучення до технологічних процесів, зокрема в металургійному комплексі, мікропроцесорів та зростанням рівня автоматизації та диспетчеризації циклів. Необхідність всебічного дослідження показника ПЯЕ – провали напруги – зумовлена чутливістю пристроїв напівпровідникової та мікропроцесорної елементної бази до стабільності показника напруги живлення. Також самі нелінійні струмоприймачі є джерелом спотворення якості електроенергії, зокрема джерелом виникнення провалів напруги. В статті розглянуто причини виникнення, типи провалів напруги та можливі впливи на переважні споживачі електроенергії промислових підприємств металургійної галузі. Також проаналізовано можливість врахування негативних впливів на коректне функціонування окремих груп електроприймачів.

Ключові слова: Провали напруги. Показники якості електроенергії. Електричні мережі. Проектування.

Вступ. Протягом останнього десятиліття із широким запровадженням у промислові технологічні процеси мікропроцесорної елементної бази автоматичного керування та регулювання і захисту, вентильних перетворювачів, сучасних установок дугових сталеплавильних печей, дробарок, зварювальних апаратів, потужних електродвигунів значення якості електричної енергії, зокрема фактору провал напруги набуває особливого значення, оскільки сучасні електроріймачі не лише надзвичайно вибагливі до якості споживаної електроенергії, але й зазвичай їхнє ввімкнення в електричну мережу призводить до суттєвого зниження ПЯЕ.

Також потрібно зважати, що від 23.02.2022 року Україна остаточно від'єдналась від Єдиної енергетичної системи СНД та 16.03.2022 стала членом "енергетичного Євросоюзу", тобто приєдналась до європейської енергетичної системи ENTSO-E. Україна повністю інтегрується з європейським ринком, з усіма його перевагами та недоліками, а українські виробники зможуть експортувати електроенергію за вищими цінами, ніж всередині країни.

ENTSO-E (англ. *European Network of Transmission System Operators for Electricity*) – це європейська мережа операторів системи передачі електроенергії, що була створена у 2009 році. Станом на 2021 рік вона об'єднувала 42 оператори у 35 країнах континенту. Приєднання до ENTSO-E та кошти європейських донорів нададуть поштовх до оновлення застарілої інфраструктури – відбудовувати застарілі екстенсивні радянські блоки вугільної та атомної генерації після перемоги не планується – в умовах ринкового ціноутворення це б зробило українську енергетику не конкурентоздатною порівняно з іншими європейськими країнами. Отже нас очікує програма з модернізації енергетичної інфраструктури. І саме на часі акцентувати увагу інженерів та менеджменту на проблемі показників якості електричної енергії (ПЯЕ). Недостатнє усвідомлення значущості беззаперечного дотримання цих показників на належному за ДСТУ рівні, відсутність всебічного і глибокого дослідження деяких показників - зокрема падіння напруги -, відсутність достовірних статистичних даних впливу провалів напруги на перебіг безперервних технологічних процесів гірничовидобувної та металургійної промисловості можуть виявитись наріжними причинами відсутності комплексних рішень під час відбудови та реконструкції енергетичної інфраструктури задля підвищення енергоефективності промисловості.

Мета та завдання статті – проаналізувати переважні причини виникнення провалів напруги, систематизувати наявні відомості про негативні впливи провалів напруги на окремі групи електроприймачів промислових підприємств гірничої та металургійної галузі, оскільки саме комплексний підхід до аналізу проблеми провалів напруги та його впливів на системи автоматизації,

диспетчеризації, на різні типи електродигунів ГВК тощо висвітлює приховані резерви підвищення енергоефективності підприємства та системи в цілому.

Матеріал і результати досліджень було отримано застосуванням методу системного аналізу інформації з відкритих джерел щодо окресленої проблеми, порівняння, класифікації та узагальнення інформації з подальшою систематизацією та синтезом висновків. Було розглянуто питання провалів напруги – цей показник безпідставно подекуди забувають, обговорюючи ПЯЕ. Аналіз наукових джерел засвідчив відсутність будь-якої статистики негативних впливів провалів напруг на окремі групи промислових споживачів електроенергії. Також аналіз відкритих джерел засвідчив відсутність комплексного підходу в Україні до вивчення впливів провалів напруг, оскільки чутливість окремих груп електроприймачів до цього фактору ПЯЕ докорінно відрізняється, тому лінійно поширити висновки дослідження однієї групи на всі неможливо. Для синтезу комплексної картини необхідно виокремити кожен групу споживачів і дослідити її.

Якість електричної енергії - це сукупність властивостей електричної енергії відповідно до встановлених стандартів, які визначають ступінь її придатності для використання за призначення.

Відповідно до положень пункту 11.4.6 глави 11.4 розділу XI Кодексу систем розподілу, затвердженого постановою НКРЕКП від 14.03.2018 № 310 (далі – КСР), параметри якості електроенергії в точках приєднання споживачів в нормальних умовах експлуатації мають відповідати параметрам, визначеним у ДСТУ EN 50160:2014 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності».[1]

Згідно з чинними нормами, провалом напруги називають короточасне (від півперіоду до кількох десятків секунд) різке зменшення величини середньоквадратичного значення напруги більш ніж на 10 % від номінального в деякій точці електричної мережі, з подальшим її відновленням до попереднього або близького до нього значення. Для провалу напруги згідно з [1] (рис. 1) використовують такі основні характеристики:

– глибина провалу, яку визначають за найменшим значенням напруги під час її провалу [5, с 390],

$$\delta U_n = \frac{U_{\text{НОМ}} - U_{\text{МІН}}}{U_{\text{НОМ}}} 100\%$$

– тривалість провалу, яку визначають як час від моменту зменшення напруги нижче від 90 % до моменту, коли під час відновлення вона стає більшою від цього значення,

$$\Delta t_{\text{П}} = t_{\text{П}} - t_{\text{К}}$$

– амплітуда провалу, яка є відносним найменшим значенням напруги під час її провалу,

$$U_n = \frac{U_{\text{МІН}}}{U_{\text{НОМ}}} 100\%$$

– інтенсивність провалів, яку визначають щодо сумарної кількості провалів напруги M для визначеної кількості провалів m з глибиною $\delta U_{\text{П}}$ і тривалістю $\Delta t_{\text{П}}$ за період T ,

$$F_n = \frac{m(\delta U_n, \Delta t_n)}{M} 100\%$$

Розрізняють збалансований та незбалансований провали.

Збалансований провал напруги відбувається за умови, що амплітуда коливань всіх трьох фаз напруги (фаза А, фаза В та фаза С) зменшується на однакову величину (рис.2). Збалансований провал напруги може виникнути з різних причин: коротке замикання, відключення постачання енергії або інші проблеми в електричній мережі.

Незбалансований провал напруги відбувається, коли напруга в одній фазі зменшується більше, ніж в інших фазах (рис 3). Це може статися, коли в електричній мережі є проблеми з нерівномірним розподілом навантаження між фазами або через проблеми з провідниками, з'єднувальними елементами тощо. Також незбалансований провал напруг і при наявності відхилень кутів від 120 градусів, а також при зменшенні величини напруг в декількох фазах.

Також незбалансований провал напруги відбувається і за наявності відхилень кутів між фазами від 120 градусів, а також при зменшенні величини напруг в кількох фазах (рис 4).

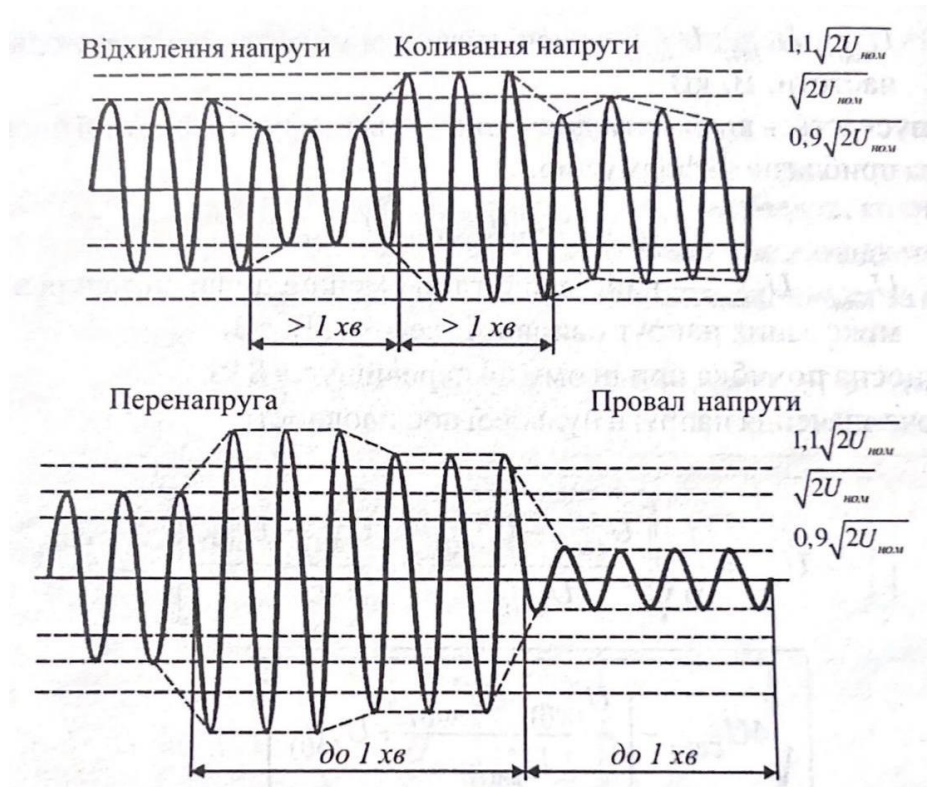


Рисунок 1 – Порівняння провалів напруги з відхиленнями напруги [5,с 390]

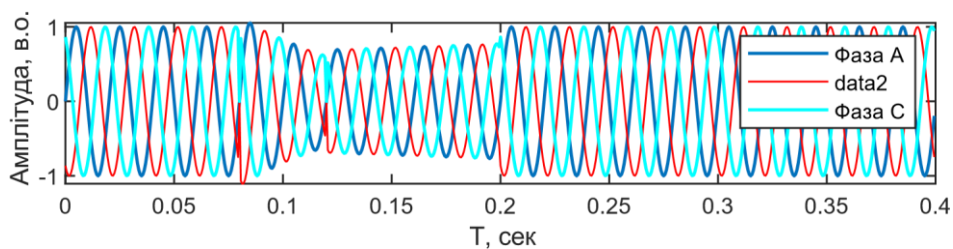


Рисунок 2 – Трифазний збалансований провал напруги

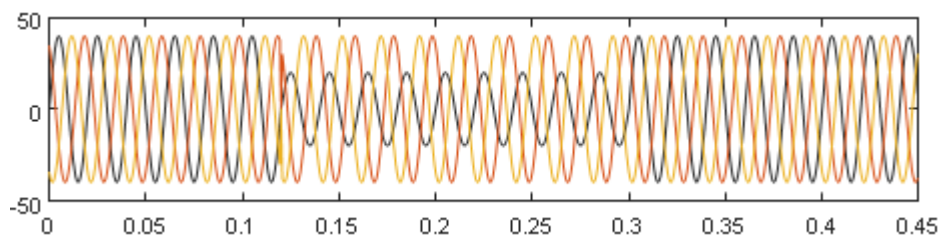


Рисунок 3 – Трифазний незбалансований провал напруги - фаза А

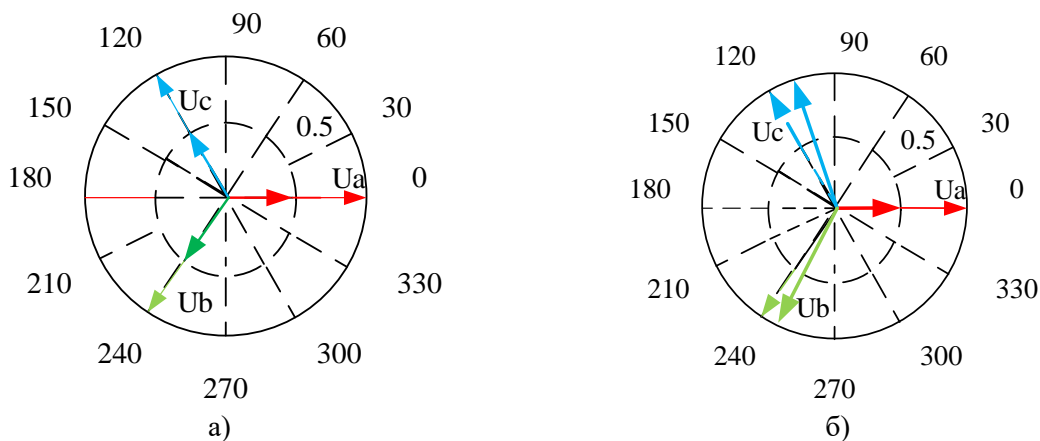


Рисунок 4 – Векторна діаграма трифазної напруги :
а) – норма, б) - трифазний незбалансований провал напруги - фаза В і С

Загальновідомо, що будь-які зниження напруги в електричних мережах спричиняються або стрімким зростанням струму в певній частині електромережі, або раптовим збільшенням реактивного опору системи. Тому основними чинниками провалів напруги визначимо включення потужного навантаження, короткі замикання та помилки в роботі засобів регулювання напруги.

Коротке замикання спричиняє стрімкий сплеск струму в електромережі і призводить до збільшення реактивного опору системи після ліквідації КЗ через вимкнення окремих елементів системи таких, як трансформаторів та ділянок ліній, а це призводить до спаду напруги. Від причини КЗ, конфігурації мережі, величини навантаження, віддаленості точки КЗ природно може залежати такий параметр, як глибина провалу напруги.

Якщо ж лінія після відключення вмикається пристроєм автоматичного повторного ввімкнення (АПВ) чи спрацюванням автоматичного ввімкнення резерву (АВР), провали напруги виникають на затискачах споживачів під час КЗ. Глибина провалу зменшується (але не обернено пропорційно) із збільшенням відстані до точки КЗ.

Тривалість провалу напруги залежить від часу спрацювання пристроїв автоматики і релейного захисту. Проте на повітряних лініях, що живлять окремих споживачів, відключення через пошкодження спричиняє провал напруги, який триває до ввімкнення АПВ. Це спричиняє більше шкоди, ніж провал напруги від КЗ, проте використання пристроїв АПВ та АВР є необхідним для забезпечення безперервності електропостачання, хоча може і погіршувати ситуацію з огляду на провали напруги.

З огляду на наведені факти можна виснути гіпотезу, що виникнення провалу напруги на затискачах споживача має вищу ймовірність, аніж втрата живлення, тому що знеструмлення в разі КЗ очікує лише на споживачів за вимикачем фідера, тоді як провал напруги відчують усі споживачі мережі. Постачальні компанії активно включають в мережі АПВ і цим скорочують тривалість аварійних відключень, але саме за рахунок зниження якості енергії.

Тому, робота пристроїв АПВ та АВР потрібно налагоджувати з урахуванням явищ провалів напруги та їх наслідків.

Ще однією причиною утворення провалів напруги можна назвати надмірний пусковий струм потужних великих електродвигунів, оскільки він 6-7 разів перевищує номінальний струм. В результаті відбувається відключення систем через перевантаження по струму, вимкнення пристрою через зниження напруги, порушення роботи контролерів і простій електродвигунів. Цю проблему можна вирішити за рахунок застосування технології компенсації пускового струму чи застосування схем м'якого («плавного») пуску, або обмеження струму при запуску двигуна за допомогою з'єднання «зірка».

Провали напруги за своєю природою непередбачувані та непостійні за місцем і часом. На цей час неможливо дати статистичні результати стосовно частоти провалів напруги, що повністю охоплюють усі європейські мережі, але мусимо зауважити, що залежно від вибраного методу вимірювання потрібно враховувати невизначеність вимірювання, що впливає на результати, особливо відносно до короткочасних подій. Щодо невизначеності вимірювання потрібно застосовувати ДСТУ EN 61000-4-30. «Зазвичай, тривалість провалів напруги залежить від вибраної стратегії побудови захисту в мережі, що залежить від структури мережі та уземлення нейтралі.»[1, с 10, п 4.3.2.4.]. Отже глибина дослідження проблеми провалів напруги визначатиме рівень захищеності електричних мереж та забезпечення належного рівня ПЯЕ.

Протягом провалу напруги потрібна енергія не поступає до електро - приймачів, і характер наслідків цього залежить від характеру та призначення приймача. Також приймачі різного типу через конструкційні особливості мають різні рівні чутливості до провалів напруг, які на сьогодні в Україні слабо досліджені. Але можна впевнено стверджувати, що у споживачів (приймачів) електричної енергії існує критична межа амплітуди напруги постачання, і зменшення амплітуди під час провалу напруги нижче цього критичного рівня спричинить порушення його коректного функціонування. [4, с 18]. Так, зменшення напруги на величину 25% від номінального значення протягом 0,1 с сприймається зором як блимання світла. В побутового споживача це спричинить емоційні незручності, оскільки процес короткочасний і до втрати чи погіршення зору не призведе. Однак, такий провал напруги в електропостачанні промислового підприємства (дробильної, збагачувальної фабрики, шахти тощо) з неперервним технологічним процесом може зумовити ланцюгову реакцію помилок і порушень в роботі виробничого обладнання та апаратури автоматичного контролю, правління та релейного захисту, а часто і його зупинку, що може призвести до значних матеріальних втрат внаслідок виготовлення бракованої продукції (за умови індукційної плавки сталі чи кольорових

сплавів), зупинення виробництва через потребу заміни пошкодженого обладнання та додаткових витрат під час відновлення виробництва. Також виникатиме проблема зниження продуктивності праці, оскільки блимання освітлення у виробничому приміщенні прискорює втомлюваність персоналу через вищу ймовірність провалів напруг під час електропостачання фабрик металургійного комплексу зокрема через використання в технологічних процесах потужних великих синхронних двигунів, здебільшого в обладнанні кар'єрів криворізького залізничного басейну.

Розглянемо впливи провалів напруг на окремі групи електроприймачів.

- Прилади освітлювання. На роботу ламп розжарювання майже не впливають. Проте зниження напруги спричиняє зменшення світлового потоку, а отже і освітленості та може призвести до підвищення ризиків виробничого травматизму. Натомість провал напруги з падінням амплітуди на 20 % цілком унеможлиблює роботу газорозрядних та люмінесцентних ламп через неможливість світіння. Стандартом визначається вплив коливань напруги на освітлювальні установки, що впливають на зір людини. Мерехтіння світла джерел освітлення (флікер - ефект) створює неприємний психологічний ефект, втому зору й організму в цілому. Це веде до зниження продуктивності праці, а в ряді випадків і до травматизму. Найбільш сильний вплив на око людини надають миготіння з частотою 3 -10 Гц, тому допустимі коливання напруги в цьому діапазоні мінімальні - менше 0,5%.

- Асинхронні двигуни. При зміні напруги змінюється механічна характеристика АД - залежність його обертового моменту M від ковзання s або частоти обертання. Через падіння амплітуди напруги під час провалу напруг асинхронний двигун зазнає суттєвих перевантажень, що спричиняє значне скорочення терміну служби цих двигунів і призводить до значних економічних збитків промислових підприємств через необхідність заміни. Частота обертання змінюється залежно від поданої напруги настільки, що навіть коливання і дозволеному інтервалі : -5% - + 10% призводить до втрати ефективності технологічного обладнання, зокрема автоматизованих ліній, конвеєрів, станків, що зазвичай обладнані потужними асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором [4].

Під час тривалих провалів напруги тривалістю кілька секунд (іноді менше 1 с), коли зниження напруги є значним, можливе "перекидання" (гальмування) асинхронних двигунів. Електромагнітний момент, що розвиває асинхронний двигун, залежить від квадрата напруги на його затискачах. Усталений режим роботи двигуна характеризується балансом між електромагнітним моментом двигуна та моментом опору навантаження. З виникненням провалу напруги різко знижується електромагнітний момент асинхронного двигуна внаслідок зниження діючого значення прикладеної напруги. У результаті, момент двигуна стає меншим від моменту опору механізму навантаження і ротор починає гальмуватися. Якщо тривалість провалу напруги перевищує час, за якого ковзання зростає до значень, більших від критичного ковзання, то після усунення к.з. це може спричинити повне гальмування ротора. Тому провали напруги негативно впливають не тільки на системи керування, але й на самі двигуни, будучи причиною порушення їх нормальної роботи і навіть повної зупинки. Проте, як правило, на короткочасні (менше 0,5-1 с) провали напруги асинхронні двигуни практично не реагують. Якщо двигун довго працює при зниженій нарузі, то через прискорений знос ізоляції термін служби двигуна зменшується. Наближено термін служби ізоляції T можна визначити за формулою

$$T = \frac{T_{\text{ном}}}{R}$$

де $T_{\text{ном}}$ - термін служби ізоляції двигуна при номінальній нарузі і номінальному навантаженні;

R - коефіцієнт, що залежить від значення і знаку відхилення напруги, а також від коефіцієнта завантаження двигуна

- Синхронні двигуни. Провали напруги також впливають на зменшення електромагнітного моменту синхронних двигунів, оскільки він прямо пропорційно залежить від напруги на затискачах двигуна. Внаслідок цього відбувається зменшення швидкості обертання ротора і починається його гальмування, що може призвести до випадання з синхронізму синхронного двигуна. Однак для таких двигунів значний вплив на величину електромагнітного моменту має величина струму збудження.

- Електропечі. Провали напруги суттєво впливають на перебіг технологічного процесу дугових печей за регулювання сталості напруги чи потужності - зумовлюють підвищене споживання електричної енергії, залежність квадратична від амплітуди напруги. Зниження напруги на 8-10 % для печі опору чи індукційної печі унеможлиблює доведення до завершення технологічного процесу, а отже є неприйнятним.[3, с 151].

- Зварювальне обладнання. Для якісного шва потрібна певна визначена тривалість циклу для прогріву шва, яка за провал напруги з амплітудою 10% спричиняє збільшення тривалості циклу на 20% і призводить до погіршення якості самого шва.

- Мікропроцесорні системи керування. Провали напруги можуть призвести до втрати даних в пристроях обробки інформації, що дуже знижує їх загальну ефективність. Власне саме широке залучення мікропроцесорів та комп'ютерної техніки в системи автоматичного керування та контролю технологічних процесів і загострило проблему провалів напруги внаслідок її вразливості до провалів напруги, оскільки навіть дуже короточасні зниження діючого значення напруги можуть спричинити помилки у роботі пристроїв обробки та зберігання інформації.

- Пристрої силової електроніки.

Особливо чутливими до провалів є пристрої автоматики, системи захисту, контролери параметрів та мікропроцесори. Сприйнятливність електроприймачів до короточасних випадкових перешкод визначається їхньою інерційністю, тобто часом, протягом якого вони здатні зберегти енергію електромагнітного або електростатичного поля, що запаслась. Тому електроприймачі, що мають індуктивний або ємнісний характер споживання електроенергії, менш чутливі до провалів на відміну від безінерційних, наприклад мікропроцесорного обладнання.

Чутливість такого обладнання, як верстати та прокатні стани, проявляється через чутливість до перешкод не приводів, а їх мікропроцесорних систем керування. При роботі таких систем можуть бути критичними різкі зміни напруги, які повторюються, розмахом 1,5-2% із частотою 3-5 Гц або періодичністю 0,2 - 0,4 с.

Провали напруги несуть також небезпеку для електромагнітних реле та контакторів і можуть бути причиною вимкнення контрольованого кола у той час, коли всі інші елементи кола стійко його переносять. Чутливість реле та контакторів до провалів напруги може бути визначальною тоді, коли всі інші елементи технологічної системи мають нижчу чутливість до провалів напруги, що може спричинити порушення в роботі систем живлення чи керування процесами.

Економічні збитки.

Економічні збитки від провалів напруги, по-перше, визначаються характером технологічного процесу. Максимальної шкоди провали напруг завдають «безперервним технологічним процесам» гірничодобувної галузі, металургійного виробництва, нафтопереробки, хімічної промисловості тощо. Зупинка і повторний пуск таких процесів вимагають тривалого (кілька годин – кілька діб) часу та можуть мати невідворотні наслідки – вибраковка сієї лави чавуну чи вихід з ладу дорого вартісного обладнання (стрічкових конвеєрів, машин безперервного розливу сталі, кристалізаторів, дробарок тощо) через порушення технологічного регламенту. Такий процес забезпечується складним технологічним ланцюгом, і вихід з лад чи зупинка одного агрегату, чутливого до провалу напруги певної глибини запускає ланцюгову реакцію зупинок обладнання. Тому збитки зумовлюються в кращому випадку вибракуванням деякої частини продукції, в гіршому – в повній зупинці процесу, видаленні всіх непрореагованих мас сировини та продуктів плавки/збагачення/реакції, продувки/промивки всієї системи та налагодженні нового процесу. В найгіршому випадку додається необхідність заміни/ремонт виведеного з лад обладнання чи його компонентів.

Тому при проектуванні систем електропостачання промислових підприємств окремих галузей обов'язково має братись до ваги проблема ймовірності раптової зупинки лінії через провали напруги та враховуватись чутливість до його параметрів основних струмоприймачів. Повністю виключити провали напруги в системах зовнішнього електропостачання неможливо через об'єктивність причин їхнього виникнення, але мінімізація негативних наслідків можлива впровадженням комплексу запобіжних заходів.

Висновки. Малодосліджена проблема потребує ґрунтовного вивчення, оскільки може дати додаткові резерви для підвищення енергоефективності гірничої та металургійної галузі України та і промисловості в цілому. Чутливими до показника провалу напруг виявились не лише вентильні перетворювачі і мікропроцесори, але й електропечі та асинхронні двигуни. Також потерпають від цієї проблеми елементи освітлення ДЛР (дугова ртутна люмінесцентна лампа).

Мінімізувати негативні впливи провалів напруг на ефективність роботи промислового підприємства можливо через усвідомлення потреби у всебічному дослідженні впливу провалів напруг на струмоприймачі підприємства, оцінці чутливості до цього параметру якості енергії окремих приймачів та системи в цілому і врахуванні отриманих результатів під час пошуку оптимального комплексного рішення під час проектування чи реконструкції зовнішніх та внутрішніх електричних систем підприємства.

Список використаних джерел.

1. ДСТУ EN 50160:2014-1 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності».
2. Публічна інформація НКРЕКП. (n.d.). Якість електричної енергії. Отримано з <https://www.nerc.gov.ua/sferi-diyalnosti/elektroenergiya/yakist-elektropostachannya/yakist-elektrichnoyi-energiyi>
3. Федоров, А. А., & Каменева, В. В. (1984). Основы электроснабжения промышленных предприятий (4-е изд.). Москва: Энергоатомиздат. 1984. - 472 с.
4. Варецький, Ю. О., & Пукальський, А. М. (n.d.). Аналіз впливу провалів напруги на систему електроспоживання. Національний університет "Львівська політехніка".
5. Шестеренко, В. Є. (2004). Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Підручник. Вінниця: Нова Книга.
6. Федонюк, М. (2009). Характер провалів напруги в розподільній мережі з місцевою електростанцією. В Е. Gubarevich (ред.), ELECTRIC POWER ENGINEERING & CONTROL SYSTEMS 2009 (с. 18). Львів, Україна.

К. Lyakhova¹, master student
¹**National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**

THE PROBLEM OF VOLTAGE FAILURES IN THE ELECTRICAL NETWORK

Abstract. *The problem of undisputed compliance with the levels of EQI determined by DSTU has become even more relevant in the last decade due to the rapid involvement of microprocessors in technological processes, in particular in the metallurgical complex, and the increase in the level of automation and dispatching of cycles. The need for a comprehensive study of the EQI indicator - voltage dips - is caused by the sensitivity of semiconductor and microprocessor element base devices to the stability of the supply voltage indicator. Also, the nonlinear current receivers themselves are a source of power quality distortion, in particular, a source of voltage drop. The article discusses the causes, types of voltage dips and possible effects on the main consumers of electricity of industrial enterprises in the metallurgical industry. The possibility of taking into account the negative effects on the correct functioning of certain groups of electrical receivers was also analyzed.*

Keywords: *Voltage drops. Power quality indicators. Electrical networks. Designing.*

ВИДАЛЕННЯ ШУМОВИХ КОМПОНЕНТ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕНЬ

З моменту використання інформаційних сигналів, виникла проблема зашумлення сигналу. Ця проблема є однією із найбільш актуальних і поширених проблем у сфері обробки інформаційних сигналів загалом і при стисненні сигналів зокрема. Локальна зашумленість сигналу при його стисненні може бути хибно прийнята за його характерні особливості, що призведе до значного ускладнення алгоритму стиснення, а також негативно вплине на якість стиснення. Розробка і покращення вже існуючих методів видалення шумових компонент із інформаційного сигналу та подальшого його стиснення (відновлення) є актуальною науково-практичною проблемою.

Ключові слова: вейвлет-аналіз, тип порогового значення, інформаційний сигнал із наявністю шуму.

Вступ: З моменту використання інформаційних сигналів, виникла проблема зашумлення сигналу. Ця проблема є однією із найбільш актуальних і поширених проблем у сфері обробки інформаційних сигналів загалом і при стисненні сигналів зокрема. Локальна зашумленість сигналу при його стисненні може бути хибно прийнята за його характерні особливості, що призведе до значного ускладнення алгоритму стиснення, а також негативно вплине на якість стиснення. Розробка і покращення вже існуючих методів видалення шумових компонент із інформаційного сигналу та подальшого його стиснення (відновлення) є актуальною науково-практичною проблемою.

Мета: дослідити інформаційний сигнал за рахунок накладання шуму та вибір порогових функцій: SURE та Universal Threshold. Вибирати тип вейвлетів (Добеші, Сімлети, Біртогональні, Койфлети) для проведення знешумлення сигналу. Та застосувати вейвлет-перетворення до зашумленого сигналу, щоб вейвлет-коефіцієнти, значення яких більше за порогове значення – відкинути. Потім із коефіцієнтами, які залишилися провести зворотнє вейвлет перетворення і отримати в залежності від порогової функції та типу вейвлету знешумлений сигнал.

Матеріал і результати досліджень: Розглянемо інформаційний сигнал електричної напруги з провалом (Рис. 1) [1].

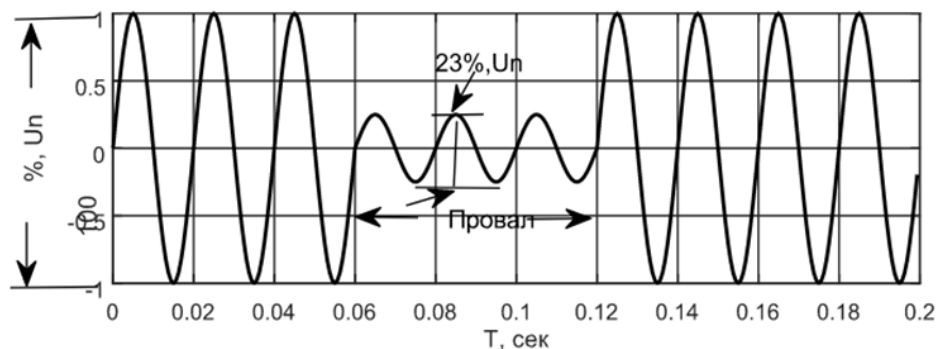


Рисунок 1 – Провал електричної напруги

Інформаційний сигнал – це здатність системи таким чином змінювати свої параметри, що інша система розуміє сутність змін [2]. Провал напруги – це раптове значне пониження напруги в точці електричної мережі, за яким слідує відновлення напруги до первинного або близького до нього рівня через проміжок часу від декількох періодів до декількох десятків секунд.

Тривалість провалу напруги Δt_{np} – інтервал часу між початковим моментом провалу напруги і моментом відновлення напруги до первинного або близького до нього рівня, тобто

$$\Delta t_{np} = t_{від} - t_{поч} \quad (1)$$

Тривалість і глибина провалу напруги Δt_{np} складає від декількох періодів до декількох десятків секунд. Провал напруги характеризується інтенсивністю і глибиною провалу δU_{np} , що є різницею між номінальним значенням напруги і мінімальним діючим значенням напруги U_{min} впродовж провалу напруги, і виражається у відсотках номінального значення напруги або в абсолютних одиницях.

Величина δU_{np} визначається таким чином:

$$\delta U_{np} = \frac{U_n - U_{min}}{U_n} \cdot 100\% \quad (2)$$

або,

$$\delta U_{np} = U_n - U_{min} \quad (3)$$

Інтенсивність провалів напруги m^* є частотою появи в мережі провалів напруги певної глибини і тривалості, тобто

$$m^* = \frac{m(\delta U_{np} \cdot \Delta t_{np})}{M} \cdot 100\% \quad (4),$$

де $m(\delta U_{np} \cdot \Delta t_{np})$ - число провалів напруги глибиною δU_{np} і тривалістю Δt_{np} за час T; M – сумарне число провалів напруги за час T.

Деякі види електроприймачів чутливі до провалів напруги, що виникають у більшості випадків при коротких замиканнях і мережі, тому в таких приймачів передбачається заходи по зниженню тривалості, інтенсивності і глибини провалів напруги.

Наступним кроком буде моделювання ситуації зашумлення сигналу. Для цього накладемо шумову компоненту на даний сигнал (рис. 2,3).

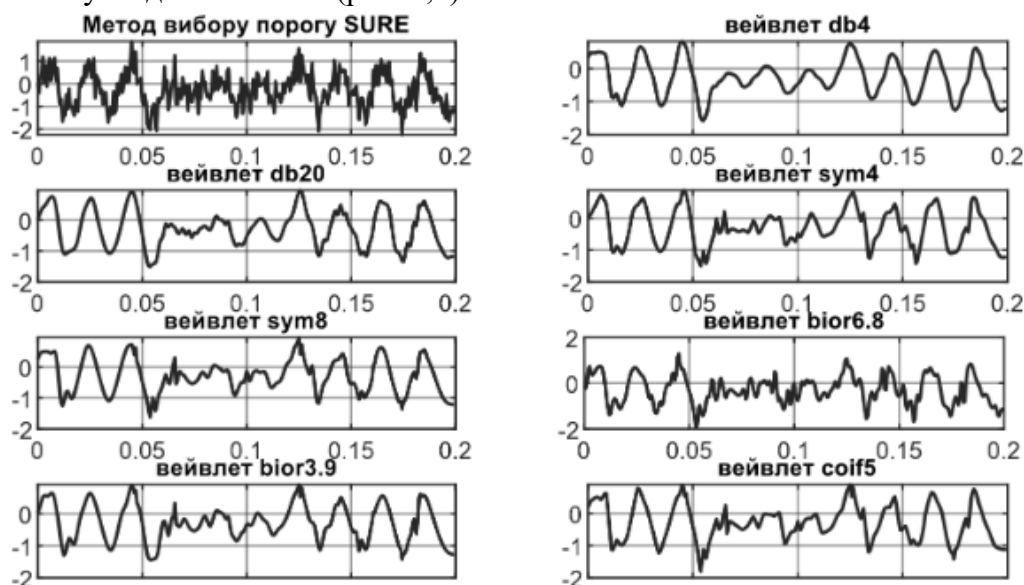


Рисунок 2 – Зашумлений сигнал (SNR = 90)

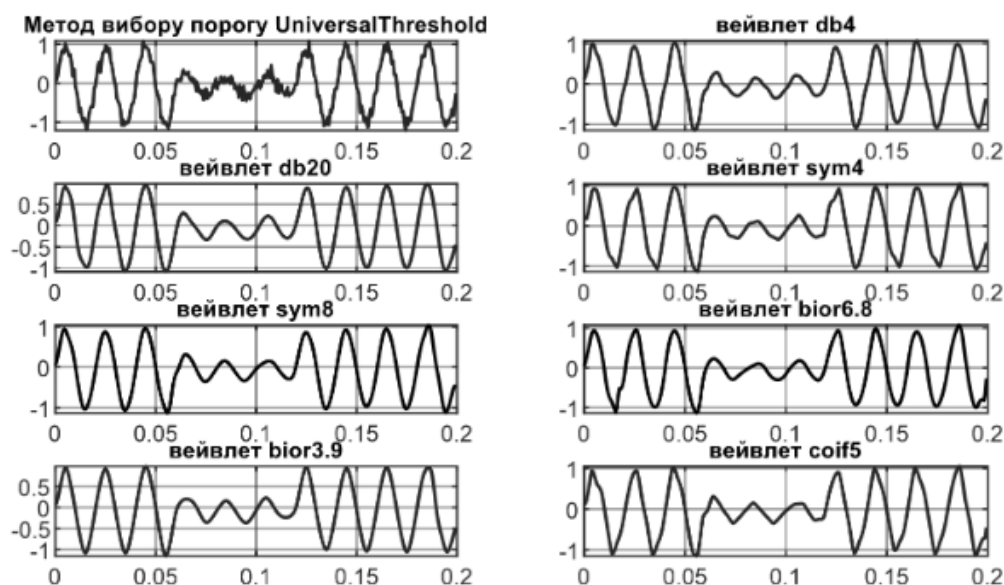


Рисунок 3 – Зашумлений сигнал (SNR = 40)

Шумова компонента сигналу розподіляється за усіма вейвлет-коефіцієнтами порівну. Оскільки шумова компонента (вектор $\xi_i = \{\xi_i\}$) є білим шумом, його ортогональне перетворення у базисі $\beta = \{g_m\}$, $0 < m < N$ також буде білим шумом.

Відповідно до цього запишемо

$$Y_{\beta}[m] = f_{\beta}[m] + \xi_{\beta}[m], \quad (5)$$

де $\xi_{\beta}[m]$ - коефіцієнти ортогональної декомпозиції білого шуму;

$f_{\beta}[m] = (f, \psi)$ - вейвлет-декомпозиція даних, із яких видалено шум.

Порогова обробка у вейвлет-базисі має вигляд

$$f' = \sum_{i=L+1}^J \sum_{m=0}^{2^{-j}} \rho_T((Y, \psi_{j,m})) \psi_{j,m} + \sum_{m=0}^{2^{-j}} \rho_T((Y, \varphi_{j,m})) \varphi_{j,m} \quad (6)$$

де ортонормований базис β складається із сімейства ортогональних векторів

$$\beta = \{ \{ \psi_{j,m}[n] \}_{L < j \leq J, 0 \leq m \leq 2^{-j}}, \{ \varphi_{j,m}[n] \}_{0 \leq m < 2^{-j}} \} \quad (7)$$

Ризик порогової обробки визначається так:

$$R(f) = R(t(f'), f) = |f_{\beta}[m] - \rho_T[m]|^2 \quad (8)$$

Оскільки у вейвлет-базисі коефіцієнти з великою амплітудою належать до переривчастих змін сигналу, оцінка зберігає тільки переривчасті складові, що належать сигналу, без додавання інших складових, обумовлених шумом. Таким чином, порогова обробка є еквівалентною оцінці сигналу його усередненням за допомогою ядра, яке локально адаптоване до гладкості сигналу.

Signal to noise ratio (SNR) - це відношення сигнал-шум,

$$SNR = \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \quad (6)$$

Представляє собою відношення потужності сигналу (середньої чи миттєвої) P_c до $P_{\text{ш}}$ потужності шуму, є важливим фактором в будь-якій комунікаційній системі. Найчастіше його виражають в децибелах, як $10 \lg(P_c/P_{\text{ш}})$ дБ [3].

Метод SURE (Stein unbiased risk estimation) - метод універсального порогу та \min і \max . Цей алгоритм вибору вейвлетного порогового значення зазвичай використовується в ортогоналі декомпозиції, тобто для проведення аналізу з різною роздільною здатністю та перетворенням пакетних вейвлетів.

Universal Threshold Method - метод спочатку приймає універсальне порогове значення як базове порогове значення. А потім представляється новий індекс кореляції на основі теорії вейвлет-кореляції. Потім, новий поріг отримується за допомогою індексу кореляції для покращення основного порогу.

Наступним кроком вибираємо порогові функції : SURE та Universal Threshold.

Потім вибираємо типи вейвлетів (Добеші, Сімлети, Біортогональні Койфлети) і проводимо знешумлення сигналу.

Застосовуємо вейвлет-перетворення до зашумленого сигналу, важливо зазначити, що вейвлет-коефіцієнти, значення яких більше за порогове значення – відкидаються.

Потім із коефіцієнтами, які залишилися проводимо зворотнє вейвлет-перетворення і отримуємо в залежності від порогової функції та типу вейвлету знешумлений сигнал (рис.2 та рис.3).

Висновок: За результатами досліджень бачимо, що цілком можливо прибрати шум з сигналу не деформувавши його використовуючи різні типи вейвлетів (Добеші, Сімлети, Біортогональні Койфлети).

Список використаних джерел:

1. Волошко А.В. Метод класифікації інформаційних сигналів за допомогою побудови оптимального дерева вейвлет-перетворення/А.В. Волошко, Т.М. Лутчин, Д. Ю. Терещенко// Енергетика, екологія. Людина. - 2012. С. 81–85.

2. Левкович О. В. Інформаційні сигнали в економічних субсистемах [Електронний ресурс] / Левкович О. В. // Ефективна економіка. — 2017. — № 7. — Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5699> . — Назва з екрана.

3. Voloshko A. V. Removing noise components of information signals by using orthogonal wavelet transform [Електронний ресурс] / A. V. Voloshko, R. Almbrok – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.15407/emodel.42.05.097>.

B. Bushynskiy¹, master student
¹National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

REMOVAL OF NOISE COMPONENTS OF INFORMATION SIGNALS USING WAVELET TRANSFORMS

Since the use of information signals, the problem of signal noise has arisen. This problem is one of the most relevant and widespread problems in the field of information signal processing in general and in signal compression in particular. The local noise of the signal during its compression can be mistaken for its characteristic features, which will lead to a significant complication of the compression algorithm, as well as negatively affect the quality of compression. The development and improvement of already existing methods of removing noise components from the information signal and its subsequent compression (restoration) is an actual scientific and practical problem.

Keywords: *wavelet analysis, type of threshold value, information signal with noise.*

АНАЛІЗ СТАНУ РИНКУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ ТА РОЗВИТКУ ІНФРАСТРУКТУРИ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ В УКРАЇНІ

Анотація. В даній роботі досліджено стан і динаміка розвитку ринку електромобілів та інфраструктури зарядних станцій в Україні. Проведено статистичний аналіз поширення електромобілів в Україні та розвитку інфраструктури для їх ефективною експлуатації. За результатами проведеного аналізу встановлено, що розвиток ринку електромобілів в Україні має позитивні тенденції. Аналіз нормативно-правових актів підтвердив, що розроблені правові інструменти направлені на розвиток інфраструктури для електротранспорту.

Ключові слова: електромобіль, зарядні станції, ринок електромобілів, інфраструктура зарядних станцій.

Вступ. Електромобілі повільно, але впевнено захоплюють український ринок. Ціни на бензин ростуть, а питання екології стає все більш актуальним. Вартість, швидкість, специфіка заправки та експлуатації в цілому досі викликають запитання. Але відомо, що вартість електромобілів за останні кілька років значно знизилася, а їхній ресурс та ефективність реалізуються. Крім того, деякі країни надають фінансову підтримку для покупки електромобілів та встановлення зарядних станцій, що дозволяє зробити цей перехід більш доступним для населення. Розвиток електромобільної промисловості може стати новим напрямком для розвитку національної економіки, зменшення інтенсивності забруднення навколишнього середовища, створення нових робочих місць та залучення інвестицій.

Мета та завдання. Дослідити та проаналізувати стан і динаміку розвитку ринку електромобілів та інфраструктури зарядних станцій в Україні та їх вплив на енергосистему.

Матеріал і результати досліджень.

Розвиток електромобільної галузі у світі сприяє зниженню викидів вуглецю та зменшенню впливу транспорту на довкілля. Україна, яка має значний потенціал у виробництві електроенергії з відновлюваних джерел, може використовувати цю можливість для розвитку електромобільної промисловості. За останні роки електромобілі стали дедалі більш популярними по всьому світу і Україна не є винятком.

Хоча електродвигун з'явився раніше, ніж двигун внутрішнього згоряння, електрокари набирають заслужену популярність лише у XXI столітті. За прогнозами Bloomberg NEF [1], електромобілі становитимуть 10% світових продажів легковиків у 2025 році й аж 58 % — у 2040-му.

Попри всі перешкоди, протягом 2022 року кількість зареєстрованих електромобілів зростала. Так за даними Інституту досліджень авторинку[2], українці придбали 22,5 тисячі автомобілів з електричним двигуном. Це — на 45,3% більше, ніж у 2021 році та загалом рекордний показник продажів електромобілів на українському авторинку. Більшість з електромобілів (49,2%, 11,1 тис.), придбаних у 2022 році, привезли вживаними з-за кордону; ще 40,8% (9,2 тис.) придбали на внутрішньому ринку. Лише 10% (2,3 тис.) електромобілів купили новими. При цьому частка нових електричних автомобілів зростала четвертий місяць поспіль, а в грудні вона зафіксована на максимальному рівні: 14,2%. У цьому ж місяці встановлено ще один рекорд, кількісний: 324 нових електричних авто вперше отримали українські номерні знаки. Це — рекордний показник продажів нових електромобілів.

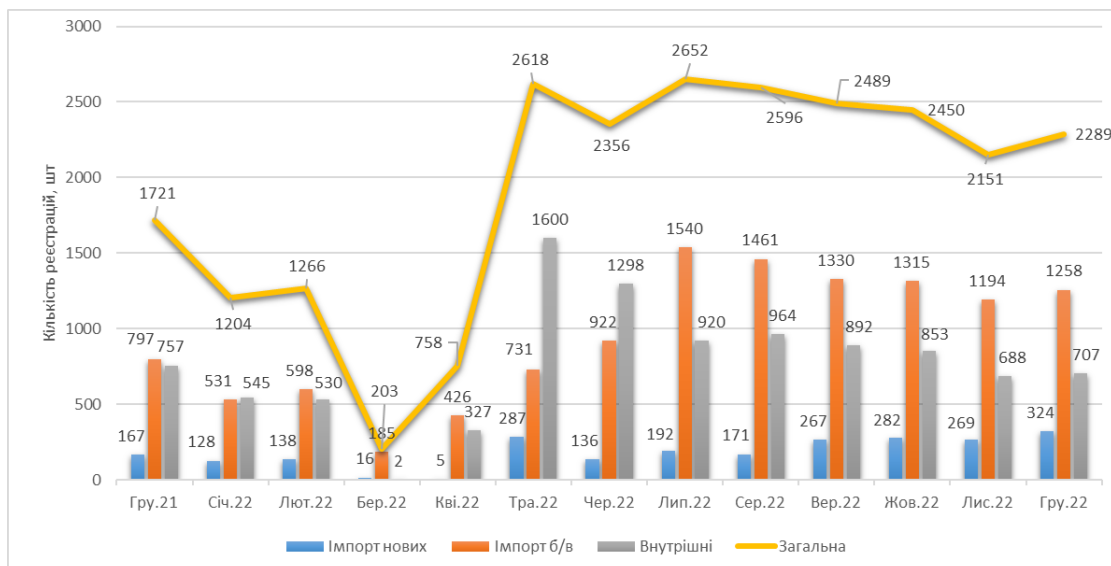


Рисунок 1 – Динаміка реєстрації електромобілів в Україні грудень 2021 - грудень 2022

Проте, на сьогоднішній день, в Україні існують певні проблеми та перешкоди, пов'язані зі створенням інфраструктури для зарядки, що обмежує розвиток ринку електромобілів. За даними Autogeek [3], станом на 1 листопада 2021 року українська зарядна мережа для електромобілів налічувала 3244 станції з 7661 терміналом. Вся інфраструктура зарядних станцій в Україні представлена станціями змінного струму, потужністю до 22 кВт включно, з роз'ємами Type 1 (J1772) і Type 2 (Mennekes) та станціями постійного струму, потужністю більше 22 кВт включно, з роз'ємами Combined Charging System (CSS) 1, CSS 2 та CHAdeMO. Частка швидкісних (потужність понад 22 кВт) складає 1835 од., тобто 24%. Інші 5826 од. (76%) – звичайні термінали потужністю до 22 кВт. Враховуючи кількість зареєстрованих у країні електромобілів – 31 187 од. на 01.11.2021 р. – на кожен термінал припадає по 4 одиниці.

Однак, для ефективного впровадження електромобільного транспорту і інфраструктури в Україні необхідна підтримка від держави, яка забезпечує створення національної стратегії з електромобільної енергетики та регулювання. Є низка нормативно-правових актів, що встановлюють вимоги щодо технічних характеристик електромобілів, встановлення та використання зарядних станцій, оформлення документів та інших правил та рекомендацій, пов'язаних з електромобільним транспортом та зарядними станціями до нього. До основних нормативно-правових актів функціонування електротранспорту слід віднести:

- Закону України «Про ринок електричної енергії»;
- Кодексу системи розподілу;
- Закону України «Про автомобільний транспорт»;
- Закону України «Про об'єднання співвласників багатоквартирного будинку»;
- Закону України «Про регулювання містобудівельної діяльності»;
- Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року».

Слід відмітити, що ряд змін, пов'язаних з електромобілями було внесено до основних нормотворчих документів електроенергетичної галузі. Крім цього слід розуміти, що для галузі це новий споживач який здійснює вплив на роботу енергосистеми і його технологічного обладнання.

Для прикладу нами було проведено аналіз підключень електромобілів до однієї з комерційних зарядних станцій за часом доби у лютому 2023 року (рисунок 2), де зазначено години пікової, напівпікової та нічної зони доби.

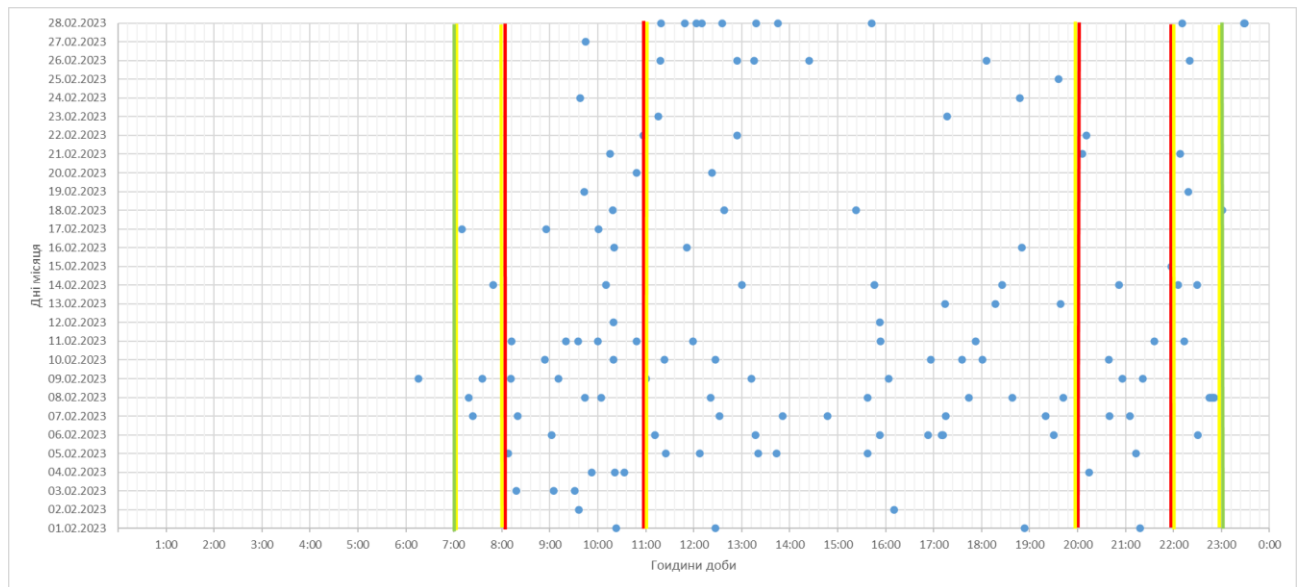


Рисунок 2 – Підключення електромобілів до зарядної станції за часом доби у лютому 2023р.

Як видно з рисунку 2, більшість підключень електромобілів до мережі здійснюється у години напівпікової зони, трохи менше на пікову зону і майже відсутні підключення у нічний час доби. Отже електромобілі впливають на графік електричного навантаження збільшуючи його нерівномірність, при цьому виокремлюючись у споживача електричної енергії зі своїми технічними характеристиками.

Висновок

Розвиток електромобільності є одним із перспективних напрямів розвитку транспорту, що може вирішити багато екологічних проблем. Тим не менш, впровадження електромобілів та зарядних станцій в систему електропостачання може викликати проблеми для енергетичної системи, особливо в періоди пікового навантаження та створити додаткові проблеми для енергетичної системи, зокрема, підвищення споживання електроенергії, перевантаження мережі, недостатність потужностей на зарядних станціях та зниження стійкості системи до відмов.

Таким чином, інтеграція зарядних станцій у енергетичну систему вимагає пильного контролю та розвитку інфраструктури і при цьому розробку механізмів управління попитом та споживанням електроенергії.

Список використаних джерел:

1. BloombergNEF. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://about.bnef.com/>
2. Інститут досліджень авторинку. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://eauto.org.ua/>
3. Autogeek. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://autogeek.com.ua/>
4. Стан і динаміка розвитку ринку автомобілів з електричним двигуном в Україні / Терлецька В.О. / Вісник Національного університету “Львівська політехніка” / Серія “Проблеми економіки та управління”.

В. Katsyuba¹, master student
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

ANALYSIS OF THE STATE OF THE ELECTRIC VEHICLE MARKET AND THE DEVELOPMENT OF CHARGING STATION INFRASTRUCTURE IN UKRAINE

Abstract. *This article explored the state and dynamics of the development of the electric vehicle market and charging station infrastructure in Ukraine. A statistical analysis of the distribution of electric vehicles in Ukraine and the development of infrastructure for their effective operation was carried out. Based on the results of the analysis, it was established that the development of the electric vehicle market in Ukraine has positive trends. The analysis of regulatory legal acts confirmed that the developed legal instruments are aimed at the development of infrastructure for electric transport.*

Key words: *electric car, charging stations, electric car market, infrastructure of charging stations.*

ВИКОРИСТАННЯ ІНСОЛЯЦІЇ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТРЕБ БУДІВЕЛЬ: СТРАТЕГІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Ця наукова стаття присвячена дослідженню використання інсоляції для задоволення енергетичних потреб будівель. Вона розглядає різні аспекти використання інсоляційних матеріалів, їх вплив на енергоефективність будівель та способи оптимального використання інсоляції для забезпечення енергетичних потреб будівель. Крім того, у статті аналізуються новітні технології та стратегії, що сприяють підвищенню енергоефективності будівель за допомогою інсоляції.

В роботі проводиться огляд різних типів інсоляційних матеріалів, їх теплоізоляційних властивостей та впливу на теплопередачу через стіни, перекриття та зовнішні збіги будівель. Застосування сучасних методів моделювання, таких як VEopt та EnergyPlus, дозволяє провести детальний аналіз енергопотреб будівель з урахуванням впливу інсоляції. Крім того, розглядаються можливості використання систем фотоелектричних панелей (PVsys) для виробництва сонячної енергії та її інтеграції з інсоляційними системами.

Ключові слова: енергоефективність, енергозбереження, комплекс заходів з підвищення енергетичної ефективності, економічні показники, зростання цін, енергетичні ресурси, будівлі.

Вступ

Використання інсоляції для енергетичних потреб будівель є досить доцільним підходом, оскільки це дозволяє зменшити витрати на опалення та електропостачання будівель, а також знизити екологічний вплив будівництва на довкілля. Для написання дисертаційної роботи з розгляду теми енергетичного моделювання потреб будівлі, важливо використовувати програми для моделювання енергетичного споживання та визначення енергетичної потреби, зокрема PVsyst та EnergyPlus. Використання цих програм дозволяє провести детальний аналіз енергетичних потреб будівлі та вибрати оптимальні рішення для забезпечення енергоефективності будівлі.

Для ефективного використання сонячної енергії для покриття потреб будівлі у гарячій воді та електриці, необхідно розглянути світові практики та вибрати оптимальний варіант. Моделювання будівлі та визначення її енергетичних потреб є важливим питанням в Україні, оскільки збільшення енергоефективності будівель може знизити витрати на комунальні послуги та знизити негативний вплив на довкілля. У цьому контексті, вивчення питання використання інсоляції для енергетичних потреб будівель, є досить актуальним та перспективним напрямом дослідження.

Мета та задачі

Дана стаття має на меті дослідження та аналіз використання інсоляції для енергетичних потреб будівель з метою розробки ефективних стратегій енергоефективного будівництва та зменшення залежності від традиційних енергоносіїв.

Задачі статті:

1. Вивчити теоретичні основи використання інсоляції для енергетичних потреб будівель, включаючи принципи сонячного випромінювання, тепловий баланс та вплив інсоляційних матеріалів на теплові процеси в будівлях.
2. Провести аналіз різних типів інсоляційних матеріалів та їх впливу на енергоефективність будівель. Оцінити їх тепловий опір, показники теплопровідності та ефективність збору та збереження сонячної енергії.
3. Розробити методику вибору оптимальних інсоляційних матеріалів для різних типів будівель з урахуванням кліматичних умов та енергетичних потреб.
4. Виконати числові моделювання та симуляції за допомогою програмних засобів, таких як VEopt та EnergyPlus, для визначення енергопотреб будівель з різними типами інсоляції. Аналізувати результати моделювання та оцінити енергетичну ефективність різних варіантів.

5. Розробити практичні рекомендації щодо оптимального використання інсоляції для забезпечення енергетичних потреб будівель. Врахувати фактори енергоефективного будівництва, використання сонячних панелей та інші аспекти сталого розвитку.

Використання інсоляції для енергетичних потреб будівель ґрунтується на ряді теоретичних основ, включаючи принципи сонячного випромінювання, тепловий баланс та вплив інсоляційних матеріалів на теплові процеси в будівлях. Розуміння цих основних принципів є важливим для ефективного використання інсоляції для забезпечення енергоефективності будівельних конструкцій.

Сонячне випромінювання є ключовим джерелом енергії для будівель. Сонячна енергія, випромінювана Сонцем, включає електромагнітне випромінювання, що охоплює різні спектральні діапазони, зокрема видиме світло, інфрачервоне теплове випромінювання та ультрафіолетове випромінювання. Процеси поглинання, відбивання та проникнення сонячного випромінювання в будівлі визначають тепловий баланс і теплові процеси в приміщеннях.

Тепловий баланс в будівлі враховує надходження тепла від сонячного випромінювання, теплові втрати через будівельну оболонку, теплову інерцію будівлі та енергетичне споживання систем опалення та охолодження. Цей баланс визначає енергопотребу будівлі та вплив інсоляційних матеріалів на підтримку комфортних умов в будівлі.

Інсоляційні матеріали використовуються для зменшення теплових втрат або надходження тепла в будівлю. Вони можуть мати різні властивості, такі як висока відбивна здатність до сонячного випромінювання, висока поглинаюча здатність або низька теплопровідність. Вплив інсоляційних матеріалів на теплові процеси в будівлі полягає в їхній здатності контролювати теплові потоки шляхом рефлексії, поглинання та розсіювання сонячної енергії.

Дослідження використання інсоляції для енергетичних потреб будівель має наукову новизну, оскільки розширює наші знання про вплив інсоляційних матеріалів на енергоефективність будівельних систем. Це дозволяє розробляти нові підходи до проектування та будівництва, спрямовані на оптимальне використання сонячної енергії для задоволення енергетичних потреб будівель.

Дослідження аналізує різні типи інсоляційних матеріалів і їх вплив на енергоефективність будівельних систем. Воно оцінює їхню ефективність у забезпеченні теплоізоляції, попередженні утрат тепла або надлишкового нагрівання приміщень. Крім того, дослідження вивчає оптимальні способи використання інсоляції, включаючи розташування, товщину та властивості матеріалів, для досягнення найкращих енергетичних результатів.

Отримані результати дослідження сприятимуть подальшому розвитку енергоефективного будівництва та забезпеченню сталого використання ресурсів. Вони надають підставу для розробки нових технологій, матеріалів і систем, спрямованих на поліпшення енергетичної ефективності будівель та зниження їхнього впливу на довкілля.

Одержані результати дослідження розширюють наше розуміння принципів використання інсоляції для енергетичних потреб будівель. Вони підтверджують, що вибір відповідних інсоляційних матеріалів та їх правильне розташування може значно знизити енергетичну залежність будівель та впливати на їхню теплову ефективність. Результати дослідження також вказують на необхідність інтеграції інсоляційних рішень в проектування та будівництво будівель з метою досягнення оптимального комфорту для мешканців та зниження споживання енергії.

Застосування отриманих результатів у практичних дослідженнях та будівельних проектах може привести до створення більш енергоефективних та стало-витратних будівельних систем. Це важливий крок у напрямку сталого розвитку та зменшення негативного впливу будівництва на навколишнє середовище. Крім того, забезпечення енергетичних потреб будівель шляхом використання інсоляції сприятиме зменшенню використання традиційних джерел енергії та сприятиме переходу до більш екологічно чистих та відновлюваних джерел енергії.

У підсумку, наукові дослідження, що стосуються використання інсоляції для енергетичних потреб будівель, є актуальними та значущими. Вони розкривають теоретичні основи, на яких ґрунтується використання інсоляції для енергетичних потреб будівель. Принципи сонячного випромінювання, тепловий баланс та вплив інсоляційних матеріалів на теплові процеси в будівлях є основою для розробки ефективних стратегій енергозбереження та використання відновлюваних джерел енергії.

Аналіз різних типів інсоляційних матеріалів та їх впливу на енергоефективність будівель є важливою складовою дослідження використання інсоляції для енергетичних потреб будівель. Дослідники проводять оцінку теплового опору та показників теплопровідності різних матеріалів, а також їх ефективність збору та збереження сонячної енергії.

Одним з найбільш ефективних інсоляційних матеріалів є мінеральна вата. Цей матеріал має високу ефективність збереження тепла та низьку теплопровідність, що дозволяє зменшити втрати енергії через теплові мости та забезпечити високий рівень теплоізоляції будівель.

Іншим ефективним матеріалом є пінополіуретан (ППУ). Цей матеріал має високу теплоізоляційну здатність та відмінну адгезію до різних поверхонь. Крім того, він може бути застосований для утеплення будівель з будь-яким типом конструкції, що робить його дуже відповідним для використання в будівництві.

У залежності від способу виробництва, функціональних властивостей та хімічного складу, інші матеріали, такі як пінополістирол (ППС), екструдований пінополістирол (XPS), целюозна ізоляція та гранульований волокнистий пласт (ГВП), також можуть використовуватись для інсоляції будівель.

Важливим аспектом при виборі інсоляційного матеріалу є його ефективність збору та збереження сонячної енергії. Дослідження показують, що деякі інсоляційні матеріали мають властивості, що сприяють збору та збереженню сонячної енергії. Наприклад, сонячні колектори, які використовують спеціальні матеріали, здатні поглинати сонячне випромінювання і перетворювати його на тепло. Це тепло може бути використане для опалення води або приміщень.

Крім того, деякі інсоляційні матеріали мають можливість накопичувати тепло і використовувати його пізніше. Наприклад, фазові змінні матеріали здатні поглинати і віддавати тепло під час фазових переходів, таких як замерзання та розморожування. Це дозволяє зберігати тепло, що надходить в будівлю вдень, і використовувати його вночі або в періоди низького сонячного випромінювання.

Для оцінки ефективності інсоляційних матеріалів використовуються різні параметри, включаючи тепловий опір (R -значення) і показники теплопровідності (λ -значення). Тепловий опір визначає здатність матеріалу перешкоджати проникненню тепла через нього. Чим вище значення R -значення, тим краща теплоізоляція матеріалу. Показники теплопровідності, виражені в λ -значеннях, вказують на здатність матеріалу проводити тепло. Чим нижче значення λ -значення, тим менше тепла проводиться через матеріал.

Важливо враховувати, що вибір інсоляційного матеріалу повинен відповідати конкретним умовам будівлі та кліматичним умовам регіону. Правильне підбирання матеріалу дозволяє досягти оптимальної енергоефективності будівлі. Наприклад, в холодних кліматичних умовах, де важлива ефективна теплоізоляція, матеріали з високим значенням R -значення і низьким λ -значенням, такі як мінеральна вата, можуть бути перевагою. У теплих кліматичних умовах, де важливо зменшити поглинання сонячного тепла, матеріали з високою відбиваючою здатністю, наприклад, спеціальні фарби або плівки, можуть бути більш ефективними.

Оцінка теплового опору та показників теплопровідності матеріалів дозволяє провести порівняльний аналіз інсоляційних матеріалів і вибрати найбільш підходящий для конкретної ситуації. Також важливо враховувати вартість матеріалу, його стійкість до вологості, здатність до утеплення різних типів конструкцій та екологічні аспекти.

Безумовно, використання ефективних інсоляційних матеріалів в будівництві сприяє зниженню енергетичних затрат, поліпшенню теплового комфорту в приміщеннях і зменшенню негативного впливу будівель на навколишнє середовище. Продовження досліджень та розвиток нових технологій в галузі інсоляції допоможуть покращити енергоефективність будівель і просунутися до сталого та екологічного будівництва.

Вибір оптимальних інсоляційних матеріалів для будівель є складним завданням, що вимагає систематичного підходу та методики оцінки. Для ефективного вибору інсоляційних матеріалів, які задовольняють кліматичні умови та енергетичні потреби будівлі, рекомендується використовувати такі етапи:

1. Аналіз кліматичних умов: Ретельне вивчення кліматичних характеристик регіону, де будівля буде розташована, включаючи середні температури, сонячну активність, вологість тощо. Це дозволить врахувати специфічні вимоги до теплової ізоляції та контролю сонячного тепла.

2. Визначення енергетичних потреб: Аналіз енергетичних потреб будівлі, включаючи опалення, охолодження, освітлення та інші системи. Це допоможе зрозуміти, які енергетичні параметри важливі для будівлі і які особливості інсоляційних матеріалів будуть найбільш корисними для задоволення цих потреб.

3. Вибір інсоляційних матеріалів: Аналіз різних типів інсоляційних матеріалів, їх теплового опору, показників теплопровідності та ефективності збору та збереження сонячної енергії. Звернення уваги на такі параметри, як стійкість до вологості, екологічність та вартість матеріалу, що також впливають на вибір.

4. Моделювання та оцінка: Використання комп'ютерних програм, таких як EnergyPlus або VEopt, для моделювання енергетичних параметрів будівлі з різними типами інсоляційних матеріалів. Це дозволить оцінити енергоефективність будівлі при різних варіантах використання інсоляції. За допомогою моделювання можна здійснити аналіз теплових втрат, впливу сонячної радіації, розподілу температур та енергетичних затрат для кожного варіанту інсоляційного матеріалу.

5. Оцінка витрат та практичність: Порівняння вартості, доступності та встановлення різних типів інсоляційних матеріалів. Розгляд можливості їх ефективного використання в конкретному контексті будівельного проекту.

6. Вибір оптимального рішення: Зіставлення результатів моделювання, оцінок енергетичної ефективності та практичних факторів для вибору оптимального варіанту інсоляційних матеріалів для будівлі. Врахування кліматичних умов, енергетичних потреб та вимог до теплоізоляції допомагає забезпечити максимальну енергоефективність та комфорт в будівлі.

Ця методика дозволяє систематично оцінити різні типи інсоляційних матеріалів, їх вплив на енергетичні потреби будівель та вибрати оптимальний варіант для конкретного будівельного проекту. Врахування кліматичних умов та енергетичних потреб дозволяє забезпечити енергоефективність будівлі, зниження витрат на опалення та охолодження, а також забезпечення комфортного середовища для користувачів.

Для визначення енергопотреб будівель з різними типами інсоляції та оцінки їх енергетичної ефективності можна використовувати числові моделювання та симуляції за допомогою програмних засобів, таких як VEopt та EnergyPlus. Ці програмні засоби надають можливість детального аналізу будівельних систем, енергетичного споживання та комфортних параметрів будівель.

VEopt є програмним інструментом, спеціально розробленим для оцінки енергетичної ефективності будівель. Він дозволяє моделювати та аналізувати різні аспекти будівельної оболонки, систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, освітлення та інших факторів, що впливають на енергопотребу будівлі. VEopt дозволяє розрахувати енергетичну ефективність будівлі, включаючи споживання електроенергії, тепла та охолодження, і порівняти різні варіанти інсоляційних матеріалів.

EnergyPlus є потужним інженерним програмним засобом для моделювання енергопотреб будівель. Він дозволяє створювати детальні віртуальні моделі будівель, включаючи геометрію, будівельну оболонку, системи опалення та охолодження, вентиляцію, освітлення та інші технічні параметри. За допомогою EnergyPlus можна проводити симуляції різних сценаріїв, включаючи варіанти інсоляційних матеріалів, та отримувати докладні результати щодо енергопотреб будівлі, температурного режиму та інших параметрів.

Аналіз результатів моделювання та оцінка енергетичної ефективності різних варіантів інсоляції можуть бути виконані на основі отриманих даних з програмних засобів VEopt та EnergyPlus. Після завершення моделювання будівельних систем та варіантів інсоляції, можна проаналізувати отримані результати та порівняти їх для визначення найбільш енергоефективних рішень.

При аналізі результатів моделювання можна звернути увагу на такі ключові показники:

1. Енергопотреба: Оцінити загальну енергопотребу будівлі для різних варіантів інсоляції. Порівняти споживання електроенергії, тепла та охолодження між варіантами та визначити найбільш ефективний з точки зору енергетичного споживання.

2. Температурний режим: Вивчити температурний режим у приміщеннях для різних варіантів інсоляції. Оцінити комфортність усередині будівлі, звертаючи увагу на зимові та літні періоди.

3. Тепловий баланс: Проаналізувати тепловий баланс будівлі для різних варіантів інсоляції. Врахувати теплові втрати та тепловий надлишок, що допоможе визначити ефективність інсоляційних матеріалів у збереженні тепла.

4. Вартість енергії: Розрахувати вартість енергії для різних варіантів інсоляції. Порівняти витрати на опалення та охолодження між варіантами та оцінити економічну вигоду від використання енергоефективних інсоляційних матеріалів.

На основі аналізу цих показників можна зробити висновки щодо ефективності різних варіантів інсоляції для енергетичних потреб будівель. Найбільш оптимальні інсоляційні матеріали можна вибрати, враховуючи їх тепловий опір, показники теплопровідності та ефективність збору та збереження сонячної енергії.

При виборі оптимальних інсоляційних матеріалів для різних типів будівель, необхідно враховувати кліматичні умови та енергетичні потреби. Наприклад, у холодних регіонах, де пріоритетом є збереження тепла, слід використовувати ізоляційні матеріали з високим тепловим опором та низькою теплопровідністю. У теплих регіонах, де важливо підтримувати комфортну температуру усередині будівлі, можуть використовуватися матеріали з високою відбивною здатністю, які зменшують проникнення сонячного тепла.

Методика вибору оптимальних інсоляційних матеріалів повинна включати наступні етапи:

1. Збір і аналіз інформації: Дослідження різних типів інсоляційних матеріалів та їх характеристик, включаючи тепловий опір, показники теплопровідності та ефективність збору та збереження сонячної енергії.

2. Оцінка кліматичних умов: Врахування характеристик клімату, таких як середня температура, кількість сонячних днів та інтенсивність сонячного випромінювання.

3. Визначення енергетичних потреб: Розрахунок енергопотреб будівлі залежно від її типу, розміру та функціонального призначення

4. Створення варіантів моделей: Розробка різних варіантів моделей будівлі з різними типами інсоляції, включаючи різні матеріали та їх комбінації.

5. Числове моделювання: Використання програмних засобів, таких як VEopt та EnergyPlus, для числового моделювання та симуляцій енергопотреб будівлі з кожним варіантом інсоляції.

6. Аналіз результатів: Оцінка отриманих результатів моделювання, включаючи енергопотребу, температурний режим та вартість енергії. Порівняння результатів для визначення найбільш енергоефективних варіантів інсоляції.

7. Вибір оптимальних матеріалів: На основі аналізу результатів вибір найбільш оптимальних інсоляційних матеріалів для різних типів будівель, враховуючи кліматичні умови та енергетичні потреби.

8. Валідація та оптимізація: Перевірка та валідація моделей на основі експериментальних даних та внесення необхідних змін для покращення енергетичної ефективності будівель.

А параметри оцінювання енергомоделювання будівлі можуть включати:

1. Енергопотреба: Оцінка загального енергетичного споживання будівлі, включаючи опалення, охолодження, освітлення та інші енергетичні системи.

2. Коефіцієнт енергетичної ефективності: Вимірює, наскільки ефективно будівля використовує доступну енергію для задоволення своїх потреб. Він може бути виражений у відношенні енергії, яку будівля споживає до енергії, яку вона виробляє або споживає.

3. Тепловий комфорт: Оцінка забезпечення комфортних умов температури та вологості в приміщеннях. Це включає вимоги до опалення та охолодження, регулювання систем вентиляції та ізоляції будівельних елементів.

4. Емісія викидів: Вимірювання кількості викидів парникових газів та інших забруднюючих речовин, пов'язаних з енергетичним споживанням будівлі.

5. Витрати на енергію: Розрахунок витрат на енергію, необхідну для забезпечення роботи будівлі. Це може включати розрахунок вартості електроенергії, газу, нафти тощо.

6. Відновлювана енергія: Врахування використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна енергія, вітерна енергія, геотермальна енергія тощо.

7. Сталість: Оцінка довготривалої енергетичної сталості будівлі, що включає аспекти енергоефективного будівництва, використання екологічно чистих матеріалів та управління енергосистемами.

8. Економічна ефективність: Оцінка відношення витрат на будівництво та експлуатацію будівлі до зниження витрат на енергію та інші економічні вигоди, пов'язані з енергоефективністю.

Ці параметри дозволяють оцінити енергетичну ефективність та сталість будівлі, що використовується для прийняття рішень щодо використання інсоляції та інших енергоефективних технологій.

Методика вибору оптимальних інсоляційних матеріалів для будівель повинна бути гнучкою та адаптивною до різних умов. Вона повинна враховувати не лише теплові характеристики матеріалів, але й їх вплив на внутрішній мікроклімат будівлі, економічні аспекти та відповідність вимогам стандартів енергоефективності.

В цілому, методика вибору оптимальних інсоляційних матеріалів для різних типів будівель з урахуванням кліматичних умов та енергетичних потреб включає комплексний підхід та систематичний аналіз.

Оптимальне використання інсоляції для задоволення енергетичних потреб будівель може бути досягнуто за допомогою ряду практичних рекомендацій, які враховують фактори енергоефективного будівництва, використання сонячних панелей та інші аспекти сталого розвитку. Деякі з цих рекомендацій включають:

1. Через правильне планування та проектування будівлі забезпечувати оптимальне використання сонячної енергії. Враховувати орієнтацію будівлі, розташування вікон та сонячних панелей з метою максимального отримання сонячного випромінювання.

2. Використання високоякісних інсоляційних матеріалів з низьким коефіцієнтом теплопровідності та високим тепловим опором. Це допомагає зменшити втрати тепла та покращити теплоізоляцію будівлі.

3. Встановлення енергоефективних вікон з подвійним склопакетом та низьким коефіцієнтом теплопередачі. Це допомагає зберегти тепло всередині будівлі та знизити енергопотребу на опалення та кондиціонування.

4. Впровадження систем енергоефективного освітлення, таких як LED-лампи, які споживають менше електроенергії та мають довгий термін служби.

5. Використання сонячних панелей для виробництва електроенергії. Встановлення сонячних панелей на даху або фасаді будівлі дозволяє збирати та використовувати сонячну енергію для живлення систем опалення, охолодження та електричного освітлення.

6. Утеплення теплових трас будівлі, включаючи стіни, покрівлю, підлогу та фундамент. Застосування високоякісних утеплювачів та герметизація прогалин та щілин допомагає знизити втрати тепла та забезпечити оптимальну теплоізоляцію.

7. Використання систем енергоефективного опалення та кондиціонування повітря, які регулюють температуру та вентиляцію в будівлі з мінімальним споживанням енергії. Впровадження термостатів та автоматичних систем управління може допомогти ефективно регулювати температуру відповідно до потреб користувачів та зовнішніх умов.

8. Впровадження систем використання вторинних ресурсів, таких як відновлювані джерела енергії та переробка відходів. Використання сонячної енергії, вітроенергетики, геотермальних систем або інших джерел відновлюваної енергії може знизити залежність від традиційних джерел енергії та сприяти сталому розвитку.

9. Врахування принципів зеленого будівництва та сталого розвитку, включаючи використання екологічно чистих матеріалів, зменшення впливу будівництва на довкілля, збереження води та ефективне використання ресурсів.

10. Постійний моніторинг та аналіз енергетичної ефективності будівлі з метою виявлення можливостей для поліпшення. Використання систем автоматичного збору даних та моніторингу допомагає відстежувати споживання енергії та ідентифікувати області, де можна досягти додаткових заощаджень шляхом оптимізації систем та процесів.

Застосування цих рекомендацій може мати значний вплив на енергетичну ефективність будівель з різними типами інсоляції. Шляхом використання програмних засобів, таких як VEopt та EnergyPlus, можна провести числові моделювання та симуляції, щоб оцінити енергопотребу будівель з різними варіантами інсоляції та визначити їхню енергетичну ефективність.

Результати моделювання можуть бути проаналізовані для порівняння енергетичної ефективності різних варіантів. Це включає оцінку споживання енергії на опалення, охолодження та освітлення, а також врахування впливу інших факторів, таких як використання сонячних панелей та енергоефективних систем.

Для оцінки енергетичної ефективності можуть бути використані різні метрики, наприклад, коефіцієнт енергетичної ефективності (Energy Efficiency Ratio, EER), коефіцієнт річної

експлуатаційної ефективності (Coefficient of Performance, COP) або стандартні показники, такі як LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) або BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method). Ці метрики дозволяють визначити енергетичну ефективність будівлі та забезпечити об'єктивну оцінку різних варіантів.

Після аналізу результатів моделювання і оцінки енергетичної ефективності різних варіантів інсоляції, можна зробити висновки щодо найбільш оптимального варіанту для задоволення енергетичних потреб будівлі. Ці висновки можуть бути використані при прийнятті рішень щодо прийняття рішень щодо проектування та реконструкції будівель з урахуванням енергетичної ефективності.

Практичне застосування рекомендацій щодо оптимального використання інсоляції для забезпечення енергетичних потреб будівель має численні переваги. Воно дозволяє знизити споживання енергії, зменшити викиди шкідливих викидів в атмосферу та забезпечити енергетичну стабільність. Крім того, енергоефективні будівлі зменшують витрати на опалення, кондиціонування та освітлення, забезпечують комфортні умови проживання та праці, а також сприяють збереженню природних ресурсів.

Врахування факторів енергоефективного будівництва, використання сонячних панелей та інших аспектів сталого розвитку в процесі проектування та експлуатації будівель є важливим етапом для створення енергоефективного середовища. Це може бути застосовано у різних типах будівель, включаючи житлові будинки, офісні приміщення, комерційні та індустріальні споруди.

Прийняття рекомендацій щодо оптимального використання інсоляції сприяє сталому розвитку, оскільки зменшується залежність від традиційних джерел енергії, таких як вугілля та нафта, та сприяє переходу до використання відновлюваних джерел енергії. Крім того, енергоефективні будівлі сприяють зменшенню викидів парникових газів та збереженню природних ресурсів, що сприяє збереженню навколишнього середовища.

Однією з практичних можливостей є встановлення сонячних панелей на даху будівлі для генерації власної електроенергії з використанням сонячної енергії. Це дозволяє зменшити споживання електроенергії з мережі та забезпечити часткову або повну автономію в енергетичному сенсі. Сонячні панелі можуть бути встановлені на дахах будівель або на спеціальних конструкціях на землі навколо будівлі.

Додатково, можна використовувати системи збирання дощової води та системи ефективного використання води для поливу саду, охолодження систем та інших потреб. Це дозволяє зменшити споживання прісної води та забезпечити економію водних ресурсів.

Застосування матеріалів з високими ізоляційними властивостями, таких як енергоефективні вікна, утеплювачі та утеплення стін, сприяє зниженню втрат тепла і забезпечує кращу теплоізоляцію будівлі. Це дозволяє зменшити споживання енергії на опалення та кондиціонування приміщень.

Крім того, важливо враховувати принципи зеленого будівництва та сталого розвитку при проектуванні та будівництві будівель. Це означає використання екологічно чистих матеріалів, використання вторинних ресурсів, ефективне використання енергії та води, а також урахування впливу будівництва на довкілля.

Висновки

Узагальнюючи, практичне застосування рекомендацій щодо оптимального використання інсоляції та інших енергоефективних методів сприяють досягненню кількох практичних користей:

1. Використання інсоляції для енергетичних потреб будівель є ефективним способом зниження енергопотреб та поліпшення енергоефективності. Інсоляційні матеріали, такі як теплоізоляційні шари, віконні системи з низьким коефіцієнтом теплопередачі та фотоелектричні панелі, дозволяють знизити теплові втрати та використовувати сонячну енергію для генерації електроенергії.

2. Дослідження різних типів інсоляційних матеріалів та їх впливу на енергоефективність будівель є важливим етапом у розробці оптимальних стратегій проектування та будівництва. Виявлення найбільш ефективних матеріалів та їх оптимального застосування дозволяє досягти найкращих результатів зниження енергопотреб.

3. Використання спеціалізованих програмних засобів, таких як VEopt та EnergyPlus, є важливим кроком у моделюванні та аналізі енергетичних потреб будівель. Ці інструменти

дозволяють здійснювати комплексний аналіз теплових характеристик будівель та оцінювати енергоефективність різних інсоляційних рішень.

4. Врахування систем фотоелектричних панелей (PVsys) в аналізі енергетичних потреб будівель є важливим кроком у напрямку розвитку сонячної енергетики та зеленого будівництва. Інтеграція сонячних панелей у будівлі дозволяє генерувати власну електроенергію та зменшувати залежність від зовнішніх електроенергетичних джерел. Це сприяє зменшенню викидів парникових газів та забезпеченню стійкого енергетичного розвитку.

5. Отримані результати дослідження є важливим внеском у наукову спільноту, оскільки вони розширюють наше розуміння використання інсоляції для енергетичних потреб будівель. Вони надають практичні рекомендації щодо вибору та застосування інсоляційних матеріалів, розробки оптимальних стратегій енергоефективного будівництва та використання сонячних панелей.

6. Застосування інсоляції для енергетичних потреб будівель є актуальним у сучасному світі, де стає зростання споживання енергії та зміна кліматичних умов ставлять під загрозу стабільність енергопостачання та довкілля. Дослідження в цій галузі сприяють розвитку стійких, енергоефективних та екологічно чистих будівельних рішень.

7. Узагальнюючи, дане дослідження пропонує вдосконалені методи та практичні рекомендації з використання інсоляції для енергетичних потреб будівель. Результати дослідження мають велике значення для будівельної галузі, енергетичних компаній та наукових установ, сприяючи зменшенню енергопотреб, підвищенню енергоефективності та зростанню використання відновлювальних джерел енергії в будівництві.

8.

Список використаної літератури

1. Про енергетичну ефективність: Закон України від 17 груд. 2020 р. №4507. URL: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=70687 (дата звернення: 21.10.2021).
2. Закон України Про енергозбереження. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1994, № 30, ст.283. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80#Text>
3. Doe, P., Smith, J., & Johnson, A. (2018). Solar Energy for Buildings: A Beginner's Guide. Routledge.
4. Santamouris, M. (Ed.). (2017). Advances in Passive Cooling (Vol. 2). Springer.
5. Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). Solar Engineering of Thermal Processes (4th ed.). Wiley.
6. ASHRAE Handbook - Fundamentals (2017). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
7. Dincer, I., & Rosen, M. A. (2013). Thermal Energy Storage: Systems and Applications (2nd ed.). Wiley.
8. Poirazis, H., & Santamouris, M. (2019). Energy Performance of Buildings: Energy Efficiency and Built Environment in Temperate Climates. Routledge.
9. Renshaw, A., & Cook, M. (2015). Energy Management in Buildings: The Earthscan Expert Guide. Routledge.
10. Sayigh, A. A. M. (Ed.). (2014). Solar Energy: Renewable Energy and the Environment. Elsevier.
- Wang, R., & Gao, S. (2016). Solar Energy Applications in Buildings: Integrated Photovoltaic Systems. CRC Press.

N. Bepala¹, postgraduate

¹Institute engineering thermophysics of the national academy of sciences of Ukraine

USING INSOLIA FOR THE ENERGY NEEDS OF BUILDINGS: STRATEGIES AND PERSPECTIVES

This scientific article is devoted to the study of the use of insolation to meet the energy needs of buildings. It examines various aspects of the use of insolation materials, their impact on the energy efficiency of buildings, and ways to optimally use insolation to meet the energy needs of buildings. In addition, the article analyzes the latest technologies and strategies that contribute to increasing the energy efficiency of buildings with the help of insolation.

The paper reviews various types of insolation materials, their heat-insulating properties, and their impact on heat transfer through walls, ceilings, and exterior overlaps of buildings. The use of modern

modeling methods, such as BEopt and EnergyPlus, allows a detailed analysis of the energy consumption of buildings, taking into account the influence of insolation. In addition, the possibilities of using photovoltaic panel systems (PVsys) for the production of solar energy and its integration with insolation systems are considered.

Keywords: *energy efficiency, energy saving, a set of measures to improve energy efficiency, economic indicators, rising prices, energy resources, buildings, static and dynamic indicators*

References

1. On energy efficiency: Law of Ukraine of 17 December. 2020 №4507. URL: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=70687 (access date: 21.10.2021).
2. Law of Ukraine on Energy Conservation. Information of the Verkhovna Rada of Ukraine (VVR), 1994, № 30, p.283. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80#Text>
3. Doe, P., Smith, J., & Johnson, A. (2018). *Solar Energy for Buildings: A Beginner's Guide*. Routledge.
4. Santamouris, M. (Ed.). (2017). *Advances in Passive Cooling (Vol. 2)*. Springer.
5. Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes (4th ed.)*. Wiley.
6. ASHRAE Handbook - Fundamentals (2017). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
7. Dincer, I., & Rosen, M. A. (2013). *Thermal Energy Storage: Systems and Applications (2nd ed.)*. Wiley.
8. Poirazis, H., & Santamouris, M. (2019). *Energy Performance of Buildings: Energy Efficiency and Built Environment in Temperate Climates*. Routledge.
9. Renshaw, A., & Cook, M. (2015). *Energy Management in Buildings: The Earthscan Expert Guide*. Routledge.
10. Sayigh, A. A. M. (Ed.). (2014). *Solar Energy: Renewable Energy and the Environment*. Elsevier.
11. Wang, R., & Gao, S. (2016). *Solar Energy Applications in Buildings: Integrated Photovoltaic Systems*. CRC Press.

ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМУ СПОЖИВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В БУДІВЛЯХ

У теперішній час збільшення енергоємності сучасних будівель, а також нунуменс- фукація їхніх експлуатувальних режимів призвели до того, що радикальні методи управління режимом споживання теплової енергії для цих будівель, переросли в ефективний засіб.

У цьому розділі аналізуються можливості застосування експертних систем для регулювання режиму споживання теплової енергії в сучасних багатофункціональних будівлях. Пропонується приблизна структура глобальної експертної системи керування тепловою енергією для сучасних багатофункціональних будівель.

На сьогоднішній день зростання енергоємності сучасних будівель, а також інтенсифікація їхніх режимів експлуатації призвели до того, що традиційні методи управління режимом споживання теплової енергії для цих будівель перестали бути ефективним інструментом. У статті проаналізовано можливість використання експертних систем для регулювання споживання теплової енергії в сучасних багатофункціональних будівлях. Запропоновано апроксимаційну структуру гібридної експертної системи управління тепловою енергією для сучасних багатофункціональних будівель.

Ключові слова: *Житлові та громадські будівлі, тепла енергія, методи управління, енергоємність, матеріальні витрати, експертна система/*

Вступ

В умовах обмеженості енергетичних ресурсів для сталого і збалансованого розвитку країни все більшого значення набуває вирішення завдань оптимізації енергоспоживання. Ця оптимізація важлива не тільки для великих російських компаній (які забезпечують основну частку податкових надходжень до державного бюджету), але й для житлових будинків з метою зменшення споживання енергії. У цій статті розглядається комплексний підхід у сфері моніторингу та управління енергоспоживанням багатоквартирних будинків в рамках програми енергоменеджменту з використанням автоматизованої системи управління тепловою та електричною енергією .

Ускладнення структури, збільшення протяжності та зростання енергоємності сучасних будівель, а також інтенсифікації їхніх експлуатаційних режимів призвели до того, що традиційні методи управління, що застосовуються в цих будівлях, перестали бути ефективним засобом раціонального розподілу теплової енергії між споживачами. Це призвело до різкого зростання непродуктивних витрат матеріальних і енергетичних ресурсів, до зниження ступеня задоволення споживачів тепловою енергією.

Застосування інформаційних технологій під час вирішення задач економії споживання теплової енергії полягає в автоматизації процесів моніторингу та підтримки прийняття рішень при управлінні режимами теплозабезпечення. Складність ієрархічної структури систем теплозабезпечення, а також необхідність урахування невизначеностей впливу зовнішнього середовища та неузгодженість критеріїв на різних рівнях управління визначають різноманітність наукових напрямів і технічних рішень реалізації окремих задач автоматизації управління процесом теплозабезпечення.

Незважаючи на широке застосування інформаційних технологій для автоматизації розв'язання окремих задач у комунальній теплоенергетиці, на сьогоднішній час відсутній єдиний комплексний підхід до вирішення проблеми підвищення ефективності процесів прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери. Удосконалення інформаційної підтримки процесів прийняття рішень дозволить підвищити ефективність прийнятих рішень щодо управління режимами теплозабезпечення, що, у свою чергу, дозволить скоротити споживання теплової енергії будівлею при забезпеченні комфортних умов в опалюваних приміщеннях.

Як об'єкти управління, сучасні житлові та громадські багатофункціональні будівлі належать до класу багатовимірних багатозв'язних нелінійних стохастичних систем із розподіленими параметрами,

специфічною особливістю яких є їх багаторівнева структура, високий рівень невизначеності структури, параметрів та станів об'єкта управління (будівлі), наявність у векторі управління як безперервних, так і дискретних компонент.

Управління розподілом теплової енергії

Наразі накопичено значний досвід з моделювання та оптимізації режиму розподілу теплової енергії в сучасних будівлях [3, 5]. Однак розроблені методи оптимізації є, як правило, детермінованими, не враховують реальні умови функціонування цих будівель, пов'язані з невизначеністю як об'єкта управління (будівлі), так і навколишнього середовища.

Отримувані за допомогою цих методів оптимальні рішення щодо розподілу теплової енергії між споживачами відповідають тільки конкретним граничним умовам і перебувають, як правило, на межі допустимої області. Практично це призводило до того, що навіть незначні варіації граничних умов могли не тільки істотно змінити оптимальне рішення, а й вивести його з області технічно допустимих режимів, тобто призвести до аварійної ситуації. Природно, що такі оптимальні рішення є неприйнятними для практики.

Основна мета оперативного управління розподілом теплової енергії для сучасних житлових будинків полягає в забезпеченні якнайкращого задоволення вимог споживачів[1,2], що безперервно змінюються. Як відомо, наявні математичні моделі оптимального планування й керування в реальних умовах часто бувають непрацездатними. Особливо це стосується оперативного-календарного планування, у процесі якого виникає проблема реалізованості моделей і необхідності їх оперативного коригування з урахуванням інформації зворотного зв'язку про фактичне споживання теплової енергії. При цьому доводиться стикатися з невизначеністю цілей, що виникають у разі прагнення виконати одночасно недосяжні завдання на забезпечення споживачів необхідною кількістю теплової енергії, з одного боку, і забезпечення екстремального значення обраного економічного критерію, з іншого боку. Крім того, унаслідок впливу різних чинників, а також неповноти й неточності вихідної інформації виявляються нечітко визначеними основні системні параметри (витрата теплової енергії, обмеження, коефіцієнти). У зв'язку з цим фахівці планово-виробничих служб на практиці схильні використовувати свої власні правила рішення, що ґрунтуються на їхньому досвіді та інтуїції. Такі евристичні правила, хоча й не гарантують математичної оптимальності, виявляються адекватними реальним умовам.

У цьому напрямі нами досліджено нові підходи до розв'язання завдань планування і розподілу теплової енергії, що базуються на концепції нечітких множин. Пропоновані підходи дають змогу враховувати такі важко формалізовані чинники, як досвід та інтуїція[3].

Подальше вдосконалення системи планування, її ефективності та надійності пов'язані з переходом на нову інформаційну технологію і створенням на її основі якісно нових систем, що базуються на знаннях.

Як уже було зазначено вище, сучасна будівля з безперервним характером експлуатації є складною системою, що складається з десятків обслуговуючих служб. Метою диспетчеризації та управління будівлею з безперервною експлуатацією є забезпечення безаварійного, ритмічного і безперебійного функціонування всіх комунальних систем. Більшість конкретних рішень щодо дій цих систем приймає черговий диспетчер. Він постійно аналізує інформацію, що надходить до нього, щоб виявити відхилення від нормального функціонування систем. Якщо таке відхилення відбулося, то диспетчеру необхідно знайти причину його виникнення. Після виявлення причини диспетчер виробляє послідовність дій щодо усунення несприятливої ситуації, що виникла. Таким чином, диспетчер постійно виконує завдання стеження за ходом експлуатації, аналізу ситуації та планування дій. Крім того, йому доводиться періодично займатися низкою розрахункових обчислювальних завдань.

Побудова експертної системи

Досвід експлуатації автоматизованих систем оперативно-диспетчерського управління на низці сучасних будівель показав, що використовувані традиційні "жорсткі" формальні математичні моделі недостатньо адекватні об'єкту управління. Тому виникає необхідність створити диспетчерську керуючу експертну технологічну систему, що поєднує в собі такі переваги сучасних електронно-обчислювальних машин, як висока швидкість, великий об'єм пам'яті та величезна обчислювальна потужність, а також акумулює в собі досвід і знання експерта - висококласного фахівця в даній галузі.

Функціонально диспетчерська керуюча експертна технологічна система призначена для допомоги диспетчеру в процесі його роботи, забезпечуючи його порадами - рекомендаціями щодо дій у ситуації, що склалася, оперативною і достовірною інформацією, а також можливістю виконувати завдання розрахункового характеру[6,8].

Умовно процес побудови експертної системи можна ділити на п'ять етапів (рис. 1)



Рисунок 1. - Етапи побудови експертної системи

Перший етап - це визначення цілей і завдань, для яких конструюється система. Тут, по-перше, встановлюється спектр завдань і їхні характерні особливості. Чітке технічне завдання на розроблювану систему допоможе надалі правильно окреслити сферу знань експерта, необхідних для визначення фактичної витрати теплової енергії. По-друге, важливо визначити потенційних користувачів системи, що також впливає на необхідний рівень роботи експертної системи і, отже, на рівень необхідних знань[8].

Другий етап - виділення основних концепцій предметної області, що відображає знання експертів. Виокремлення таких концепцій дає змогу проаналізувати - знаннями якого типу оперує експерт під час визначення необхідної витрати теплової енергії. Це допоможе інженеру зі знань вибрати ті формальні засоби представлення знань і процедури одержання рішень, які найбільше підходять для моделювання процесу ухвалення рішень експертом у галузі експлуатації комунальних систем будівель.

Третій етап - вибір мови представлення знань і розв'язувача, які, на наш погляд, значною мірою зумовлюють успіх створення експертної системи для точного визначення витрат теплової енергії.

Четвертий етап - це безпосередньо побудова бази знань експертної системи. Інженер зі знань, будучи фактично перекладачем між експертом і комп'ютером, заносить знання в галузі експлуатації будівель, отримані від експерта і записані мовою подання знань

П'ятий етап - полягає в перевірці роботи експертної системи. Перевірку здійснюють шляхом розв'язання експертною системою контрольних завдань з управління режимом споживання теплової енергії.

Еволюція поглядів на проблему управління складними системами в контексті застосування тих чи інших формалізмів для побудови адекватних моделей керованих об'єктів, пройшовши через етап створення необхідності врахування в них людського фактору, призвела фахівців у галузі будівництва та інженерії до формування концепції побудови "інтелектуальних" будівель.

Експертні системи, як напрямки ідеології класичного штучного інтелекту, що найактивніше розвиваються, здатні, імітуючи "людський" спосіб міркування, розв'язувати задачі управління не гірше за людину - експерта. Причому подібні системи, розумно поєднуючи переваги людини - машинних діалогових систем з евристичними моделями, набувають низки принципово нових і надзвичайно важливих властивостей. Це, насамперед, можливість представляти знання експертів мовою, близькою до природної мови людського спілкування, розв'язувати задачі на основі цих знань і, мабуть, найголовніше - верифікувати цілі управління, тобто підтверджувати правильність ухваленого рішення [7].

Річ у тім, що рівень складності експлуатації сучасних будівель, невизначеність параметрів їхнього функціонування, велика розмірність завдань їхнього управління не дають змоги створити таку універсальну базу знань експертної системи, яка була б здатна видавати рішення, адекватні позаштатним ситуаціям, які часто виникають і виходять за рамки регламенту.

Шляхи виходу із ситуації, що склалася, природно, було шукати в наданні експериментальній системі певного динамізму, у сенсі можливості гнучкішого й оперативнішого реагування на зміну комфортних умов усередині приміщень будівлі в режимі реального часу. І більше того, періодично оновлювані моделі бази знань мають давати змогу на основі аналізу тенденцій зміни параметрів зовнішнього повітря прогнозувати можливі зміни параметрів у приміщеннях і генерувати відповідні рішення.

З метою оперативного опрацювання даних у середовищі реального часу і розв'язання на цій основі задачі управління тепловим режимом у сучасних будівлях, загальну задачу управління нами декомпоновано на низку вузькоспрямованих підзадач, таких як:

- розпізнавання всіх експлуатаційних подій, однозначно пов'язаних із тими чи іншими непередбачуваними проблемами, що призводять до суттєвої зміни в режимі споживання теплової енергії;
- арбітраж пріоритетів цих подій;
- аналіз події з метою розпізнавання та виявлення відповідної непередбаченої проблеми;
- арбітраж пріоритетів основних завдань;
- координація вищевказаних процесів.

Від своєчасності та оперативності розпізнавання непередбачуваних експлуатацій від того, наскільки складно вирішити традиційні проблеми в будівлі, багато в чому залежить ефективність управління режимом споживання теплової енергії[3].

Традиційно для розв'язання задачі оптимального управління використовують накопичений досвід диспетчерських служб, попередньо підготовлений план експлуатаційних робіт.

Однак практична реалізація оперативного й оптимального управління режимом споживання теплової енергії для сучасних будівель не дає змоги отримати бажаних результатів, ритмічність управління та стабільність забезпечення всіх споживачів у необхідній кількості тепловою енергією, що супроводжується порушенням комфортності окремих споживачів і оперативності роботи системи теплопостачання будівлі загалом.

У зв'язку з цим розроблено гібридну експертну систему, засновану на ком- комплексної експлуатації будівлі, яку буде реалізовано на підставі досвіду і знань експертів у цій галузі та методів оптимізації.

Цю гібридну експертну систему призначено для розв'язання задач управління і регулювання режиму споживання теплової енергії на основі поєднання знань експертів і умов оптимізації, що забезпечують розроблення практично прийнятних рецептур управління[4].

Структура гібридної експертної системи

Структура гібридної експертної системи включає такі блоки (рис. 2):

1. Експертна система. Вона складається з баз знань, баз даних, блоку логічного виведення і блоку інтерфейсу з користувачем[5].
2. Блок оптимізаційних розрахунків.

Для організації режиму управління тепловою енергією в гібридній експертній системі бере участь диспетчер. Він виконує такі дії:

- заповнення файлу даних, що містить поточні значення показників щодо витрат теплової енергії, передача файлу в оптимізаційний блок;
- активація процедур оптимізації;
- інтерпретація результатів оптимізації.

База знань містить правила, якими користуються експерти під час складання оптимальних прогнозних значень витрат теплової енергії.

База даних системи містить поточні дані щодо витрат теплової енергії. Блок логічних порівнянь реалізує процедуру порівняння експертних і архівних даних.

Блок інтеграції з будівлею містить у собі діалогову систему і підсистему пояснень щодо розбіжності експертних і архівних даних з витрат теплової енергії будівлею.

Діалогова підсистема дає змогу здійснювати введення та інтерпретацію даних, які можуть вводитися з центрального банку даних.

Підсистема пояснень за розбіжністю експертних і архівних даних формує текст пояснення рекомендованих рецептур на основі трасування логічного висновку.

Блок оптимізованих розрахунків дає змогу розв'язати задачу оптимізації, що полягає у визначенні таких співвідношень між кліматичними параметрами внутрішнього повітря, за яких витрата теплової енергії на забезпечення цих кліматичних умов була б оптимальною.

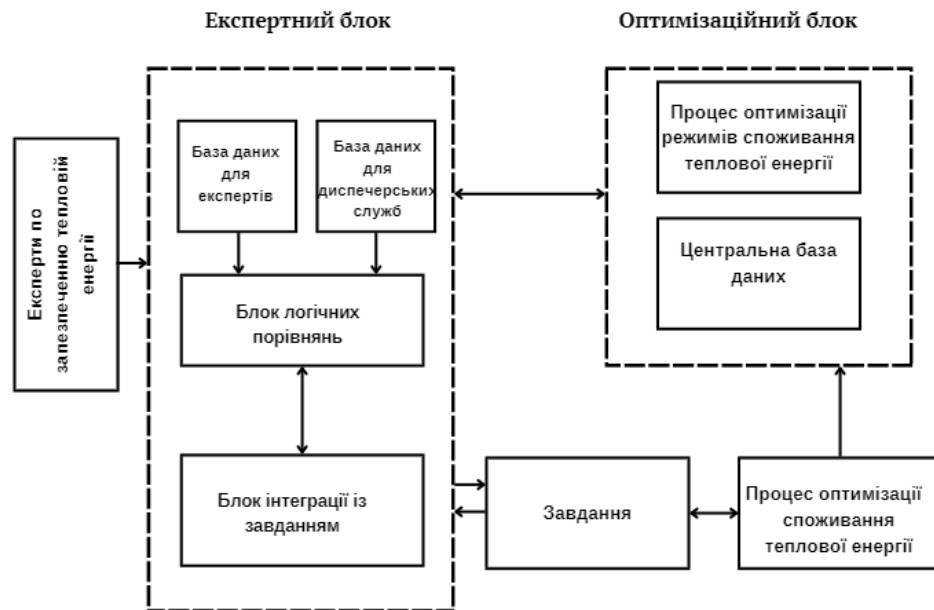


Рисунок 2 - Приблизна схема гібридної експертної системи управління тепловою енергією в сучасних будівлях

Сеанс роботи з гібридною експертною системою починається з введення діалоговою підсистемою поточних даних щодо витрат теплової енергії, які передаються в базу даних. Блок логічного виведення на основі поточних даних формує допустимі значення витрати і допустимі норми відхилення. Якщо значення, що видає система, різко відрізняється, то підсистема пояснює формує причину відхилення. Оптимізаційний блок на основі стандартного пакета оптимізації виконує розрахунок у межах допустимих норм.

База знань містить неформальні експертні розрахунки, в основі яких лежить побудова "абстрактного" плану з витрат теплової енергії.

Згідно з цим планом процес розв'язання задачі розбивається на три рівні. Принцип, на підставі якого здійснюють вибір компонентів внутрішніх параметрів на кожному рівні, полягає в тому, щоб якісні та кількісні параметри теплової енергії відповідали необхідним на цьому рівні значенням. Такий підхід дає змогу виокремити цілі в розв'язанні задачі, які можна реалізувати укрупнено, у загальному вигляді. Для реалізації цих цілей процедуру формування прогнозного значення витрат теплової енергії можна розбивати на такі етапи:

- аналіз параметрів зовнішнього повітря, теплової енергії та внутрішнього повітря;
- формування та визначення оптимізаційних параметрів;
- формування оптимального вихідного значення витрати теплової енергії. Система постійно зіставляє вихідні значення із вмістом бази знань,

стежити, щоб не були порушені норми граничних допустимих значень. Під час розв'язання задачі на будь-якому етапі можна повернутися на початок і скоригувати оптимальне вихідне значення, потім знову розв'язати задачу.

Якщо отримане значення різко відрізняється від архівних даних, а також пояснення не задовольняє експерта, то він вносить необхідні корективи у вихідні дані і процес рішення починається спочатку.

Висновок: Впровадження системи енергетичного менеджменту централізованого теплозабезпечення з урахуванням сучасних вимог до оперативності прийняття рішень та їх якості вимагає підвищення рівня інтелектуальної підтримки роботи персоналу, відповідального за управління централізованим теплозабезпеченням в ІТП. Інструментальні засоби можуть бути застосовані для вирішення задачі підтримки прийняття рішень при управлінні централізованим теплозабезпеченням закладів соціально-бюджетної сфери на стороні споживача, так як вони не

охоплюють весь комплекс задач, які виникають в процесі прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням будівель. Вирішення задачі підтримки прийняття рішень при управлінні централізованим теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери на стороні споживача потребує розроблення комплексу моделей та інформаційної технології підтримки прийняття рішень. На основі аналітичного огляду сучасного стану наукових досліджень у галузі застосування інформаційних технологій для підвищення ефективності управління централізованим теплозабезпеченням сформульовано змістовну постановку задачі дослідження. Удосконалення процесу управління централізованим теплозабезпеченням можливе шляхом розроблення систем підтримки прийняття рішень. Реалізація підтримки прийняття рішень при управлінні централізованим теплозабезпеченням на місцевому рівні потребує проведення моніторингу теплозабезпечення, визначення прогнозованого значення споживання теплової енергії, розрахунку поточкорозподілу теплоносія а також формування рекомендацій щодо управління теплозабезпеченням

Список використаних джерел:

1. Аглиулин А. Х., Поплавский Д. В., Потачев С. В. Системы энергоучета с использованием цифровых технологий. Часть 1 [Текст] / А. Х. Аглиулин, Д. В. Поплавский, С. В. Потачев. // Энергоэффективность: опыт, проблемы, решения. – 2001. – Вып. №1 – С. 56–62.
2. Алгоритмы и системы нечеткого вывода при решении задач диагностики городских инженерных коммуникаций в среде Matlab [Текст] / Л. А. Демидова, В. В. Кураковский, А. Н. Пылькин. - М.: Радио и связь, Горячая линия - Телеком, 2005. – 365 с.: ил.
3. Алтунин А.Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: Монография [Текст] / А. Е. Алтунин, М.В. Семухин. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2000. – 352 с.
4. Ананькина Е.А. Контроллинг как инструмент управления предприятием [Текст] / Е.А. Ананькина и др.; Под ред. Н.Г. Данилочкиной. – М. : Аудит, ЮНИТИ, 1998. – 279 с.
5. Апраушева Н. Н. Три алгоритма естественной кластеризации объектов. Вычислительный центр АН СССР. – Москва, 1986.
6. Мамедов Н.Я. Ймовірно-статистичні характеристики режиму нерівномірного споживання теплової енергії для будівель // Вісник ТДСУ, Томськ: 2009, №2, с. 152-159.
7. Табунициков Ю.А., Бродач М.М. Математичне моделювання та оптимізація теплової ефективності будівель. - М.: АВОК-ПРЕСС, 2002.-194с.
8. Xingping Z. The Relationship Between Energy Consumption and Economic Growth in China Based on ANFIS [Text] / Z. Xingping, M. Yuling // Intelligent Systems and Applications. – 2009. – ISA 2009. International Workshop on 23-24 May 2009. – P. 1-4.
- 9.

M.O. Poveda¹, student

O.B. Kudinova¹, student

¹National Technical University of Ukraine
"Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

APPLICATION OF MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES TO REGULATE THE MODE OF HEAT ENERGY CONSUMPTION IN BUILDINGS

At present, the increase in energy intensity of modern buildings, as well as the non-uniformity of their operating modes, have led to the fact that radical methods of managing the mode of heat energy consumption for these buildings have become an effective tool.

In this section, we analyze the possibilities of using expert systems to regulate the mode of heat energy consumption in modern multifunctional buildings. An approximate structure of a global expert system for thermal energy management for modern multifunctional buildings is proposed.

To date, the growth of energy intensity of modern buildings, as well as the intensification of their operating modes, has led to the fact that traditional methods of managing the mode of heat energy consumption for these buildings have ceased to be an effective tool. The article analyzes the possibility of using expert systems to regulate heat energy consumption in modern multifunctional buildings. An approximation structure of a hybrid expert system for thermal energy management for modern multifunctional buildings is proposed.

Keywords: Residential and public buildings, thermal energy, management methods, energy intensity, material costs, expert system.

References

1. Agliulin A. X., Poplavsky D V., Potachev S.. V. *Energy accounting systems using digital technologies. Part 1 [Text] / A. X. Agliulin, D. V. Poplavsky, S. V. Potachev. (in Russian) // Energy efficiency: experience, problems, solutions. - 2001. - Vip. №1 - C. 56-62.*
2. *Algorithms and systems of fuzzy inference when solving problems of diagnostics of urban engineering communications in the Matlab environment [Text] / L.A. Demidova, V.V. Kirakovskiy, A.N. Pylkin. - Moscow: Radio and Telecommunications, Hot Line - Telecom, 2005. - 365 p.: illustration.*
3. *Altunin A.E. Models and algorithms of decision making in fuzzy conditions: Monograph [Text] / A.E. Altunin, M.V. Semukhin. - Tyumen: Tyumen State University Press, 2000. - 352 c.*
4. *Anankina E.A. Controlling as a tool for enterprise management [Text] / E.A. Anankina et al; Edited by N.G. Danilochkina. - M. : Audit, UNITI, 1998. - 279 c.*
5. *Aprausheva N. N. Three algorithms of natural clustering of objects. Computer center of the USSR Academy of Sciences. - Moscow, 1986.*
6. *Mamedov H.Y. Immediate statistical characteristics of thermal energy consumption mode for buildings // Visnik TDSU, Tomsk: 2009, ' 2, p. 152-159.*
7. *Tabunshchikov Y.A., Brodach M.M. Mathematical Modelling and Optimization of Thermal Efficiency of Building Structures. - Moscow: AVOK-PRESS, 2002. Burger, C.; Kuhlmann, A.; Richard, P.; Weinmann, J. Blockchain in the Energy Transition A Survey Among Decision Makers in the German Energy Industry; Deutsche Energie-Agentur GmbH German Energy Agency: Berlin, Germany, 2016.*
8. *Xingping Z. The Relationship Between Energy Consumption and Economic Growth in China Based on ANFIS [Text] / Z. Xingping, M. Yuling // Intelligent Systems and Applications. – 2009. – ISA 2009. International Workshop on 23-24 May 2009. – P. 1-4.*

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ТА ПРИНЦИПІВ ФОРМУВАННЯ ВДЕ СПІЛЬНОТ

Анотація: У роботі запропоновано підходи щодо взаємодії членів ВДЕ спільнот на основі 4-го енергопакету ЄС. Сформовані такі об'єднання в енергетичній галузі матимуть численні переваги з точки зору використання ВДЕ та зниження власних витрат на енергозабезпечення. Тому формування принципів взаємодії учасників у спільнотах дозволять в подальших дослідженнях визначити різні аспекти впливу з економічної, технічної а інших напрямків.

Ключові слова: ВДЕ, енергоефективність, спільноти, енергопакет, генерація, енергетичний менеджмент, просьюмер.

Вступ: За останні кілька років у зв'язку з поступовою зміною клімату, декарбонізація сектору електроенергетики стала одним із ключових цілей в усьому світі (в Європі чиста енергія. Пакет для всіх європейців [1]). Це сприяло швидкому розгортанню енергетичних співтовариств, де користувачі стають “просьюмерами”, вони генерують електроенергію для власного споживання, або продати її в мережу чи іншим користувачам у спільноті. Таким чином ВДЕ-спільнота дозволяє знизити інвестиційні витрати і збільшити самоспоживання та самозабезпечення, а також отримати дохід від продажу електричної енергії.

Мета та завдання: здійснити аналіз підходів до формування ВДЕ-спільнот та огляд їх взаємодії між собою з різними видами обладнання.

Матеріал і результати досліджень: Враховуючи основні положення європейських директив які входять до 4-го енергетичного пакету ЄС, для суб'єктів ВДЕ малої потужності відкрита велика можливість розвитку. При імплементації положень європейських актив дані суб'єкти можуть бути звільнені від участі у тендерних або аукціонних процедурах та здійснювати свою діяльність на ринку енергетичних послуг . Для участі у ВДЕ спільноті існують декілька вимог [2]:

- Забезпечення доступності. Суб'єкти ВДЕ повинні бути доступними для всіх учасників спільноти. Це може вимагати інвестицій у встановлення ВДЕ та інфраструктуру, що підтримує їх роботу.

- Підтримка технологічних інновацій. Спільноти повинні підтримувати технологічні інновації, такі як енергоефективність, зберігання енергії та інтеграція ВДЕ в існуючі енергетичні системи.

- Забезпечення економічної ефективності. Спільноти повинні забезпечувати економічну ефективність використання ВДЕ шляхом зменшення витрат на власні потреби.

- Зменшення негативного впливу на довкілля: Спільноти повинні додержуватись екологічної безпеки за рахунок зменшення негативного впливу на стан довкілля при створенні та експлуатації об'єктів альтернативної енергетики, а також при передачі, транспортуванні, постачанні, зберіганні та споживанні енергії, виробленої з альтернативних джерел.

- Цінності та місія. Спільнота може мати встановлену свою місію та цінності, які пов'язані з розвитком ВДЕ, тому перед вступом необхідно ознайомитись з ними та переконатись, що вони відповідають вашим цінностям та місії.

- Навички та досвід. Вступ до спільноти ВДЕ може вимагати наявності певних навичок та досвіду у сфері ВДЕ. Наприклад, необхідно членам спільноти володіти знаннями про сонячні, вітряні та гідроенергетичні технології, уміння розраховувати витрати енергії та інші.

- Здібності та інтереси. Вступ до спільноти може вимагати від учасників здібностей та інтересів у сфері ВДЕ. Наприклад, може вимагатись вміння працювати зі збереженням енергії, установки сонячних панелей, побудови вітроенергетичних установок та ін.

- Дохід та фінансові можливості: Деякі спільноти можуть вимагати від вас певного рівня доходів та фінансових можливостей для вступу до них. Наприклад, це може бути пов'язано з необхідністю інвестицій у ВДЕ або з оплатою внеску у спільноту.

ВДЕ спільнота формується з 2 і більше учасників, кожен з яких приносить свою користь, для роботи спільноти необхідне обладнання, таке як системи накопичення енергії, можливості підключення до мережі, сонячні панелі або вітрові генератори, спільнота працює на власну користь, із

сумарної генерованої енергії кожен член спільноти отримує свою частку, яка визначається внеском кожного члена, у свою чергу свою частку кожен член може використовувати як для себе, так і для продажу у мережу. На рисунку 1 наведені

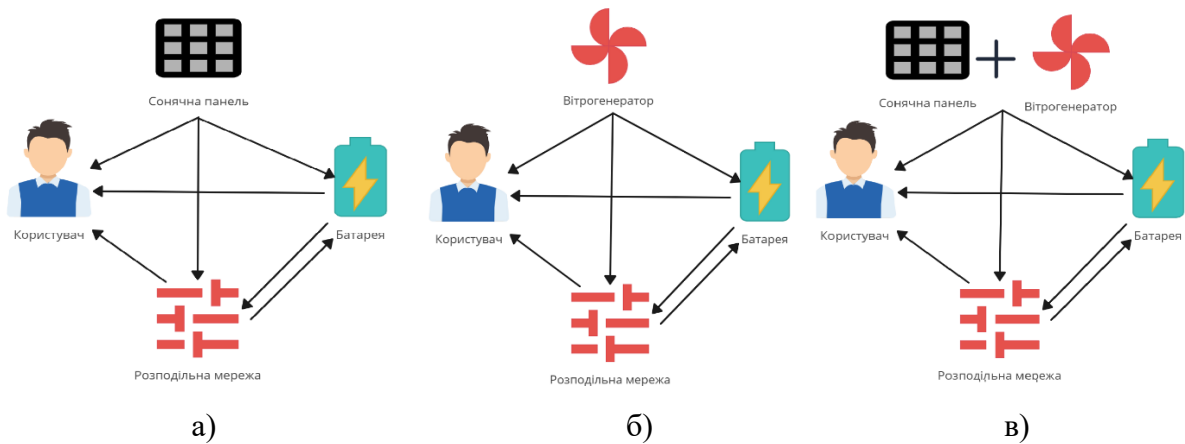


Рисунок 1. Схема формування ВДЕ спільноти з використанням різних технологій (а – сонячні панелі, б-вітрогенератори, в- сонячні панелі та вітрогенератори)

В залежності від складу учасників і технологій використання енергії пропонуємо розглянути підхід до оцінювання економічності приєднання різних учасників до ВДЕ-спільноти.

Фактор спільної вартості для кожного учасника в спільноті обчислюється на основі впливу його на спільноту. Цей вплив обчислюється шляхом порівняння вартості спільноти, n учасника, з вартістю спільноти без цього учасника u , $n-1$ користувачів. Розв'язуються $n+1$ задача, одна за ціле спільнота (n учасників), і n проблем з $n-1$ кожен один (по одному для кожного користувача, видаленого зі спільноти). Математичний вираз для цих коефіцієнтів спільного використання представлено у формулах (2)-(4), а загальна вартість спільноти представлена формулою (1).

$$TC = \frac{z^n - z_u^{n-1}}{\sum_{k \in U} (z^n - z_k^{n-1})} \cdot z^n \quad (1)$$

$$WSTC = \frac{pu^n - pu_u^{n-1}}{\sum_{k \in U} (pu^n - pu_k^{n-1})} \cdot pu^n \cdot CAPV \quad (2)$$

$$BTC = \frac{b^n - b_u^{n-1}}{\sum_{k \in U} (b^n - b_k^{n-1})} \cdot b^n \cdot CAB \quad (3)$$

$$GTC = \frac{cc^n - cc_u^{n-1}}{\sum_{k \in U} (cc^n - cc_k^{n-1})} \cdot cc^n \cdot CTP \quad (4)$$

де, pu^n, b^n, z^n - оптимальні значення сонячних панелей, вітрогенераторів, батареї, загальної вартості z (цільова функція- інвестиційна вартість+ вартість операції для всієї спільноти);

$pu_k^{n-1}, b_k^{n-1}, z_k^{n-1}$ - оптимальні значення сонячних панелей, вітрогенераторів, батареї, загальної вартості z для спільноти без користувача $k, (n-1)$;

$CAPV$ - вартість амортизації фотоелектричної установки, вітрогенератора;

CAB - вартість амортизації акумулятора;

CTP - вартість підключення до мережі;

TC - загальна вартість;

$WSTC$ - загальна амортизаційна вартість фотоелектричної установки, вітрогенератора;

BTC - загальна амортизаційна вартість акумулятора;

GTC - загальна вартість підключення до мережі;

В залежності від структури спільноти, вартості використаних технологій, експлуатаційних характеристик обладнання та процесу взаємодії спільноти з учасниками ринку електроенергії залежить ефективність повернення інвестицій і прибутку для кожного учасника.

В подальших дослідженнях буде проведено моделювання та вирішено різні оптимізаційні задачі з врахуванням сценаріїв формування ВДЕ –спільноти.

Список використаних джерел

1. European Commission, Clean Energy for all Europeans,° 2019. [Online]. Available.
URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy_en
2. Про альтернативні джерела енергії: Закон України від 20.02.2003р. №555-IV
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text>

T. Sisyuk¹, master student
**¹National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”**

ANALYSIS OF THE APPROACHES AND PRINCIPLES OF THE FORMATION OF VDE COMMUNITIES

Abstract: The article describes the interaction model of RES community members based on the 4th EU energy package. The integration of consumers into energy communities brings numerous advantages in terms of the use of RES and cost reduction. However, it is also a complex, shared cost (installation and operation) for each user. In addition, a distribution of unpaid factors is proposed in which the proposed installations (solar panels, wind generators, batteries, grid connection) are more profitable for users.

Keywords: *RES, energy efficiency, communities, energy package, generation, energy management, prosumer.*

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗУМНИХ КОНТРАКТІВ БЛОКЧЕЙНУ НА РИНКУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Енергетичні системи переходять до децентралізованої та декарбонізованої парадигми з інтеграцією розподілених відновлюваних джерел енергії. Розумні контракти на блокчейн мають зростаючий потенціал для полегшення переходу енергетичних систем завдяки природі автоматизації, стандартизації та самозабезпечення. У даній статті наведено основні принципи концепції розумних контрактів(смарт-контрактів) блокчейну та розглянуто можливість їх використання для систем відновлюваної енергетики з метою усунення проблем, які виникають у процесі управління енергетичною системою.

Ключові слова: відновлювана енергетика, смарт-контракти, блокчейн, прозорість, цифровий перехід, споживачі.

Вступ

Зміни клімату, які спостерігаються сьогодні, є стимулом для використання потенціалу відновлюваної енергії в усьому світі. Комплексний підхід до трансформації енергетики розроблено в трендовій концепції «3D» (Decarbonization, Decentralization, Digitalization)[1]. Для стимулювання розвитку відновлюваної енергетики джерела енергії повинні бути оптимально поєднані за допомогою передових методів транзакцій енергії.

Технологія блокчейн нещодавно стала ключовою технологією цифрової революції в енергетичному секторі, і кілька міжнародних експертів [2, 3, 4] визначили потенціал блокчейну для енергетичного світу. Інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ) і блокчейн є ключовими передовими технологіями для децентралізації, цифровізації та демократизації енергетичного сектору, і вони нададуть споживачам енергії величезні можливості для розуміння, виробництва, моніторингу та контролю своїх потреб в енергії. Енергетичні компанії в усьому світі вже почали досліджувати використання технології блокчейн у великомасштабних системах торгівлі енергією, фінансуванні проєктів, відстеженні ланцюга постачання та управлінні активами серед інших програм. Ідея цієї статті полягає в тому, щоб детальніше вивчити використання технології блокчейн для її можливого застосування в індустрії енергетики та визначити, як це може зробити ринки відновлюваної енергетики більш безпечними та прозорими.

Енергетичний сектор перебуває в перехідному періоді та стикається з кількома проблемами, пов'язаними з інтеграцією розподілених відновлюваних джерел енергії в існуючу централізовану енергетичну систему. Цифрові можливості, такі як блокчейн, діють як засоби для створення децентралізованої та демократичної енергетичної системи[5]. Блокчейн тестується для різних додатків в енергетичному секторі як засіб вирішення проблем, пов'язаних з безпекою та прозорістю через надання концепції децентралізованих повноважень, створюючи безпрограшну ситуацію для всіх зацікавлених сторін.

Блокчейн виступатиме в якості засобу, який дозволить споживачам брати участь у місцевому енергетичному ринку, де вони зможуть покладатися на технологію, яка має потенціал зробити транзакції швидшими, простішими та дешевшими, ніж традиційна централізована енергетична система[6]. Деякі енергетичні компанії також вивчають застосування блокчейну в ланцюгах постачання енергії та визначення її вартості з метою забезпечення кращої прозорості та зменшення втрат активів у процесі виробництва до споживання енергії.

Смарт контракти – це комп'ютерні алгоритми, призначені для укладання та підтримки контрактів. Такий контракт пишеться у кодовій формі та виконуються на блокчейні.



Рис.1 – Переваги застосування смарт контрактів

Система розумних контрактів(смарт-контрактів) із підтримкою блокчейну допоможе користувачам мати доступ і контролювати дані щодо споживання відновлюваної енергії. Якщо хтось вирішить змінити зміст контракту, це побачать усі учасники мережі. Коли смарт-контракт виконує задовану в ньому операцію (наприклад, переказує платіж), ця інформація оновлюється для кожної сторони. В результаті кожна сторона може стежити за процесом виконання контракту. Адміністратори перевіряють такі контракти як блоки. Вироблена електроенергія, видана споживачеві, записується в блокчейн у вигляді спожитої потужності, міток часу та ідентифікатора постачальника електрики. За фактом встановленого тимчасового інтервалу смарт-контракт в автоматичному режимі здійснює розрахунок за спожиту електроенергію, нівелюючи участь посередників. Якщо смарт контракт викликає сумнів він може не потрапити до реєстру[7]. Смарт-контракти внесуть радикальні зміни шляхом прискорення транзакцій та скорочення бюрократії.

До учасників (суб'єктів) ринку слід віднести виробників, покупців та споживачів електричної енергії. Учасники ринку за своєю суттю – вузли децентралізованої бази даних, яка на мережевому рівні забезпечує їх інформацією без центральної авторизації та практично миттєво[8]. Кожен вузол має повну інформацію про всі контракти на ринку, що дозволяє здійснювати свою діяльність прозоро та ефективніше і в тому числі виключити проблему подвійного витрачання коштів.

Прикладний рівень блокчейн-технології передбачає однорангові, децентралізовані з'єднання у вигляді транзакцій, які не вимагають участі посередників. Подібні економічні відносини, як і моментальні грошові платежі між учасниками ринку, послужили основним мотивом, що спонукає застосування блокчейна в енергетиці[9,10]. Завдяки впровадженню технології розумних контрактів такі транзакції вдалося автоматизувати, дозволивши самим учасникам ринку підвищити економічну ефективність угод, пов'язаних із купівлею чи продажем електроенергії.

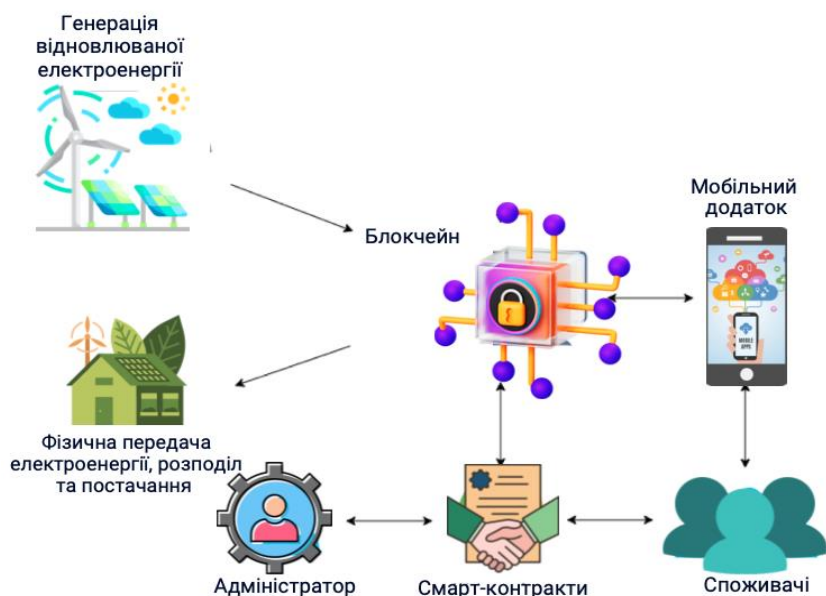


Рис. 2 – Схема взаємовідносин учасників ринку із залученням блокчейн технологій

У рамках запрограмованих правил учасники роздрібного ринку отримують доступ до ринку оптового, оскільки ці правила дозволяють вирішити питання щодо їхньої взаємодії[11]. З'являється можливість більш ефективного управління попитом на ринку електроенергії. Інформація про споживання або розвантаження записується до блокчейну. Доступні дані лежать в основі прогнозування, причому більш точного, що, у свою чергу, є зворотним зв'язком механізму коригування ціни на ринку електроенергії при піковому завантаженні та балансує не лише економіку, а й технологію. Виходить, що це вигідно і генерації, і споживачеві, але не посереднику, якого тепер замінює низка технологій.

У контексті схем сертифікації, пов'язаних з енергетикою, нещодавнє дослідження вивчало потенціал використання блокчейну для торгівлі сертифікатами гарантії походження[12], також відомими як зелені сертифікати. Зелений сертифікат видається регулятором виробника відновлюваної енергії за кожен мегават-годину (МВт-год) виробленої сертифікованої відновлюваної енергії. Ці зелені сертифікати містять відомості про те, коли, де, як і ким вони були створені. Цей сертифікат також фіксує, хто володіє зеленими активами, пов'язаними з цією чистою енергією. Сертифікати можна передати, купити, продати або вилучити, але процес транзакції цих сертифікатів є громіздким. Блокчейн можна використовувати для забезпечення автентичності зелених сертифікатів, підвищення прозорості системи та зменшення транзакційних витрат, усуваючи потребу в сторонньому регуляторі для адміністрування схеми.

Шифрування заощадженої енергії та передача її через блокчейн потенційно може зробити ринок відновлюваної енергетики безпечним. Базові дані про енергетичні показники та дані про заощадження є одним із найважливіших активів для ринку енергоефективності, і на них покладаються кілька транзакцій, від банківських платежів до комісій, сплачених енергосервісним компаніям і постачальникам технологій[13]. Захист даних став критичною проблемою в цьому цифровому світі, і блокчейн може надати можливість захистити дані клієнтів, так як він захищений завдяки процесам криптографії. Завдяки функціям смарт-контрактів блокчейн також може зробити процес автоматизованим, а не ручним, що може допомогти підвищити довіру клієнтів до системи.

Дані про використання відновлюваної енергії можуть бути зашифровані та збережені на платформі блокчейн для збалансування рахунків за електроенергію або придбання додаткових енергетичних послуг.

Висновки

У даній статті було наведено основні принципи технології блокчейн, розглянуто можливість її застосування в галузі відновлюваної енергетики та оцінено потенційні переваги та проблеми, пов'язані з її використанням. Для енергетичного сектору технологія блокчейн дасть змогу створити безпечну та надійну платформу цифрових транзакцій, де споживачі зможуть безпосередньо брати участь в роботі, зокрема, енергетичного ринку відновлюваної енергетики. На відміну від традиційної системи енергетичного ринку, ця система забезпечує розподілену, безпечну, автоматизовану, прозору систему торгівлі між різними користувачами за допомогою технології блокчейн. Навколо самої технології все ще існують проблеми, такі як відсутність нормативно-правової відповідності, проблеми глобальної стандартизації та проблеми з довірою та репутацією блокчейну. Тому існує гостра потреба в організації інформаційних та освітніх заходів сектора відновлюваної енергетики, включно з науковими колами, де стартові проекти могли б полегшити перехід від теорії до практики.

Список використаних джерел:

1. Перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року. Звіт за результатами моделювання базового та альтернативних сценаріїв розвитку енергетичного сектору. [Електронний ресурс] URL:https://ua.boell.org/sites/default/files/perehid_ukraini_na_vidnovlyuvanu_energetiku_do_2050_roku.pdf(дата звернення 04.11.2022).
2. Burger, C.; Kuhlmann, A.; Richard, P.; Weinmann, J. Blockchain in the Energy Transition A Survey Among Decision Makers in the German Energy Industry; Deutsche Energie-Agentur GmbH German Energy Agency: Berlin, Germany, 2016
3. Міненерго зацікавлене у модернізації електроенергетики України на базі технологій / Міністерство енергетики України : офіц. сайт. 2021. http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245511023(дата звернення 05.11.2022).
4. IRENA. Blockchain Innovaton Landscape Brief; International Renewable Energy Agency: Abu Dhabi, UAE, 2019.

5. Mohanty, S.P.; Choppali, U.; Kougiannos, E. Everything you wanted to know about smart cities: The Internet of things is the backbone. *IEEE Consum. Electron. Mag.* **2016**, *5*, 60–70
6. Офіційний сайт Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України. Енергія Сонця [Електронний ресурс] URL: <http://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy> (дата звернення 04.11.2022).
7. Enerchain. First European Energy Trade Over The Blockchain. 4 November 2016. Available online: <https://enerchain.ponton.de/index.php/11-first-european-energy-trade-over-the-blockchain> (дата звернення 05.11.2022).
8. Andoni, M.; Robu, V.; Flynn, D.; Abram, S.; Geach, D.; Jenkins, D.; McCallum, P.; Peacock, A. Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2019, *100*, 143–174
9. Engerati Network. Scaling up Blockchain for Peer-to-Peer Energy Trading. 6 February 2019. Available online: <https://www.engerati.com/smart-infrastructure/scaling-up-blockchain-for-peer-to-peer-energy-trading/> (дата звернення 05.11.2022).
10. Штучний інтелект для ДТЕК Енерго / ДТЕК. URL: <https://dtek.com/media-center/news/iskusstvennyu-intellekt-dlya-dtek-energo/> (дата звернення 05.11.2022).
11. Відновлювані Джерела Енергії в Україні [Електронний ресурс]. https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ua/pdf/2019/09/Renewables-%20Report_2019-ua.pdf (дата звернення 05.11.2022).
12. T'Serclaes, P. Blockchain Could Be the Missing Link in the Renewable Energy Revolution. World Economic Forum. 21 September 2017. Available online: <https://www.weforum.org/agenda/2017/09/blockchain-energy-efficiency-finance/> (дата звернення 05.10.2022).
13. Investing News. Блокчейн сприяє енергетичному переходу, Електронний доступ: https://enkorr.ua/uk/publications/blokcheyn_sposobstvuuet_energeticheskomu_perehodu/249459 (дата звернення 05.11.2022).

O. Kudinova¹, student
¹**National Technical University of Ukraine
 “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”**

APPLICATION OF BLOCKCHAIN SMART-CONTRACT TECHNOLOGY TO THE RENEWABLE ENERGY MARKET

Energy systems are moving to a decentralized and decarbonized paradigm with integrated distributed renewable energy sources. Blockchain smart contracts have a growing potential to facilitate the transition to energy systems due to the nature of automation, standardization, and self-sufficiency. The purpose of this paper is to application of the concept of smart contracts of the blockchain and their integration with renewable energy systems to eliminate the problem that is reflected in the process of managing the energy network and thus stimulate the development of renewable energy.

Keywords: *renewable energy, smart contracts, blockchain, transparency, digital transition, consumers.*

References

9. Transition of Ukraine to renewable energy by 2050. Report on the results of modeling of the basic and alternative scenarios of the development of the energy sector. [Electronic resource] URL: https://ua.boell.org/sites/default/files/perehid_ukraini_na_vidnovlyuvanu_energetiku_do_2050_roku.pdf (access date 04.11.2022).
10. Burger, C.; Kuhlmann, A.; Richard, P.; Weinmann, J. Blockchain in the Energy Transition A Survey Among Decision Makers in the German Energy Industry; Deutsche Energie-Agentur GmbH German Energy Agency: Berlin, Germany, 2016
11. The Ministry of Energy is interested in the modernization of the electric power industry of Ukraine on the basis of technologies / Ministry of Energy of Ukraine: officer. site 2021. http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245511023 (access date 11/05/2022).
12. IRENA. Blockchain Innovation Landscape Brief; International Renewable Energy Agency: Abu Dhabi, UAE, 2019.

13. Mohanty, S.P.; Choppali, U.; Kougianos, E. Everything you wanted to know about smart cities: The Internet of things is the backbone. *IEEE Consum. Electron. Mag.* 2016,5,60–70
14. Official website of the State Agency for Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine. Energy of the Sun [Electronic resource] URL: <http://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy> (access date 04.11.2022).
15. Enerchain. First European Energy Trade Over The Blockchain. 4 November 2016. Available online: <https://enerchain.ponton.de/index.php/11-first-european-energy-trade-over-the-blockchain> (access date 05.11.2022).
16. Andoni, M.; Robu, V.; Flynn, D.; Abram, S.; Geach, D.; Jenkins, D.; McCallum, P.; Peacock, A. Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2019, 100, 143–174
17. Engerati Network. Scaling up Blockchain for Peer-to-Peer Energy Trading. 6 February 2019. Available online: <https://www.engerati.com/smart-infrastructure/scaling-up-blockchain-for-peer-to-peer-energy-trading/> (date of access 05.11.2022).
18. Artificial intelligence for DTEK Energo / DTEK. URL: <https://dtek.com/media-center/news/iskusstvennyy-intellekt-dlya-dtek-energo/> (access date 11/05/2022).
19. Renewable Energy Sources in Ukraine [Electronic resource]. https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ua/pdf/2019/09/Renewables-%20Report_2019-ua.pdf (access date 11/05/2022).
20. T'Serclaes, P. Blockchain Could Be the Missing Link in the Renewable Energy Revolution. World Economic Forum. 21 September 2017. Available online: <https://www.weforum.org/agenda/2017/09/blockchain-energy-efficiency-finance/> (access date 05.10.2022).
21. Investing News. Blockchain promotes the energy transition, Electronic access: https://enkorr.ua/uk/publications/blokcheyn_sposobstvuet_energeticheskomu_perehodu/249459 (access date 05.11.2022).

СТАН ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ

Анотація. У роботі наведено короткий огляд систем накопичення енергії (СНЕ), які знаходяться на різних етапах розробки та впровадження. Проведено аналіз технічних вимог до СНЕ, які впливають на режими роботи системи передачі. Узагальнено інформацію щодо різних технологій акумулювання енергії. На основі проведеного аналізу сформульовано рекомендації відносно ефективного застосування окремих видів накопичувачів в електроенергетиці.

Ключові слова: система накопичення енергії, технічні вимоги, накопичувач, встановлена потужність.

Вступ. Застосування систем накопичення електричної енергії створює нові можливості для підвищення якості керування електричними режимами і покращення функціонування електроенергетичних систем. На сьогодні все більше застосовуються нові типи накопичувачів енергії, які мають свої персональні набори характеристик і можуть застосовуватися в тих чи інших випадках де відповідний набір характеристик найбільш підходить для вирішення поставлених задач.

Відповідно до своїх технічних можливостей і місць підключення сформовані основні моделі застосування СНЕ в енергосистемі. Але використання СНЕ потребує відповідної підтримки на законодавчому рівні, особливо в умовах дії ринкових відносин в електроенергетичній галузі. За останні роки в нашій державі було прийнято ряд законодавчих ініціатив щодо вирішення проблеми належного фінансування проектів з СНЕ.[1]

Мета та завдання. Дослідити сучасний стан впровадження технологій зі зберігання енергії та проаналізувати нормативно правове забезпечення в Україні та світі, що регулює діяльність систем накопичення енергії.

Матеріал і результати досліджень.

Згідно даних, сьомого видання European Market Monitor on Energy Storage (EMMES), попит на сховища в Європі, останнім часом був більшим, ніж будь-коли: **близько 4,5 ГВт нових установок у 2022 році** та ще більш позитивний прогноз на **більш ніж 6 ГВт у 2023 році**.

Загальноєвропейська енергетична криза, підтримка національного уряду, зростаючий напрям розвитку проекту Front of the Meter і загальний **позитивний напрям політики на майбутнє на рівні ЄС прискорюють процеси впровадження технологій зберігання енергії.** [2]

Лідерами на світовому ринку систем накопичення виступають, Корея, Китай, США та Німеччина. Понад 60% встановленої потужності СНЕ у 2019 році. У 2021 році по всьому світу було встановлено близько 10 ГВт (22 ГВт-год) нових систем накопичення енергії, серед яких були технології літій-іонних батарей.[3]

Як показав аналіз сучасного стану впровадження технологій зі зберігання енергії, домінуючими на сьогодні є технології накопичувачів на основі літій-іонних акумуляторів.

Можна виділити наступні типи технологій які користуються популярністю:

- LFP (Літій-залізо-фосфатний) – для накопичувачів, які не вимагають видачі великої потужності в короткий проміжок (з видачею повної потужності не менше ніж за 1 годину);
- LTO (Літій-титан) – для видачі потужності на невеликих інтервалах.

NMC (Літій-нікель-марганець-кобальт-оксидний) є досить дорогим рішенням і не має явних переваг у енергетиці ні перед відносно дешевим LFP, ні перед значно дорожчими, але які мають більш унікальні властивості, LTO.

Тому на практиці, найкращим рішенням буде використовувати або одне з рішень або комбінацію (гібрид).

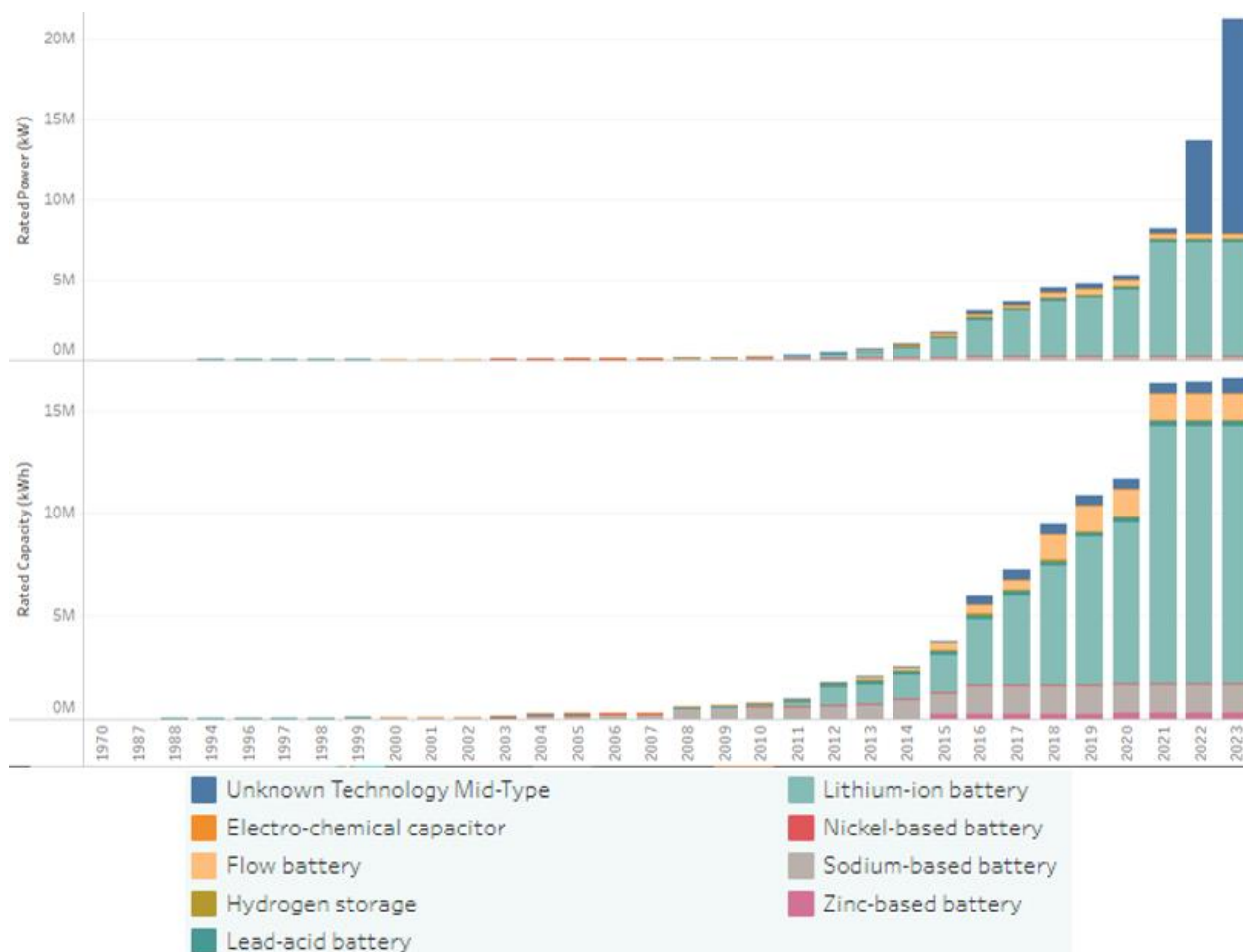


Рис. 1 – Загальна сумарна потужність СНЕ у світі за роками [4]

Враховуючи активний розвиток та впровадження технологій накопичення енергії, це потребує напрацювання нормативної бази, яка сформує правила інтеграції даних систем в енергетичні системи і забезпечить позитивний клімат для інвесторів.

Основні положення документів, наведених в таблиці 1, ставлять перед собою мету підвищення ефективності та надійності енергосистем, зменшення навантаження на електромережі, а також зменшення екологічного впливу.

Основні вимоги до систем накопичення енергії, які встановлюються нормативно-правовими актами та директивами, можна узагальнити наступним чином:

- Наявність механізмів балансування мережі, що дозволяє підтримувати стабільність роботи енергосистеми.
- Забезпечення стабільності роботи енергосистеми в умовах збільшення обсягів відновлюваної енергії.
- Забезпечення можливості регулювання потужності, що передається до мережі, залежно від потреб споживачів та стану енергосистеми.
- Мінімізація втрат енергії при зберіганні та перетворенні її з однієї форми в іншу.
- Надійність та безпека систем накопичення енергії.
- Зменшення викидів парникових газів та інших шкідливих речовин у процесі генерації та використання електроенергії.

В українському законодавстві основним документом, який направлений на врегулювання особливостей та функціонування СНЕ є постанова НКРЕКП, від 16 вересня 2021 року № 1546 «Про затвердження Змін до Кодексу системи передачі». В даному документі класифікують СНЕ за чотирма категоріями відповідно до рівня напруги їхньої точки приєднання та їхньої максимальної потужності відпуску, а саме:

- **тип А1** - точка приєднання з напругою нижче 110 кВ і $P_{\max.вп.}$ до 0,1 МВт включно;
- **тип А2** - точка приєднання з напругою нижче 110 кВ і $P_{\max.вп.}$ до 1 МВт включно, крім тих, що відносяться до класу А1;
- **тип В** - точка приєднання з напругою нижче 110 кВ і $P_{\max.вп.}$ від 1 МВт до 20 МВт включно;
- **тип С** - точка приєднання з напругою нижче 110 кВ і $P_{\max.вп.}$ від 20 МВт до 75 МВт включно;

• **тип D** - точка приєднання з напругою 110 кВ або вище. СНЕ також належить до типу D, якщо її $P_{\max, \text{вп.}}$ становить вище 75 МВт.

Також визначаються технічні вимоги до СНЕ, які впливають на режими роботи системи передачі:

- технічні вимоги щодо стабільності частоти;
- технічні вимоги щодо надійності СНЕ;
- технічні вимоги щодо стабільності напруги;
- технічні вимоги щодо управління системою передачі;
- технічні вимоги щодо відновлення системи передачі.

Таблиця 1. Аналіз нормативно правової бузи, що регулює діяльність систем накопичення енергії.

| Нормативно - правові документи | Вміст |
|---|---|
| Директива ЄС 2019/944 про спільні правила внутрішнього ринку електроенергії, від 5 червня 2019 року. | Викладені вимоги до систем накопичення енергії в контексті забезпечення стабільності електричних мереж та забезпечення максимальної ефективності використання відновлювальних джерел енергії. |
| Регуляція ЄС 2019/943 про створення внутрішнього ринку електроенергії, від 5 червня 2019 року. | |
| Закон про зміни до законодавства США про енергетику (Energy Act of 2020), прийнятий у грудні 2020 року. | Містить вимогу до розвитку нових технологій зберігання енергії, включаючи системи накопичення, які можуть зменшити використання вугілля та інших шкідливих для навколишнього середовища джерел енергії. |
| Директива ЄС 2018/2001 про споживачів електроенергії, від 11 грудня 2018 року. | Наведені вимоги до систем накопичення енергії пов'язані з підтримкою розвитку "активних споживачів" електроенергії, які можуть забезпечити гнучкість та резерви у роботі енергетичних систем, включаючи системи накопичення. |
| Закон про відновлювану енергетику в Китаї (Renewable Energy Law of the People's Republic of China), прийнятий у травні 2021 року. | Визначає регулювання технічного з'єднання відновлюваних джерел енергії до мережі та сприяє розвитку систем накопичення енергії для забезпечення стабільності електромережі. |
| Закон про розвиток відновлюваної енергетики в Індії (The Electricity (Amendment) Bill, 2021), прийнятий у березні 2021 року. | Передбачає сприяння використанню систем накопичення енергії для забезпечення стабільної роботи електричних мереж та підвищення ефективності відновлюваної енергетики. Закон також надає правову базу для розвитку електромобільності та інших технологій, які можуть використовувати системи накопичення енергії. |

Висновки

Встановлено, що впровадження систем накопичення енергії дають змогу забезпечити надійну роботу енергосистеми. За їх допомогою відбувається більш легка інтеграція енергооб'єктів «зеленої» генерації в енергосистему та забезпечується надійність виконання планового графіку видачі потужності в мережу.

Розробка нормативно-правових актів та інтеграція європейського законодавства в країні дозволить більш широко використовувати систем накопичення енергії, що збалансує роботу енергосистеми та підвищить стабільність електропостачання для споживачів.

Список використаних джерел:

1. Веремійчук Ю.А., Опришко В.П., Притискач І.В., Ярмолюк О.С. Оптимізація функціонування інтегрованих систем енергозабезпечення споживачів. Київ, Видавничий дім «Кий», 2020. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/36475/1/Monohrafia.pdf>
 2. European Market Monitor on Energy Storage (EMMES 7.0) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ease-storage.eu/publication/emmes-7-0-march-2023/>
 3. Energy Transition Expertise Centre (EnTEC), Study on Energy Storage, 2022 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://data.europa.eu/doi/10.2833/333409>
- DOE Global Energy Storage Database [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sandia.gov/ess-ssl/gesdb/public/index.html>

V. Tsyukh¹, master student
¹National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

STATUS OF ENERGY STORAGE SYSTEMS IMPLEMENTATION

Abstract. *The paper provides a brief overview of energy storage systems (ESS) that are at various stages of development and implementation. An analysis of the technical requirements for ESS was conducted, which affects the operation modes of the transmission system. Information on different energy storage technologies was summarized. Based on the analysis, recommendations were formulated regarding the effective use of specific types of storage devices in the power industry.*

Key words: *energy storage system, technical requirements, accumulator, installed power.*

РОЗУМНІ ЛІЧИЛЬНИКИ І СПОЖИВАЧІ УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ - ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

У цьому дослідженні розглядаються проблеми "розумних" лічильників та управління попитом (DSM) та як це сприймається постачальниками "розумних" мереж. Ми визначили необхідність включення знань про те, як розвивати технологію "розумних" лічильників, а також про те, як підвищити технології розумних лічильників. Збільшити залучення постачальників і споживачів енергії до розробки розумних лічильників. Стаття показує, що існують розриви між політикою, цілями та очікуваннями, з одного боку, та впровадженням і використанням "розумних" лічильників. Існує потреба у подальшому вивченні технології "розумних" лічильників, а також у вивченні досвіду інших країн

Ключові слова: *Управління попитом, "розумний" лічильник, "розумні" мережі, соціально-технічні аспекти.*

Вступ. Значне зростання рівня споживання електричної енергії спричинене рядом факторів. Найбільш вагомими серед них є збільшення чисельності населення у містах та впровадження і використання нових типів обладнання. Це спричинило великі виклики як для енергетичної безпеки, так і для навколишнього середовища. Сьогодні існує потреба у тому, щоб споживачі могли відстежувати своє щоденне, місячне та щорічне використання енергоносіїв та розуміти стандарти споживання для кращої організації власного домогосподарства, досягнення фінансової та енергетичної ефективності.

З удосконаленням технології розумних мереж для кращого постачання електричної енергії, почали широко застосовувати розумний лічильник, що на відміну від типового класичного пристрою обліку енергії, володіє додатковими функціями. До таких функцій можуть належати управління розумним обладнанням, забезпечення двонаправленого зв'язку постачання і споживання електроенергії, що в свою чергу дозволяє інтегрувати користувацькі пристрої у розумну мережу з постачання та обліку споживання електрики.

Розумні лічильники є найбільш фундаментальними компонентами розумних електромереж. Крім того, лічильники, які використовуються з системою управління можуть бути застосовані для моніторингу та управління побутовою технікою та іншими пристроями відповідно до потреб користувачів. При цьому технічні рішення, що організації та інтеграції «розумних лічильників» у єдину систему повинно забезпечувати ефективність та економічний ефект як для надавачів послуг, так і для кінцевих споживачів.

Досягнення більш сталого та екологічного майбутнього є головною проблемою сьогодні в суспільстві в цілому та в кількох предметних сферах[1]. Дослідження інформаційних систем (ISR) не є винятком, де напрямок зеленої енергетики стоїть на порядку денному вже кілька років. Сьогодні IT-артефакти стають усе більш інтегрованими та вбудованими в різні інфраструктури. У цій статті ми зосереджуємося на розумних мережах, де так звані розумні лічильники (електроенергії) з вбудованими IT і, наприклад, користувацькі інтерфейси впроваджуються з метою інформування клієнтів (користувачів енергії), а також для участі в управлінні попитом на інтелектуальні мережі з метою досягнення більш стійких енергетичних систем, включаючи розумні мережі.

Управління попитом (DSM), управління енергією або реагування на попит (DR) як частина стійких енергетичних систем є складним і проблематичним питанням. Електроенергетичні системи історично являли собою інфраструктуру, більш-менш односпрямовану та орієнтовану зверху вниз, що складається з обмеженої кількості великих електростанцій, які живляться в мережу з основною метою підтримувати попит і постачання збалансованими. Вони стверджують, що дотримання цього балансу є вирішальним аспектом у роботі системи. Збереження цього балансу – це те, що означає DSM. DSM [2] - планування, реалізацію та моніторинг діяльності, спрямованої на вплив споживачів на використання електроенергії, що призводить до бажаних змін у формі навантаження комунального підприємства. Це включає в себе такі види діяльності, як управління навантаженням, нові способи

використання, стратегічне збереження, електрифікація, створення клієнтів і коригування частки ринку. Геллінгс (1985) також зазначив, що для досягнення успіху існує критична потреба у покращенні комунікації між постачальником комунальних послуг та їхніх клієнтів, у якому вони надають клієнтам більше інформації. Саме тут сьогодні додаються розумні та цифрові (IT) послуги. Проте з 1985 року потреба в інформації для реагування на попит значно змінилася і стала ще більш пошуканою. Принаймні в результаті мікрровиробництва, оскільки мережа має бути інтегрована з розподіленим виробництвом електроенергії. Це означає, що інформація повинна надаватися як виробникам, так і користувачам енергії, якщо «енергетична сторона» може зробити внесок у сталість. Наприклад, енергоспоживач потребує покращеного контролю над своїм споживанням енергії, щоб мати можливість зменшити споживання, і в той же час виробник енергії повинен мати інформацію як про виробництво, так і про використання, щоб мати можливість збалансувати попит і пропозиції [3].

Коли IT-пристрої інтегруються в мережі, вони стають розумними мережами[4], який визначає інтелектуальні мережі як «спеціалізовані інформаційні мережі, які забезпечують обмін інформацією між пристроями, програмами, споживачами та операторами мереж». Однак інтеграція IT-артефактів, згідно з Гулденом [5] недостатньо для досягнення розумних мереж, вони стверджують, що існує потреба в зміні серед споживачів енергії (сторона попиту). Це пов'язує інтелектуальні мережі з інтелектуальними лічильниками та DSM, і робить цю сферу важливою для вивчення в ISR, з інтересом до вивчення та розуміння користувачів. Це також узгоджується [6], що розумні електромережі є одним із підходів до вирішення проблем, пов'язаних із DSM.

Розумна мережа повинна мати можливість вирішувати проблеми контролю постачання енергії з боку попиту, споживачі повинні стати розумними споживачами енергії[7]. Важливою частиною розумного користувача є, наприклад, розуміння моделей споживання та вміння вимірювати споживання електроенергії в домогосподарстві за допомогою розумного лічильника. Розумні лічильники, згідно є [8] цифровими лічильниками електроенергії, які забезпечують двонаправлений (або двосторонній) зв'язок між лічильником (встановленим у будинку) та постачальником енергії за допомогою інтелектуальної технології вимірювання».

Важливим питанням, пов'язаним з розумними лічильниками, є те, що постачальники електроенергії, як частина "розумної" мережі, думають і сприймають як результат впровадження розумних лічильників. Технології розумних лічильників є недостатньо дослідженою темою, стверджують, що необхідні подальші дослідження[9]. Як зазначалося вище, вона є актуальною для дослідників, оскільки включає цифрове представлення (смарт-технології), інфраструктуру та послуги, користувачів, аспекти попиту та пропозиції. У цьому звіті про результати дослідження ми висвітлюємо точку зору постачальників на впровадження "розумних" лічильників. Ми досліджуємо, як це сприймається з боку енергопостачальників, і що вони вважають вирішальним у функціональності розумних лічильників, якщо вони впливають на DSM в короткостроковій перспективі і на досягнення стійкості енергетичних систем в довгостроковій перспективі. Це означає, що в цій роботі розглядаються наступні питання [10]. Як енергопостачальник сприймає вплив інтелектуальних лічильників на проблеми управління попитом в інтелектуальних мережах. Що необхідно для розвитку контексту навколо інтелектуальних лічильників, щоб досягти цілей технологій інтелектуальних лічильників?

"Розумність" "розумних" мереж та "розумних" лічильників

Розумність розумних пристроїв визначається [11] як спроектований об'єкт, який виконує та контролює функції з метою отримання корисних результатів за допомогою діяльності на основі інформації, яка може бути або не може бути визначена його розробниками описують, що в "розумній" електроенергетичній системі (smart grid) споживачі є невід'ємною частиною і створюють інтелектуальну мережу, що дозволяє користувачам електроенергії робити новий вибір завдяки новим технологіям, новій інформації про споживання електроенергії та новим способам ціноутворення на електроенергію. Це збігається з думкою [12], які стверджують, що "розумні" мережі разом із "розумними" лічильниками є частиною інтелектуальної енергетичної мережі (IEN), що полегшує управління балансом потужності та РДН за рахунок інтеграції можливостей зв'язку та управління. Це пов'язано з дискусією навколо

Це пов'язано з дискусією навколо програм реагування на попит, які визначає як програми, що змінюють звичайну структуру споживання у відповідь на зміну ціни на електроенергію або на стимули, покликани спонукати до зниження споживання електроенергії, коли в цьому є потреба. Однак основна проблема полягає в тому, як оптимізувати попит на електроенергію в енергосистемі, особливо

в пікові періоди, контролюючи стабільність енергосистеми, що спрямовує до "розумних" лічильників як інтерфейсу між попитом і пропозицією [13]. Це відповідає тому, що коли стверджують, що нові знання про "розумні" лічильники як проривну технологію необхідні, коли вони впроваджуються в умовах регульованої монополії.

Технології розумних лічильників можна описати як інтерфейс між постачальником енергії та споживачами енергії, і для повної реалізації переваг дуже важливо, щоб технологія була прийнята споживачем енергії [14] продовжують, стверджуючи, що вся ідея "розумних" мереж полягає в тому, що технологія повинна бути здатна більш ефективно управляти постачанням і споживанням електроенергії шляхом інтеграції зусиль з комунікації з зусиллями з управління. Це вважається проблематичним, оскільки системи енергопостачання з самого початку були реалізовані як системи, що генерують і розподіляють електроенергію без будь-якої участі або залучення користувачів. За 100 років не відбулося жодних змін у базовій структурі електроенергетичної мережі, і досвід показав, що ієрархічна, централізовано керована мережа погано відповідає потребам сьогодення. "Розумна мережа" - це сучасна інфраструктура електромереж, яка підвищує ефективність, надійність і безпеку, одночасно інтегруючи відновлювані та альтернативні джерела енергії. [15]. Що серед методів управління енергією, що означає оптимізацію енергетичної системи, існує великий досвід оптимізації виробництва і розподілу енергії. Вони також зазначають, що уваги потребує сторона попиту та РС. РС - це комплекс заходів для покращення енергетичної системи на стороні споживання, починаючи від підвищення енергоефективності за рахунок використання кращих матеріалів, "розумних" тарифів на електроенергію зі стимулами для певних моделей споживання і закінчуючи складним контролем розподілених енергоресурсів у реальному часі.

Все це призводить до того, що надійна інформація в режимі реального часу стає ключовим фактором для надійного постачання електроенергії від генеруючих установок до кінцевих споживачів у "розумній" мережі. Однак, також підкреслюється, що інформаційно-комунікаційні технології у вигляді "розумних" лічильників, які забезпечують двосторонній зв'язок, мають вирішальне значення. Існує два типи інформаційної інфраструктури, необхідної для потоку інформації в системі інтелектуальних мереж: по-перше, потік інформації від датчиків та електричних приладів до інтелектуальних лічильників, по-друге, потік інформації від інтелектуальних лічильників до центрів обробки даних комунальних підприємств. З цього можна сказати, що інтелектуальний лічильник відіграє дуже важливу і вирішальну роль у розвитку інтелектуальної мережі. Це означає, що дуже важливо визначити і описати, що це за технологія - "розумний лічильник".

"Розумний" лічильник є одним з найбільш важливих пристроїв, що використовуються в "розумних" мережах. Розумний лічильник як вдосконалений лічильник енергії, який отримує інформацію від пристроїв навантаження кінцевих споживачів і вимірює споживання енергії споживачами, а потім надає додаткову інформацію комунальному підприємству та/або системному оператору. Вся ідея "розумних" лічильників полягає в тому, що ці пристрої мають бути встановлені в домогосподарствах і надавати більш досконалий спосіб вимірювання споживання енергії порівняно зі звичайними лічильниками. Вони повинні реєструвати моделі споживання, а потім впливати на поведінку, як інструмент підштовхування, використовуючи механізми зворотного зв'язку, щоб споживачі енергії навчилися пов'язувати свої дії з кінцевим споживанням енергії та, в ідеалі, виробили звичку, яка призводить до меншого споживання енергії.

Споживачі можуть оцінювати рахунки і таким чином керувати своїм енергоспоживанням, щоб зменшити свої рахунки за електроенергію. Комунальних підприємства можуть використовувати "розумні" лічильники для впровадження ціноутворення в режимі реального часу, і таким чином обмежувати максимальне споживання електроенергії та намагатися заохочувати користувачів зменшувати свій попит в періоди пікового навантаження.

Не існує чіткого втручання для отримання найкращого впливу на енергозбереження і, таким чином, зменшення впливу на навколишнє середовище. Натомість надання більшої кількості інформації, як правило, призводить до підвищення рівня знань, але не обов'язково до змін у поведінці чи економії енергії. Надання винагород призводило до досить короткочасних ефектів. Надання зворотного зв'язку має певні переваги, особливо якщо його надавати часто. Втручання, яке забезпечують "розумні" лічильники, полягає у зворотному зв'язку щодо використання енергії. Зворотній зв'язок часто пропонується, як рішення для сприяння енергозбереженню

Деякі проблеми з розумними лічильниками залишаються, а саме: по-перше, як отримати значну кількість цих пристроїв в будинках людей, по-друге, як регулярно привертати увагу до цих пристроїв, і як змусити користувачів належним чином реагувати на зворотній зв'язок.

Одним із рішень може бути збільшення вартості енергії і таким чином мотивувати увагу та реакцію на зворотній зв'язок щодо споживання, однак, зазвичай таке збільшення відбувається поступово і, таким чином, є малопомітним. Можна сказати, що динамічні ціни мають важливе значення для заохочення споживачів та постачальників послуг на стороні попиту до скорочення споживання в періоди пікового попиту. Однак в електроенергетичному секторі динамічні ціни, традиційно призводять до незначного впливу на обсяги попиту. Можна також сказати, що вплив зворотного зв'язку на енергоспоживання є несуттєвим, оскільки інформаційні стратегії в середньому призводять до короткострокового скорочення споживання лише на 2% [16]. Однак, навіть для того, щоб досягти цього невеликого скорочення, споживач повинен використовувати домашній дисплей (IHD). Це свідчить про те, що просте впровадження "розумного" лічильника насправді нічого не змінює.

Дослідження та емпіричні дані

Емпірична частина цього дослідження ґрунтується на якісному та інтерпретаційному тематичному дослідженні, що складається з двох організацій, які складають вбудовані кейси [17]. Анонімні організації, що беруть участь у дослідженні (під назвами PowerGrid та Постачальник електроенергії), є незалежними організаціями, що належать і контролюються шведським місцевим органом влади (муніципалітетом). PowerGrid відповідає за енергетичну інфраструктуру (мережу) в регіоні муніципалітету і має монополне становище, що регулюється шведськими законами та нормативними актами. Постачальник електроенергії діє на ринку з кількома іншими постачальниками і надає електроенергію та послуги приватним і комерційним суб'єктам, його діяльність регулюється не лише в межах регіону муніципалітету.

Організації, що беруть участь у дослідженні, мають кілька ініціатив у сфері діджиталізації та в контексті "розумного міста". На даний момент один проект пов'язаний з впровадженням нових розумних лічильників. Основною причиною такого впровадження є нові правила щодо того, що лічильник повинен вміти робити, коли мова йде про вимірювання та надання даних про використання енергії.

Емпіричні дані та початкові висновки

Емпіричні дані показують, що зацікавлені сторони на стороні постачання бачать очевидну проблему із зацікавленістю енергоспоживачів у споживанні енергії. Вони сприймають загального споживача енергії як особу, яка більш-менш зовсім не зацікавлена в економії електроенергії і, безумовно, не зацікавлена у вирішенні проблем DSM. У зв'язку з увагою до технології "розумних" лічильників стверджується, що електроенергія є дешевим і низькопроцентним продуктом. Цю думку активно висловлюють респонденти як з енергосистеми, так і з постачальника електроенергії. Вони наполегливо стверджують, що електроенергія є дешевим і низькопроцентним продуктом. Торговий представник постачальника електроенергії розповідає, що є дуже мало клієнтів, які зацікавлені в тому, щоб знати щось про "розумний" лічильник. Він пояснює це наступним чином: "це, ймовірно, зазвичай чоловік у віці від 40 до 50 років, який відчуває, що хоче мати дуже, дуже великий контроль, а також знати, як це працює з електромережею і торгівлею електроенергією, лічильником електроенергії, і хоче знати своє конкретне споживання".

Це питання про споживання пов'язане з тим, що новий інтелектуальний лічильник має USB-порт (порт HAN) як частину вимог до нових лічильників. Один з представників організації PowerGrid стверджує, що в основному є лише дві вимоги до нових інтелектуальних лічильників. "Порт HAN - це вимога до нового лічильника, насправді є дві вимоги. Одна з них полягає в тому, що ви повинні мати можливість швидше знімати показання. Що квартално. в довгостроковій перспективі до хвилинного рівня. І друга - щоб споживач сам міг підключити лічильник електроенергії і отримати різні дані, струми, споживання і все, що завгодно.

Подальший розвиток та використання розумних лічильників

Нові "розумні" лічильники матимуть незначний вплив на вирішення проблем PCM. Аналіз емпіричних даних показує, що існують певні розбіжності між тим, що передбачається при впровадженні та використанні "розумних" лічильників, і тим, що сторона постачання визначає як потенційний результат впровадження нових "розумних" лічильників.

Перша проблема, яку ми дослідили, - це прогалина між національною політикою та практикою впровадження "розумних" лічильників з точки зору політики та осіб, які приймають рішення. У політиці було відносно чітко визначено, що "розумні" лічильники мають бути спрямовані на вирішення проблем, пов'язаних з управлінням попитом на стороні споживача. Ідея полягала в тому, що "розумні" лічильники повинні надавати як споживачам, так і постачальникам дані, які можуть бути використані для надання допомоги постачальникам у гнучкому управлінні попитом. Вже впроваджені лічильники та "нові" лічильники, які зараз впроваджуються, не надають такої інформації ні споживачам, ні постачальникам. Можна зробити висновок, що функціональність "розумних" лічильників потребує подальшого розвитку, якщо ми хочемо реалізувати всю ідею цієї технології.

Наприклад, що "розумні" лічильники в майбутньому повинні мати вбудовану можливість дистанційного відключення та підключення певних навантажень і що вони можуть використовуватися для моніторингу та контролю пристроїв і приладів користувачів для управління попитом і навантаженням в "розумних будівлях"[19]. Це функціональність, яка надходить від постачальника і безпосередньо спрямована на вирішення проблеми управління попитом, і фактично є функціональністю "розумного" лічильника, необхідною для того, щоб розвивати мережу, яка також стає "розумнішою".

Друга проблема - це між правом власності та контролем над "розумним" лічильником як ІТ-приладом. Аналізуючи ситуацію з точки зору різних поглядів, які надають нам енергосистема та постачальник електроенергії. Певною мірою між цими сторонами існує напруга в тому, як вони підходять до самої ідеї розумних лічильників. Енергопостачальна організація повинна переконатися, що інфраструктура працює, і що електроенергія постачається без проблем. Постачальник електроенергії також зацікавлений у тому, щоб інфраструктура працювала, але в той же час він повинен підтримувати споживачів іншими видами послуг, наприклад, допомагати їм у розвитку власного мікро-виробництва. Цікаво відзначити, що жодна з цих двох зацікавлених сторін не зацікавлена в наданні послуг, які могли б допомогти споживачам заощаджувати енергію за рахунок використання потенціалу, який може бути закладений в "розумних" лічильниках. Також фактом є те, що історичне коріння цих організацій і те, як вони зі своєї історії сприймають і описують межі свого бізнесу, дуже сильно впливають на їхнє мислення і дії, пов'язані з розумними лічильниками, в дуже високому ступені. Як енергосистема, так і постачальник електроенергії вважають, що їхній бізнес закінчується на лічильнику, а те, що відбувається в домогосподарстві, не вважається їхнім бізнесом.

Це підводить нас до третьої проблеми - між технологією та використанням. При аналізі даних з точки зору технології, що використовується, вражає те, що енергосистема повинна впроваджувати "розумні" лічильники, але вона не розглядає їх як інструмент, яким можуть користуватися споживачі. Вони знають, що лічильник оснащений USB-портом, який можна використовувати для отримання даних про споживання, але вони не інформують про це споживачів і не вважають це частиною своїх зобов'язань. З цього можна стверджувати, що встановлені технології не пов'язані належним чином зі стороною споживача електроенергії (мережею). Вирішальне питання полягає в тому, яка функціональність необхідна з точки зору енергозбереження. Це також питання, що потрібно в цьому напрямку, якщо "розумний" лічильник повинен або може розглядатися як інструмент, що підштовхує. З точки зору постачальника можна чітко стверджувати, що якщо технологія інтелектуальних лічильників не використовується на стороні споживача, то вона не буде корисною для постачальника, який має справу з проблемами DSM.

Четверта проблема існує між інфраструктурою та послугами. Можна стверджувати, що жодна з організацій не зацікавлена в розвитку послуг на базі інфраструктури, яку вони надають. Як зазначалося вище, вони вважають, що, наприклад, підтримка домашніх дисплеїв (ІНД) з даними виходить за рамки їхнього бізнесу. Важливим питанням, яке необхідно вирішити, є те, що користувачі не дуже розуміють інформацію, яка надається безпосередньо з "розумного" лічильника. Це означає, що інформацію потрібно "перекласти" на щось зрозуміле і водночас цікаве. Якщо цей зворотний зв'язок буде представлений у правильний спосіб, що дозволить їм легше залучитися до енергоефективної поведінки.

Нарешті, здається, що існує проблемна ситуація між досліджуваними організаціями, яка виникає через те, що вони не мають можливості співпрацювати. Це призводить до п'ятої проблеми, яка ґрунтується на тому, що "розумний" лічильник впроваджується і належить енергосистемі. Енергосистема також має "контроль" над даними з лічильника. Така ситуація склалася, незважаючи на те, що дані з лічильника, скоріш за все, стосуються даних про споживання, а отже, мають відношення до постачальника електроенергії.

Висновки

У цій статті представлено початковий аналіз того, як зацікавлені сторони на стороні постачання сприймають роль технології "розумних" лічильників у вирішенні проблем управління попитом (DSM). Показано, що існують значні розбіжності між політикою, цілями та очікуваннями, з одного боку, та впровадженням і використанням "розумних" лічильників, з іншого боку. На основі емпіричних даних ми стверджуємо, що суперечність між амбіціями і практикою навколо технології "розумних" лічильників необхідно враховувати при розробці як функціональності, так і використання технології. На практиці ми бачимо, що зацікавлені сторони на стороні постачання дуже негативно ставляться до того, що лічильники вже застаріли на момент їх впровадження. Розумні лічильники мають можливість вимірювати споживання енергії в реальному часі, але існує кілька невизначеностей, через які лічильники не використовуються в такий спосіб на даний момент. Основною причиною цього є те, що незрозуміло, хто має контроль над даними, а також те, як ці дані повинні або можуть бути використані.

Проблема полягає в тому, як впроваджувати та розвивати технологію "розумних" лічильників та навколишній контекст їх використання, щоб технологія "розумних" лічильників насправді стала "розумним" інструментом також і в DSM, а в довгостроковій перспективі також сприяла розвитку більш "розумного" та сталого суспільства.

Список використаних джерел:

1. Abrahamse, W., Steg, L., Vlek, C. & Rothengatter, T. 2005. A review of intervention studies aimed at household energy conservation. *Journal of Environmental Psychology*, 25, 273-291.
2. Alter, S. 2019. Making sense of smartness in the context of smart devices and smart systems.
3. *Information Systems Frontiers*, 1-13.
4. Alvesson, M. & Sköldböck, K. 2009. *Reflexive methodology: new vistas for qualitative research*, Sage.
5. Avancini, D. B., Rodrigues, J. J. P. C., Martins, S. G. B., Rabêlo, R. A. L., Al-Muhtadi, J. & Solic, P. 2019. Energy meters evolution in smart grids: A review. *Journal of Cleaner Production*, 217, 702-715.
6. Boell, S. K. & Cecez-Kecmanovic, D. 2014. A hermeneutic approach for conducting literature reviews and literature searches. *Communications of the Association for Information Systems*, 34, 12.
7. Buchanan, K., Russo, R. & Anderson, B. 2015. The question of energy reduction: The problem(s) with feedback. *Energy Policy*, 77, 89-96.
8. Corbett, J. 2013. Using information systems to improve energy efficiency: Do smart meters make a difference? *Information Systems Frontiers*, 15, 747-760.
9. Corbett, J., Wardle, K. & Chen, C. 2018. Toward a sustainable modern electricity grid: The effects of smart metering and program investments on demand-side management performance in the US electricity sector 2009-2012. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 65, 252-263.
10. de Souza, R. W. R., Moreira, L. R., Rodrigues, J. J., Moreira, R. R. & de Albuquerque, V. H. C. 2018. Deploying wireless sensor networks-based smart grid for smart meters monitoring and control. *International Journal of Communication Systems*, 31, e3557.
11. Dedrick, J., Venkatesh, M., Stanton, J. M., Zheng, Y. & Ramnarine-Rieks, A. 2015. Adoption of smart grid technologies by electric utilities: factors influencing organizational innovation in a regulated environment. *Electronic Markets*, 25, 17-29.
12. Dupont, B., Meeus, L. & Belmans, R. Measuring the "smartness" of the electricity grid. 2010 7th International Conference on the European Energy Market, 2010. IEEE, 1-6.
13. EC 2012. Making the internal energy market work. Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. Brussels: European Commission.
14. Fan, X., Qiu, B., Liu, Y., Zhu, H. & Han, B. 2017. Energy visualization for smart home. *Energy Procedia*, 105, 2545-2548.
15. Fang, X., Misra, S., Xue, G. & Yang, D. 2011. Smart grid—The new and improved power grid: A survey. *IEEE communications surveys & tutorials*, 14, 944-980.
16. Gao, J., Xiao, Y., Liu, J., Liang, W. & Chen, C. P. 2012. A survey of communication/networking in smart grids. *Future generation computer systems*, 28, 391-404.
17. Geller, E. S. 2002. The challenge of increasing proenvironment behavior. *Handbook of environmental psychology*, 2, 525-540.
18. Gellings, C. W. 1985. The concept of demand-side management for electric utilities. *Proceedings of the IEEE*, 73, 1468-1470.

19. Giest, S. 2020. Do nudgers need budging? A comparative analysis of European smart meter implementation. *Government Information Quarterly*, 37, 101498.

M. Poveda¹, student
O. Kudinova¹, student
¹National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

SMART METERS AND DEMAND-SIDE MANAGEMENT CONSUMERS - CHALLENGES AND PROSPECTS

This study looks at the challenges of smart meters and demand side management (DSM) and how this is perceived by smart grid providers. We have identified the need to include knowledge on how to develop smart meter technology as well as how to upscale smart meter technology. Increase the involvement of energy suppliers and consumers in the development of smart meters. The article shows that there are gaps between policies, goals and expectations on the one hand, and the implementation and use of smart meters on the other. There is a need for further study of smart meter technology, as well as for learning from the experience of other countries.

Keywords: *Demand side management, smart meter, smart grids, socio-technical aspects.*

References

1. Abrahamse, W., Steg, L., Vlek, C. & Rothengatter, T. 2005. A review of intervention studies aimed at household energy conservation. *Journal of Environmental Psychology*, 25, 273-291.
2. Alter, S. 2019. Making sense of smartness in the context of smart devices and smart systems. *Information Systems Frontiers*, 1-13.
3. Alvesson, M. & Sköldböck, K. 2009. *Reflexive methodology: new vistas for qualitative research*, Sage.
4. Avancini, D. B., Rodrigues, J. J. P. C., Martins, S. G. B., Rabêlo, R. A. L., Al-Muhtadi, J. & Solic, P. 2019. Energy meters evolution in smart grids: A review. *Journal of Cleaner Production*, 217, 702-715.
5. Boell, S. K. & Cecez-Kecmanovic, D. 2014. A hermeneutic approach for conducting literature reviews and literature searches. *Communications of the Association for Information Systems*, 34, 12.
6. Buchanan, K., Russo, R. & Anderson, B. 2015. The question of energy reduction: The problem(s) with feedback. *Energy Policy*, 77, 89-96.
7. Corbett, J. 2013. Using information systems to improve energy efficiency: Do smart meters make a difference? *Information Systems Frontiers*, 15, 747-760.
8. Corbett, J., Wardle, K. & Chen, C. 2018. Toward a sustainable modern electricity grid: The effects of smart metering and program investments on demand-side management performance in the US electricity sector 2009-2012. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 65, 252-263.
9. de Souza, R. W. R., Moreira, L. R., Rodrigues, J. J., Moreira, R. R. & de Albuquerque, V. H. C. 2018. Deploying wireless sensor networks-based smart grid for smart meters monitoring and control. *International Journal of Communication Systems*, 31, e3557.
10. Dedrick, J., Venkatesh, M., Stanton, J. M., Zheng, Y. & Ramnarine-Rieks, A. 2015. Adoption of smart grid technologies by electric utilities: factors influencing organizational innovation in a regulated environment. *Electronic Markets*, 25, 17-29.
11. Dupont, B., Meeus, L. & Belmans, R. Measuring the “smartness” of the electricity grid. 2010 7th International Conference on the European Energy Market, 2010. IEEE, 1-6.
12. EC 2012. Making the internal energy market work. Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. Brussels: European Commission.
13. Fan, X., Qiu, B., Liu, Y., Zhu, H. & Han, B. 2017. Energy visualization for smart home. *Energy Procedia*, 105, 2545-2548.
14. Fang, X., Misra, S., Xue, G. & Yang, D. 2011. Smart grid—The new and improved power grid: A survey. *IEEE communications surveys & tutorials*, 14, 944-980.

16. Gao, J., Xiao, Y., Liu, J., Liang, W. & Chen, C. P. 2012. A survey of communication/networking in smart grids. *Future generation computer systems*, 28, 391-404.
17. Geller, E. S. 2002. The challenge of increasing proenvironment behavior. *Handbook of environmental psychology*, 2, 525-540.
18. Gellings, C. W. 1985. The concept of demand-side management for electric utilities. *Proceedings of the IEEE*, 73, 1468-1470.
19. Giest, S. 2020. Do nudgers need budging? A comparative analysis of European smart meter implementation. *Government Information Quarterly*, 37, 101498.

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ENERGYPLUS ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВОЇ ПОВІТРООБМІНУ

Анотація. У даному матеріалі обговорюється важливість енергоефективності в будівлях і те, чому енергетичне моделювання є ключовим інструментом для аналізу енергоспоживання в будівлях. Дослідження зосереджується на аналізі енергетичного моделювання багатоповерхового житлового будинку в Києві, в Україні, з використанням програмного забезпечення EnergyPlus та DesignBuilder.

У дослідженні порівнюються втрати тепла через інфільтрацію, розраховані з використанням середньомісячних температур з кліматології будівлі, з втратами, розрахованими з використанням температур з енергетичної моделі та змодельованих значень інфільтрації. Результати показують, що втрати тепла, розраховані з використанням середньомісячних температур з кліматології будівель, відрізняються, ніж змодельовані значення через нижчі національні стандартні температури. Дослідження підкреслює важливість використання надійних даних для точного аналізу енергоефективності будівель.

Ключові слова: енергоефективність будівель, енергетичне моделювання будівель, EnergyPlus, DesignBuilder, інфільтрація, тепловтрати, кліматологія.

Вступ. Сьогодні все більше та більше уваги приділяється енергоефективності будівель, адже це допомагає зменшити енергоспоживання, знизити викиди в атмосферу та скоротити витрати на енергію. Один з ключових інструментів для аналізу енергоспоживання будівель, який активно використовується у світовій практиці - енергетичне моделювання будівель.

Мета та завдання. Метою дослідження є підвищення рівня ефективності управління використанням енергії на основі деталізації показників врахування складової пов'язаної з природною вентиляцією в будівлях. Завдання: 1) створення математичної моделі репрезентативної квартири в програмному середовищі DesignBuilder; 2) дослідження природної кратності повітрообміну в програмному середовищі DesignBuilder; 3) енергетичне моделювання повітрообміну в репрезентативній квартирі.

У дослідженні зосереджено увагу на аналізі повітрообміну в будівлях з використанням програмного забезпечення EnergyPlus [1] та DesignBuilder [2] для енергетичного моделювання. В якості об'єкту для обрання типова для української урбаністики, багатоповерхова житлова будівля розташована у місті Києві. Дванадцятиповерховий багатоквартирний проект з керамічної цегли 1993 року забудови (рис. 1). Всі результати показані для одного досліджуваного приміщення типової квартири на четвертому поверсі південної орієнтації (рис. 2).



Рисунок 1 – 3D модель досліджуваної будівлі



Рисунок 2 – Типовий план поверху будівлі

Матеріали і результати досліджень. Для оцінки рівня енергетичної ефективності будівель важливим мати математичні моделі, що дозволяють врахувати природну складову повітрообміну. EnergyPlus дозволяє побудувати детальну модель інфільтрації, крім того програма декілька алгоритмів симуляції повітрообміну. В поточній моделі використовується DesignFlowRate – природній рух зовнішнього повітря в будівлю через такі отвори, як двері, вікна та тріщини в будівельних елементах. EnergyPlus використовує базове рівняння для розрахунку інфільтрації, яке враховує такі фактори, як розрахункова швидкість інфільтрації, графік інфільтрації, різниця температур між внутрішнім і зовнішнім середовищем, швидкість вітру та інші змінні. Також EnergyPlus має наступні алгоритми розрахунку інфільтрації: EffectiveLeakageArea, FlowCoefficient і більш складні процеси, які окрім інфільтрації враховують повітрообмін через природну та механічну вентиляцію [3].

Широкого використання в програмному продукті EnergyPlus набула модель EffectiveLeakageArea, яка до нормативного/заданого значення кратності повітрообміну додає надбавку, яка залежить від внутрішніх та зовнішніх умов середовища (для теплого періоду ця розбіжність менша, а холодного періоду більша). Саме тому, за результатами моделювання інфільтрація вище, ніж задана або константа, яка часто використовується у розрахунках за стандартами [4]. Особливо в опалювальний період, коли різниця температур може значно варіюватися (рис. 3).

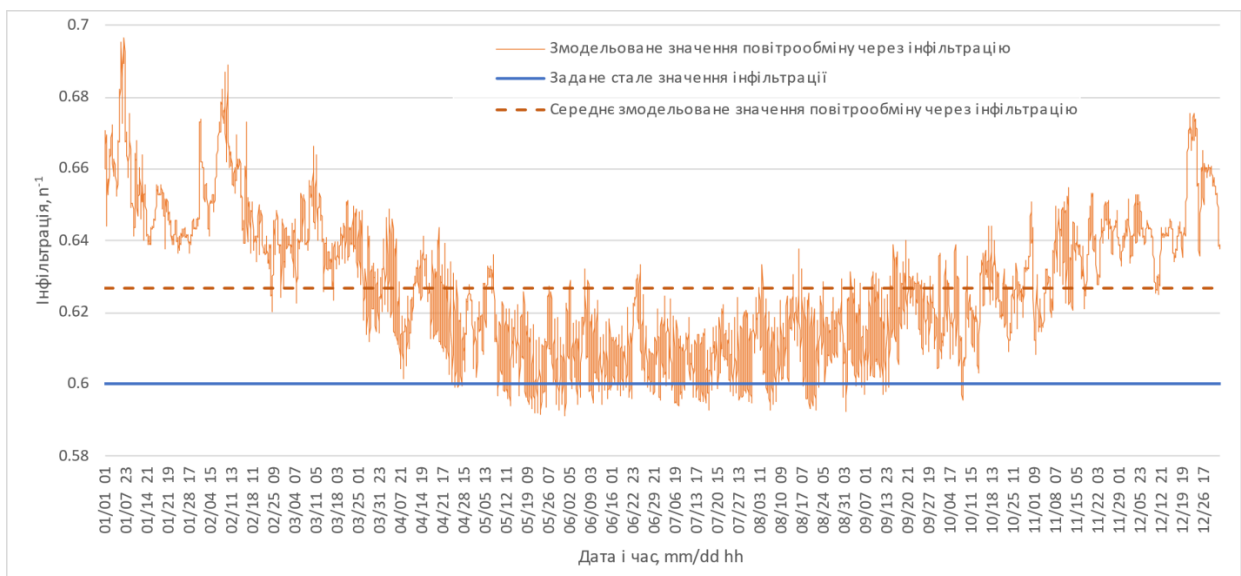


Рисунок 3 – Порівняння заданого і змодельованого значення повітрообміну через інфільтрацію

У цьому дослідженні ми порівняли тепловтрати через інфільтрацію, розраховані за допомогою середньомісячних температур з будівельної кліматології, з тепловтратами, розрахованими за допомогою температур з енергетичної моделі, та змодельованими значеннями інфільтрації (Air Heat Balance Outdoor Air Transfer Rate). Результати показали, що тепловтрати, тенденція тепловтрат протягом року зберігається, але змодельовані дані мають більший розкид, що дозволяє оцінити піки теплопотреб. Також можна відзначити, що середня температура IWEC [5] вища за національний стандарт [6], що обумовлюється різними часовими інтервалами, які були використані для створення кліматичних даних типового року (рис. 4).

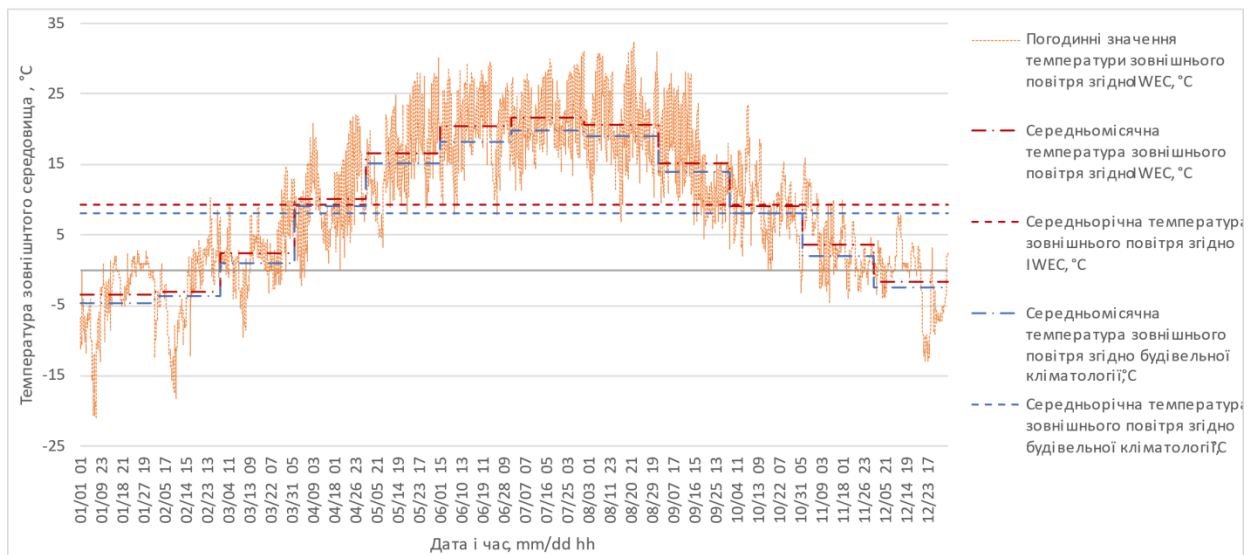


Рисунок 4 – Температура зовнішнього повітря

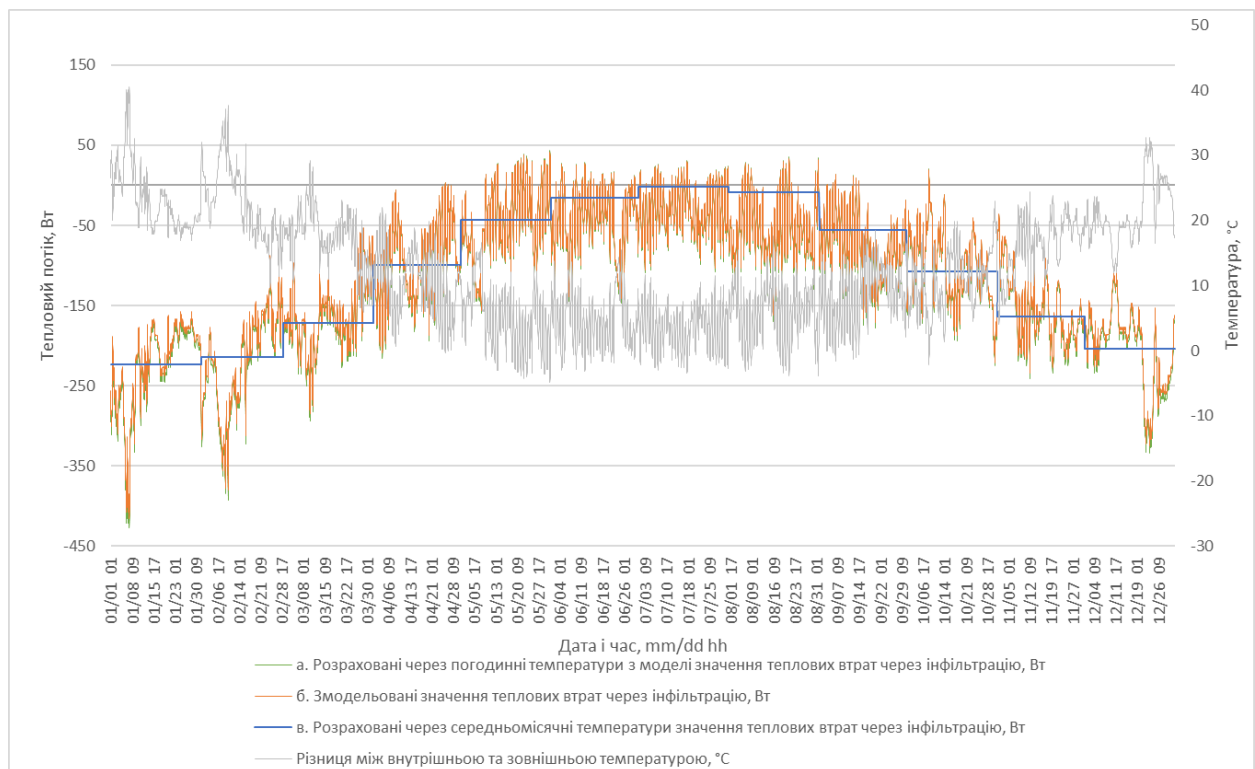


Рисунок 5 – Тепловий потік природної складової повітрообміну

Тепловтрати, розраховані за допомогою температур з енергетичної моделі, дали більш точну оцінку тепловтрат через інфільтрацію в порівнянні зі значеннями, розрахованими за допомогою середньомісячних температур. Ці дані можуть бути корисні для проектування та оцінки енергоефективності будівель, а також для вдосконалення моделей інфільтрації.

Висновки. Дослідження зосереджувалося на аналізі повітрообміну в будівлях з використанням програмного забезпечення EnergyPlus та DesignBuilder на прикладі типової багатопверхової житлової будівлі у місті Києві. В роботі проведено енергетичне моделювання теплових потоків пов'язаних з природною складовою повітрообміну на основі стаціонарних та динамічних методів розрахунку. Встановлено, що врахування теплових потоків пов'язаних з повітрообміном за стандартом ДСТУ 9190:2022 та за підходами динамічної моделі створені в програмному середовищі DesignBuilder мають розбіжність відсотків. Результати енергетичного моделювання в програмному середовищі DesignBuilder дозволяють корегувати величину природного повітрообміну залежно від погодинної зміни внутрішніх та зовнішніх умов середовищ.

Список використаних джерел:

1. EnergyPlus Software – U.S. Department of Energy’s (DOE) – <https://energyplus.net>.
2. DesignBuilder Software – DesignBuilder Software Ltd – <https://designbuilder.co.uk>.
3. Input Output Reference – EnergyPlus™ Version 22.2.0 Documentation – U.S. Department of Energy, September 28, 2022, 2852 pages..
4. ДСТУ 9190:2022 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. – [Чинний від 10.06.2022] – К.: Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості, 2022. – 152 с.
5. Кліматичні дані IWEC для м. Києва – https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR/UKR_Kiev.333450_IWEC.
6. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія». К., 2011. 123с.

M. Gureev¹, Ph. D. student

¹National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

USING ENERGYPLUS SOFTWARE TO DETERMINE WAREHOUSE AIR EXCHANGE

Abstract. *This study discusses the importance of energy efficiency in buildings and why energy modeling is a key tool for analyzing energy consumption in buildings. The study focuses on an energy modeling analysis of a multi-story residential building in Kyiv, Ukraine, using EnergyPlus and DesignBuilder software. The study compares heat losses due to infiltration calculated using average monthly temperatures from the building climatology with losses calculated using temperatures from the energy model and simulated infiltration values. The results show that the heat losses calculated using average monthly temperatures from the building climatology are differ from the modeled values due to lower national standard temperatures. The study emphasizes the importance of using reliable data to accurately analyze the energy efficiency of buildings.*

Keywords: *energy efficiency, energy modeling, EnergyPlus, DesignBuilder, infiltration, heat loss, climatology.*

ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЄКТІВ КОМБІНОВАНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БАГАТОКВАРТИРНОЇ БУДІВЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛООВОГО НАСОСУ ТА ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Анотація: Проведено аналіз трьох варіантів комбінованого енергозабезпечення на потреби гарячого водопостачання та опалення багатоквартирної будівлі з використанням теплового насосу. Виконано порівняльний аналіз економічних та технічних показників. Враховано період стояння температури зовнішнього повітря, фактичне споживання гарячої води споживачами багатоквартирних будівель, зміну COP і визначено необхідні інвестиції та експлуатаційні витрати. При виборі сценарію основним завданням було максимальна завантаженість теплового насосу. Наприкінці статті сформульовано напрямки подальших науково-практичних досліджень в рамках магістерської дисертації.

Ключові слова: будівля, енергоспоживання, тепловий насос, теплопостачання, гаряче водопостачання, енергозбереження.

Вступ. Енергетична залежність України та постійне зростання тарифів на паливо обумовлює актуальність завдання підвищення енергетичної ефективності в комунальному господарстві. Законом України «Про теплопостачання» [1] передбачено використання альтернативних, нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії як пріоритетний напрямок державної політики щодо розвитку систем теплопостачання. Недоліком таких джерел енергії є високі капітальні витрати, тому доцільним є створення комбінованих систем, які включають пікові джерела та базові елементи. Для підтримки таких проєктів в Україні існують державні та міжнародні програми [2], тому сектор житлово-комунального господарства зацікавлений у реалізації подібних заходів.

Проблеми використання теплових насосів для багатоквартирних будівель вивчалися в роботах [3-5]. В [3] сформульовано задачу вибору оптимальної встановленої потужності базового та пікового теплового джерела, в якості критерію оптимізації використано величину сумарних витрат (капітальних та експлуатаційних) за весь період експлуатації обладнання. В [4] розглядалося застосування повітряних теплових насосів для систем гарячого водопостачання (ГВП) при роботі в комплексі з когенераційною установкою. В [5] розроблено оптимізаційну модель тригенерації з використанням теплових насосів в громадській будівлі.

Для житлових багатоквартирних будівель існує можливість утилізації теплоти вентиляційних викидів та використання теплоти для теплових насосів. Зважаючи на достатньо високу вартість інвестиційних витрат на проєкти із тепловими насосами для мешканців будівель постає питання щодо вибору потужності основного обладнання. Таким чином, аналіз технічних та економічних показників при виборі сценаріїв комбінованої роботи теплового насосу та централізованого енергозабезпечення є актуальною задачею на сьогоднішній день.

Мета та завдання. Головною метою цієї роботи є виконання техніко-економічних розрахунків та порівняльний аналіз варіантів забезпечення тепловою енергією житлового багатоквартирного будинку від повітряного теплового насосу в комбінації з централізованим теплопостачанням.

Загальна характеристика об'єкту досліджень

Об'єктом дослідження є багатоквартирний житловий будинок загальною площею 9387,4 м² на 172 квартири у місті Костопіль (рис.1). Розрахункова тепла потужність на опалення – 0,46 Гкал/год. Фактичне річне споживання на потреби опалення – 780 Гкал/рік. Розрахунки споживання гарячого водопостачання проводилися із кількості 430 проживаючих людей в будинку. Зважаючи, що фактичне споживання гарячої води значно нижче проєктних показників, що наведено в ДБН «Внутрішній водопровід і каналізація» [6], під час розрахунків за розрахункову величину витрат води обиралася соціальна норма 1,6 м³/особу, що підтверджується багаторічними спостереженнями за допомогою

автоматизованої системи автомоніторингу енергоресурсів [7], що використовується у житлових будівлях в Україні. Система опалення будинку підключена за незалежною схемою.



Рисунок 1 – Об’єкт дослідження

Підігрів теплоносія для опалення здійснюється в котельній, розташованій за тою ж адресою, що і будинок. Також в котельній наявне обладнання для постачання ГВП по незалежній схемі, що сприятливо для включення теплового насосу в систему підготовки ГВП, проте на даний момент ГВП не надається. Використання теплових насосів є ефективним доповненням для централізованого теплопостачання; його можна застосовувати для опалення, охолодження та ГВП. Як і в багатьох країнах, в нашій державі існують різні джерела фінансової підтримки для встановлення теплових насосів в житловому секторі, що може знизити вартість їх встановлення та зробити їх більш доступними для власників будинків. Теплові насоси мають довгий термін служби і не вимагають частої технічної підтримки або ремонту.

Пропозиції по модернізації теплопостачання

Пропонується встановити тепловий насос (ТН) типу повітря-вода для виробництва теплової енергії. Передбачається використання теплової енергії повітря з вентиляційних шахт будинку в якості джерела тепла для покриття частини енергопотреби ГВП і опалення. Також передбачається відновлення централізованого постачання гарячої води, що доцільно для оптимальної ефективності роботи теплового насосу.

Розглядається три сценарії впровадження теплового насосу для потреб теплопостачання будинку.

Сценарій 1: тепловий насос використовується тільки для підготовки ГВП

Даний сценарій передбачає повне забезпечення потреб гарячого водопостачання енергією, що виробляється ТН влітку і 2/3 забезпечення потреби в енергії на ГВП при піковому водорозборі в опалювальний сезон, температура подавальної води споживачам приймається 55°C. Проблема полягає в тому, що тепла енергія з витяжної вентиляції взимку не повністю покриває енергопотребу ГВП, а COP роботи теплового насосу не буде оптимальним при низьких температурах зовнішнього повітря.

Сценарій 2: тепловий насос використовується для підігріву води для ГВП, а також для підігріву поворотної мережної води системи опалення перед теплообмінником системи опалення будівлі для зменшення витрат на централізоване теплопостачання.

Передбачається встановлення акумуляторного баку, в якому безпосередньо нагрівається холодна вода, що призначена для підготовки ГВП. При цьому пропонується наступна робота обладнання: тепловий насос гріє воду на потреби ГВП в теплоакумуючому баці, і коли температура в ньому досягає температури в зворотному трубопроводі системи опалення +1 градус, робота теплового насосу переключється на підігрів води зворотного трубопроводу системи опалення. Це дозволяє забезпечити оптимальний COP роботи теплового насосу і суттєво знизити використання теплової енергії на опалення в перехідні періоди. Об’єм теплоакумуючого баку розраховується таким чином, щоб в літній і перехідні періоди тепловий насос повністю забезпечував потребу в ГВП.

Сценарій 3: ідентичний сценарію 2, але потужність теплового насосу вибирається таким чином, що його робота повністю забезпечує і проектну потребу в ГВП, і 50% потреби будівлі в опаленні при температурі зовнішнього повітря 0 градусів, період стояння (рис.2) якої за опалювальний період (ОП) є значним [8].

Зважаючи, що після комплексної термомодернізації будівель енергоспоживання на опалення існуючих серійних будівель може зменшитися вдвічі, в майбутньому тепловий насос зможе забезпечувати енергопостачання протягом значного періоду часу в опалювальний сезон, підключення котлів в роботу передбачається лише при настанні температур зовнішнього повітря нижче 0 градусів С.

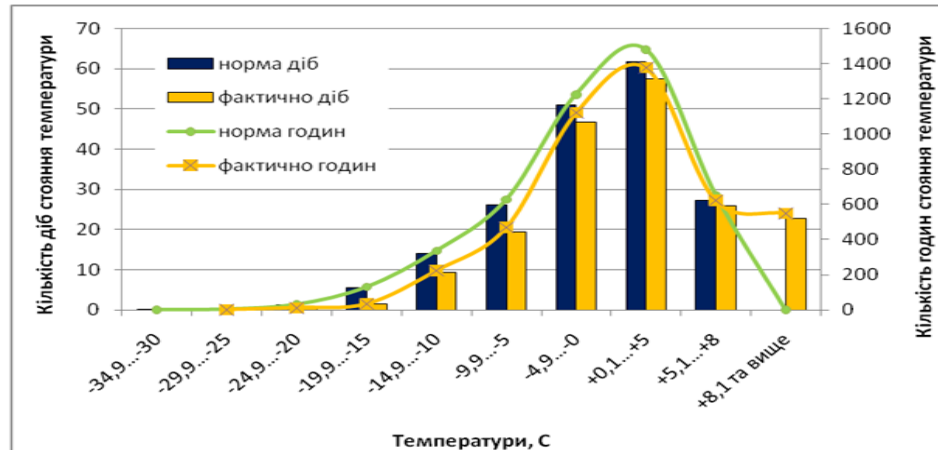


Рисунок 2 – Період стояння нормативних і фактичних температур зовнішнього повітря за ОП

Додаткові технічні вимоги, які потрібно передбачити при проектуванні:

- необхідно прокласти канали, що об'єднують виходи із кожної вентиляційної шахти в будинку в один вентканал, перед виходом з якого й буде встановлено теплообмінник "зовнішнього блоку" теплового насосу та передбачити створення додаткової тяги.

- передбачити можливість забору зовнішнього повітря на теплообмінник, у випадках, коли температура зовнішнього повітря вище, ніж температура в вентканалі.

У випадку проведення комплексної термомодернізації будівлі доцільно модернізувати систему опалення, замінивши чавунні радіатори на сталеві, з розрахунку на покриття потреби на опалення при температурі до 0...-5 градусів з температурою теплоносія 45 градусів, щоб збільшити COP роботи ТН.

Опис результатів досліджень

Приймаємо, що середньодобова температура влітку складатиме 24 °С, а взимку – 18°С, тоді середня кількість тепла, яку можна відбирати з вентиляційного повітря теплообмінником становить 35,1 кВт·год (при температурі повітря на виході 6 °С). В першому сценарії передбачається, що єдиним джерелом тепла для теплового насосу буде тепла енергія з вентиляції, в двох інших – з вентиляції і з зовнішнього повітря.

Передбачається встановлення баків-акумуляторів сумарним об'ємом 10 000 л, вода в яких буде підігріватися тепловим насосом на протязі доби, а при пікових водорозборах ГВП додатково підігріватися мережною водою через існуючий теплообмінник котельної. Даний об'єм баку дозволяє ефективно працювати вночі з використанням електричної енергії за нічним тарифом.

Порівняльні характеристики встановленої теплової потужності: сценарій 1 – 35 кВт, сценарій 2 – 75 кВт, сценарій 3 – 120 кВт. Як правило, виробники теплових насосів зазначають теплову потужність при певних параметрах, так як ця величина є змінною і залежить від співвідношення температури середовища, з якого ТН забирає теплову енергію, і середовища, куди він її віддає. В даному випадку вказана теплова потужність при COP=3,5 і різниці температур – 40 °С. В залежності від моделі теплового насосу, графік залежності COP від температур буде різним, і буде необхідний уточнюючий розрахунок.

Для кожного сценарію були проведені розрахунки покриття потреби будівлі в опаленні та гарячому водопостачанні для усіх запропонованих варіантів, в якості прикладу наведемо результати для сценарію 2 (див.рис.3).

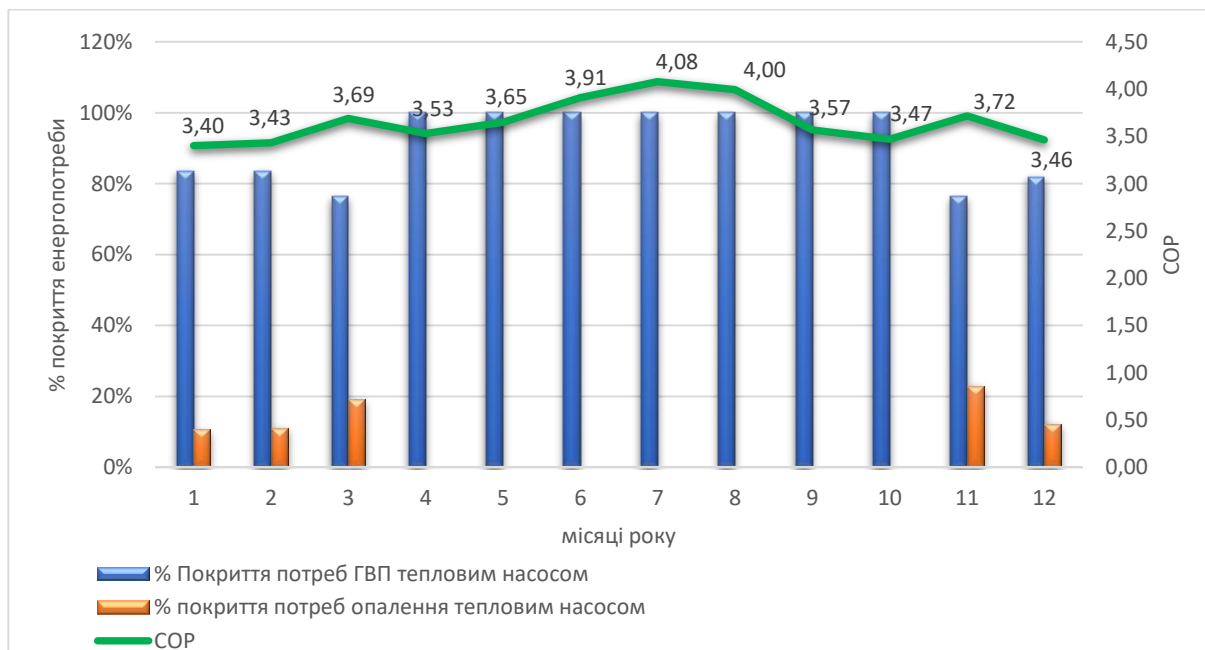


Рисунок 3 – Результати розрахунків покриття потреби в енергії на опалення та гаряче водопостачання за допомогою повітряного теплового насосу (за сценарієм 2)

Були визначені економічні показники за трьома різними варіантами, результати розрахунків наведено у таблиці 1. Інвестиції враховуються: вартість теплового насосу встановленої теплової потужності, вартість додаткового обладнання, необхідного для функціонування системи підігріву ГВП і зворотної мережної води в системі опалення будівлі, вартість проектних та монтажних робіт. Вартість встановленої потужності теплового насосу прийнято 1500 долл/кВт.

Таблиця 1 — Фінансово-економічні показники проєктів модернізації

| Найменування | Сценарій 1 | Сценарій 2 | Сценарій 3 |
|--|------------|------------|------------|
| Інвестиції, грн | 2 400 000 | 4 800 000 | 7 500 000 |
| Річна витрата електричної енергії, кВт·год | 87 600 | 148 291 | 196 134 |
| Річна економія теплової енергії, Гкал | 337 787 | 511 670 | 649 695 |
| Економія коштів, грн/рік | 711 822 | 998 702 | 1 228 121 |
| Проста окупність, років | 3,37 | 4,81 | 6,11 |

В розрахунках прийнято: вартість теплової енергії – 3,43 грн/кВт·год; вартість електричної енергії – 6,12 грн/кВт·год (для категорії «інші споживачі»).

Дані розрахунки потребують уточнень, зокрема: потрібно враховувати зміни погодинних потреб на ГВП з урахуванням пікового водорозбору в вечірні години; варто проаналізувати детальніше технічні характеристики конкретної моделі теплового насосу і уточнити дані щодо теплової енергії, яку можна отримати за рахунок вентиляційного повітря. Також підлягають уточненню експлуатаційні витрати, зокрема додаткові витрати на забезпечення роботи витяжного вентилятора, сумарні інвестиції та ін. характеристики, що буде метою подальших науково-практичних досліджень в рамках магістерської дисертації.

Висновки

Виконано техніко-економічні розрахунки варіантів енергозабезпечення існуючої багатоквартирної будівлі на потреби опалення та гарячого водопостачання за рахунок теплового насосу.

Пропонується до реалізації варіант установки обладнання за сценарієм 2: тепловий насос використовується для підігріву води для гарячого водопостачання, а також для підігріву поворотної мережної води системи опалення перед теплообмінником системи опалення будівлі для зменшення витрат на централізоване тепlopостачання. Для отримання найбільшого ефекту рекомендується

виконати комплексну термомодернізацію будівлі із зниженням теплового навантаження та виконувати комплексний проєкт по підвищенню теплозахисних властивостей зовнішніх огорожень та модернізації інженерних мереж.

Список використаної літератури

1. Закон України «Про теплопостачання» № 2633-IV, ред. від 31.03.2023, 2849-IX. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2633-15#Text>
2. М.М. Шовкалюк. Співпраця України з міжнародними фінансовими організаціями у сфері підвищення енергоефективності ЖКГ // Збірник праць XIV Всеукр. наук.-практ.конф. «Міжнародне науково-технічне співробітництво: принципи, механізми, ефективність» - [Київ, КПІ, 15-16 березня 2018 р.], - с.34-37.
3. Nikitin E. Technical and Economic Efficiency of Air Thermal Pumps with Drive from Gas and Piston Cogeneration Installations of Hot Water Supply Systems / Энерготехнологии и ресурсосбережение, 2011, №4. С.19-24.
4. Никитин Е.Е. Оптимальное распределение установленной мощности в системах отопления с базовым и пиковым источником тепловой энергии / Промислова теплотехніка, 2010, т. 32, №3. с.64-72.
5. A mixed integer programming model for optimal design of trigeneration in a hospital complex. P. Arcuri, G. Florio, P. Fragiaco / Energy 32 (2007). P. 1430–1447.
6. ДБН В.2.5-64:2012 Внутрішній водопровід та каналізація. Частина І. Проектування. Частина ІІ Будівництво – К.:Мінрегіонбуд, 2018. 113 с.
7. Офіційний сайт: Автоматизована система енергомоніторингу. Режим доступу: <https://asem.com.ua/>
8. Шовкалюк М.М., Войналович О.О. Розрахункові параметри зовнішнього повітря для систем теплопостачання / Тези X Всеукр. наук. конф. «Сучасні проблеми екології та геотехнологій» [10-12 квітня 2013 р.] – Житомир: ЖДТУ, 2013, с. 220.

К. Kononenko¹, master student

¹National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

ECONOMIC INDICATORS OF PROJECTS OF COMBINED ENERGY SUPPLY OF AN APARTMENT BUILDING USING A HEAT PUMP AND CENTRALIZED HEAT SUPPLY

Abstract: *An analysis of three options of combined energy supply for the needs of hot water supply and heating of an apartment building with the use of a heat pump was carried out. A comparative analysis of economic and technical indicators was performed. The period of standing of the outside air temperature, the actual consumption of hot water by the consumers of multi-apartment buildings, the change of SOR, and the necessary investments and operating costs are taken into account. When choosing the scenario, the main task was the maximum load of the heat pump. At the end of the article, directions for further scientific and practical research within the framework of the master's thesis are formulated.*

Keywords: *building, energy consumption, heat pump, heat supply, hot water supply, energy saving.*

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ШКОЛИ

Анотація: Ця наукова стаття присвячена дослідженню можливостей підвищення рівня енергоефективності та оцінки енергетичних характеристик спеціалізованої школи. У статті розглянуто проблеми енерговитрат у навчальних закладах та визначено основні напрями зниження енергоспоживання. Досліджено різні енергозберігаючі технології, які можуть бути впроваджені в спеціалізовану школу з метою підвищення її енергоефективності. Автори також провели оцінку енергетичних характеристик спеціалізованої школи, зокрема виміряли енергоспоживання, впровадили систему моніторингу енерговитрат та зібрали інформацію про стан енергозберігаючих систем. Висновки дослідження показали, що впровадження енергозберігаючих технологій може привести до зниження енерговитрат та підвищення рівня енергоефективності навчального закладу.

Ключові слова: енергоефективність, спеціалізована школа, енергетичні характеристики, оцінка, підвищення рівня, енергозбереження.

Вступ. В умовах зростаючих цін на електроенергію та збільшення впливу людської діяльності на довкілля, енергоефективність стає однією з найважливіших проблем, які стоять перед освітніми закладами. Спеціалізовані школи, які мають підвищений рівень вимог до оснащення та комфорту приміщень, потребують ефективної організації енергоспоживання для зменшення витрат на енергію та зниження негативного впливу на довкілля.

Метою цієї статті є визначення енергетичних характеристик спеціалізованої школи та розробка заходів щодо підвищення рівня енергоефективності. Задля досягнення цієї мети було проведено дослідження енергоспоживання та впливу різних факторів на нього, а також розроблено та запроваджено комплекс заходів з підвищення рівня енергоефективності та зниження витрат на енергію в спеціалізованій школі.

У статті проведено аналіз останніх досліджень у цій галузі та виділено невирішені раніше частини загальної проблеми, які стали основою для цього дослідження. Описано матеріал та результати досліджень, які включають аналіз енергоспоживання та його впливу на довкілля, визначення енергетичних характеристик спеціалізованої школи та розробку та запровадження заходів з підвищення енергоефективності. Висновки дослідження та перспективи його подальшого розвитку в цьому напрямку також описано в статті.

Мета та завдання. Метою даної наукової статті є дослідження питання підвищення енергоефективності та оцінки енергетичних характеристик спеціалізованої школи.

Основним завданням є аналіз енергоспоживання школи та визначення можливих шляхів підвищення енергоефективності, а також оцінка отриманих результатів. Крім того, метою є визначення можливих економічних та екологічних переваг від застосування енергоефективних технологій та розробка рекомендацій щодо їх впровадження.

Об'єкт дослідження.

Об'єктом дослідження є спеціалізована школа №64. Адреса будівлі: м. Київ, вул. Ушинського, 32. Будівля навчального закладу має учбове призначення та була збудована в 1973 році. У будівлі розміщені такі приміщення, як навчальні класи, комп'ютерні класи, кухня, столове приміщення, буфет, актовий зал та спортивна зала.

Постійно присутні: учні – 765 осіб; працюючий персонал – 72 особи.

Режим роботи навчального закладу: Навчання починається о 8.00 та закінчується о 15.55. З 16.00 до 21.00 в закладі працюють різного виду гуртки. Також в нічні години, а саме з 21.00 до 8.00, в будівлі знаходяться охоронці.

Матеріал і результати досліджень.

Програмне середовище RETScreen дозволяє провести вичерпний аналіз і визначити технічну і фінансову доцільність потенційних проектів реновації будівель, а також їх енергетичну ефективність;

крім того, з його допомогою можна провести вимірювання і контроль фактичної продуктивності підприємств і визначити можливості економії / виробництва енергії.

Аналіз теплотехнічного стану будівлі в RETScreen є досить зручним та точним. 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 ЗЕЗ. До недоліків цього продукту відноситься система вводу характеристик огорожувальних конструкцій – необхідно вручну вираховувати значення приведенного коефіцієнту опору теплопередачі в тих випадках, коли є неоднорідність ОК на ділянці, що розглядається. Були запропоновані такі ЗЕЗ, як: заміна вікон, утеплення зовнішніх стін, модернізація теплового пункту та заміна електричного обладнання на більш нове та енергоефективне. Загальний термін окупності запропонованих ЗЕЗ становить приблизно 33,1 роки (не враховуючи ставку інфляції), що є привабливим для інвесторів. Економія при сплаті за спожиті енергетичні ресурси становитиме приблизно 1,75 тис. євро.

| Показати: | Опалення | Охолодження | Електроенергія | Додаткові капітальні затрати \$ | Економія витрат на паливо \$ | Додаткова економія на експлуатації \$ | Простий строк окупності рік | Включити вимірювання? |
|---|--------------|-------------|----------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Зекономлене паливо | ГДж | ГДж | ГДж | | | | | <input type="checkbox"/> |
| Опалювальна система | 1 134 | - | - | 120 000 | 14 810 | 0 | 8,1 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Система охолодження | | | | | | | | |
| Оболонка будівлі | 1 602 | 0 | - | 680 470 | 20 911 | 0 | 32,5 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Вентиляція | 92 | 0 | - | 87 000 | 1 203 | 0 | 72,3 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Освітлення | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | - | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Електрообладнання | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | - | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Гаряча вода | | | | | | | | |
| Насоси | | | | | | | | |
| Вент. | | | | | | | | |
| ЕД | | | | | | | | |
| Технологічна електроенергія | | | | | | | | |
| Технологічне тепло | | | | | | | | |
| Технологічна пара | | | | | | | | |
| Втрати пари | | | | | | | | |
| Рекуперація тепла | | | | | | | | |
| Зтисне повітря | | | | | | | | |
| Охолодження | | | | | | | | |
| Інше | | | | | | | | |
| Разом | 2 828 | 0 | 0 | 887 470 | 36 923 | 0 | 24,04 | |

Рисунок 1 – Характеристики об'єкту

| Вид палива | Паливо | | Базовий випадок | | Запропонований випадок | | Економія витрат на паливо | |
|----------------|-----------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|------------------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|
| | Споживання палива - одиниці | Вартість палива | Споживання палива | Вартість палива | Споживання палива | Вартість палива | Зекономлене паливо | Економія витрат на паливо |
| Електроенергія | МВт-год | \$ 150,000 | 140,5 | \$ 21 080 | 140,5 | \$ 21 080 | 0,0 | \$ - |
| Природний газ | кВт-год | \$ 0,047 | 945 301,6 | \$ 44 429 | 159 695,5 | \$ 7 506 | 785 606,1 | \$ 36 923 |
| Разом | | | | \$ 65 509 | | \$ 28 586 | | \$ 36 923 |

| Вид палива | Споживання палива - одиниці | Споживання палива - традиційне | | Споживання палива - базовий | | Споживання палива - зміна |
|----------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|---------------------------|
| | | Споживання палива - традиційне | Вартість палива | Споживання палива - базовий | Вартість палива | |
| Електроенергія | МВт-год | | | 140,5 | | |
| Природний газ | кВт-год | | | 945 301,6 | | |

| Енергія | Опалення ГДж | Охолодження ГДж | Електроенергія ГДж | Разом ГДж |
|---|--------------|-----------------|--------------------|-----------|
| | | | | |
| Споживання енергії - Базовий випадок | 2 042 | 9 914 | 506 | 12 462 |
| Споживання енергії - Запропонований випадок | 517 | 7 214 | 506 | 8 237 |
| Зекономлена енергія | 1 524 | 2 701 | 0 | 4 225 |
| Зекономлена енергія - % | 74,7% | 27,2% | 0,0% | 33,9% |

| Мітка | Одиниця енергії | ГДж | М² |
|------------------|-----------------|-----|----|
| | | | |
| Одиниця енергії | ГДж | | |
| Еталонна одиниця | М² | | |

Рисунок 2 – Резюме енергетичного дослідження

| Фінансові показники | | |
|---------------------------|-----|------|
| Темп інфляції | % | 3,0% |
| Строк реалізації проекту | рік | 30 |
| Коефіцієнт заборгованості | % | 0% |

| Початкові затрати | | |
|-----------------------------------|-----------|----------------|
| Заходи з енергозбереження | \$ | 887 470 |
| Інше | \$ | 0,0% |
| Загальні початкові затрати | \$ | 887 470 |

| Стимулювання і гранти | | |
|-----------------------|----|------|
| | \$ | 0,0% |

| Щорічні затрати і виплата займового капіталу | | |
|---|-----------|---------------|
| Затрати на експлуатацію і обслуговування (економія) | \$ | 0 |
| Вартість палива - Запропонований випадок | \$ | 28 586 |
| Інше | \$ | |
| Сумарні щорічні затрати | \$ | 28 586 |

| Щорічна економія і дохід | | |
|---|-----------|---------------|
| Вартість палива - Базовий випадок | \$ | 65 509 |
| Інше | \$ | |
| Сумарна щорічна економія і дохід | \$ | 65 509 |

| Економічна доцільність | | |
|----------------------------------|-----|------|
| ВНР до виплати податків - активи | % | 4,5% |
| Простий строк окупності | рік | 24,0 |
| Повернення капіталу | рік | 18,0 |

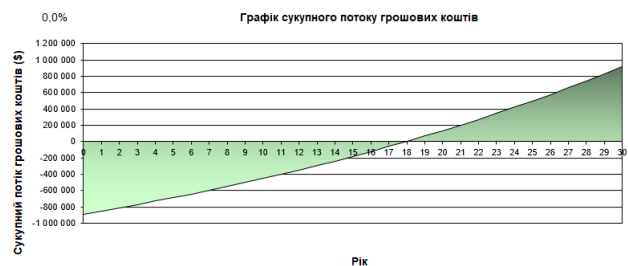


Рисунок 3 – Фінансовий аналіз проекту

Висновки.

Об'єктом енергетичного моделювання була спеціалізована школа №64. 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:

1. заміна старих дерев'яних вікон на енергоефективні металопластикові склопакети;
2. утеплення зовнішніх стін;
3. встановлення системи рекуперативної вентиляції; встановлення системи СК;
4. заміна електрообладнання на нове енергоефективне;
5. встановлення фотоелектричної системи; модернізація теплового пункту.

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

Список використаних джерел

1. 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.
2. Deshko, V., Bilous, I., Sukhodub, I., Yatsenko, O. Evaluation of energy use for heating in residential building under the influence of air exchange modes. Journal of Building Engineering, 2021, 42, 103020. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2021.103020>
3. Білоус І.Ю., Дешко В.І., Сплавська В.О., Суходуб І.О., Шевченко О.М., Шовкалюк М.М. Управління ефективністю енерговикористання у вищих навчальних закладах: монографія / під заг. ред. В.І. Дешка. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 186с.
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. 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)
6. 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)
7. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання: ДСТУ 9190:2022. – [Чинні від 2023-01-03] // Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2015. – 145 с. – (Національний стандарт України).

Ya. Sagaydak¹, student

N. Buyak¹, Cand. Sc. (Eng.)

¹National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

INCREASING THE LEVEL OF ENERGY EFFICIENCY AND ASSESSMENT OF THE ENERGY CHARACTERISTICS OF THE SPECIALIZED SCHOOL

Abstract: *This scientific article is devoted to researching the possibilities of increasing the level of energy efficiency and evaluating the energy characteristics of a specialized school. The article examines the problems of energy consumption in educational institutions and identifies the main directions for reducing energy consumption. Various energy-saving technologies that can be implemented in a specialized school in order to increase its energy efficiency have been studied. The authors also evaluated the energy characteristics of the specialized school, in particular, measured energy consumption, implemented a system for monitoring energy consumption, and collected information about the state of energy-saving systems. The research findings showed that the introduction of energy-saving technologies can lead to a decrease in energy consumption and an increase in the level of energy efficiency of an educational institution.*

Keywords: *energy efficiency, specialized school, energy characteristics, evaluation, improvement of the level, energy saving.*

Я. Р. Точинський¹, студент
Н.А. Буяк¹, канд. техн. наук
І.Ю. Білоус^{1,2}, канд. техн. наук
¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут загальної енергетики НАН України

ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАКЛАДУ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я М. ЧЕРНІГІВ В ПЕРІОД ПІСЛЯВОЄНОЇ РОЗБУДОВИ

Анотація: В роботі проведено оцінювання енергетичної ефективності лікарні розташованої в м.Чернігів та встановлено клас енергетичної ефективності розглянутої будівлі для наступних сценаріїв: фактичних умов, базового рівня, та запропонованих сценаріїв щодо підвищення рівня енергетичної ефективності. Будівлі закладів охорони здоров'я відноситься до будівель з підвищеними вимогами до теплового комфорту та повітрообміну, тому комплекс запропонованих заходів щодо покращення теплозахисних властивостей оболонки будівлі не дозволяє досягти класу енергоефективності «С».

Ключові слова: енергоспоживання, енергоефективність, енергоспоживання, заклади охорони здоров'я, клас енергоефективності.

Вступ.

Енергоефективне використання енергії одне з найважливіших завдань сьогодення. В загальному енергобалансі країни на функціонування будівель витрачається понад 40% енергії. Серед кінцевих споживачів енергії будівлі мають найбільший потенціал енергозбереження [1]. Світові тенденції обсягів інвестиції в енергоефективність становить біля 60% в будівлі на впровадження енергоефективних заходів. Питання аналізу ефективності використання енергетичних ресурсів особливо актуальне у бюджетній сфері, по-перше, через зношеність фонду будівель, по-друге, через брак бюджетного фінансування на покриття комунальних витрат і проведення заходів з енергозбереження та санації будівель [2]. Більшість будівель України збудовані в період масової забудови 80-х років та не відповідають сучасним вимогам до енергоефективності. В період післявоєнної розбудови України важливим є підвищення рівня енергетичної ефективності будівель не лише до діючих вимог національних стандартів, але з врахуванням вимог до енергоефективності (теплового захисту, зокрема), але і з врахуванням перспективи зміни вимог.

Мета та завдання.

Метою роботи є оцінювання рівня енергетичної ефективності закладу охорони здоров'я для різного комплексу енергозберігаючих заходів та оцінювання класу енергетичної ефективності будівель.

Завдання:

-
- визначення базового рівня енергоефективності лікарні;
- с - створення фактичної моделі енергоефективності лікарні;
- т - розробка запропонованих сценаріїв щодо підвищення рівня енергетичної ефективності будівлі лікарні.

о Об'єкт дослідження.

р Об'єктом дослідження є лікарня м.Чернігів 1989 року будівництва загальним об'ємом 69375 м³. Орієнтація будівлі за проміжними сторонами світу. Термічний опір огорожень (м²К/Вт): зовнішніх стін – 0,77; вікна – 0,68; двері- 0,55; дах – 1,01. коефіцієнт скління – 0,2; коефіцієнт компактності – 0,3.

н Матеріал і результати досліджень.

я Створено математичну модель будівлі лікарні для дослідження енергетичних характеристик будівлі та проведення енергетичної сертифікації будівлі онлайн платформи «E-Audit» [3]. «E-Audit» розроблений на основі ДСТУ Б.А.2.2-12:2015 [4], енергетична сертифікація будівель проводиться за витомим енергоспоживанням на потреби опалення та охолодження [5, 6]. Проведено розрахунки для: фактичного, розрахункового та запропонованого сценарію енергоефективності будівлі. Запропонований сценарій енергоспоживання будівлі після впровадження комплексу заходів по

покращенню теплозахисних властивостей оболонки будівлі обирались відповідно до мінімальних вимог [7]. В табл. 1 наведено результати розрахунків рівня енергоефективності.

Фактичний рівень енергоспоживання відмінний від базового, що пояснюється недотриманням нормативної температури повітря в приміщеннях 22°C та мінімального рівня повітрообміну 60 м³/год на одну людину [4]. Після впровадження заходів можна досягти 3,5% економії від заміни дерев'яних вікон (більша частина вікон замінена), 34% від утеплення стін, 20% - від утеплення даху. Комплексна термомодернізація дозволяє зменшити енергоспоживання на 55%.

Таблиця 1. Заходи для підвищення енергетичної ефективності

| Варіант розрахунку | Питоме енергоспоживання, кВт·год/м ³ | Економія від впровадження заходів, | | Клас енергетичної ефективності |
|--------------------|---|------------------------------------|--|--------------------------------|
| | | кВт·год/м ³ | | |
| Фактичний | | | | С |
| Базовий | | | | |
| Заміна вікон | | | | |
| Утеплення стін | | | | |
| Утеплення даху | | | | |
| Утеплення підлоги | | | | |
| Комплекс заходів | | | | |

Висновки.

Проведено енергетичне обстеження будівлі закладу охорони здоров'я розташованого м.Чернівці. Створено математичну модель будівлі з використанням платформи «E-Audit». Проведено розрахунок енергоефективних заходів з енергозбереження щодо покращення теплозахисних властивостей оболонки будівлі. Існуюча будівля відповідала класу енергоефективності «G». Впровадження комплексу енергозберігаючих заходів дозволяє досягти класу енергоефективності «E». Лікарні відносяться до будівель з підвищеними вимогами до теплового комфорту та вимог то повітрообміну, тому використання заходів щодо покращення теплозахисних властивостей оболонки будівлі є недостатнім для досягнення класу енергоефективності «С». В подальших дослідженнях заплановано розглянути заходи в енергозбереження в системах вентиляції.

Список посилань

1. Deshko, V., Bilous, I., Sukhodub, I., Yatsenko, O. Evaluation of energy use for heating in residential building under the influence of air exchange modes. Journal of Building Engineering, 2021, 42, 103020. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2021.103020>
2. Білоус І.Ю., Дешко В.І., Сплавська В.О., Суходуб І.О., Шевченко О.М., Шовкалюк М.М. Управління ефективністю енерговикористання у вищих навчальних закладах: монографія / під заг. ред. В.І. Дешка. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 186с.
3. Офіційний сайт платформи «E-Audit»: <https://e-audit.escoua.com/user/sign-in?next=/home/>
4. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні [Уведений вперше; чинний від 2015.01.01]. К. Мінрегіонбуд України, 2016. 205 с.
5. НАКАЗ 27.10.2020 № 261. Про затвердження Змін до Методики визначення енергетичної ефективності будівель. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 17 грудня 2020 р. за № 1254/35537.
6. НАКАЗ 27.10.2020 № 260. Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 18 грудня 2020 р. за № 1257/35540.
7. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель, чинний від 2022-09-01. Вид. офіц. 2021.

Ya. Tochinski¹, student

N. Buyak¹, Cand. Sc. (Eng.)

I. Bilous^{1,2}, Cand. Sc. (Eng.)

¹**National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”**

²**Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine**

Abstract: *The paper evaluated the energy efficiency of the hospital located in Chernihiv and determined the energy efficiency class of the building in question for the following scenarios: actual conditions, baseline level, and proposed scenarios for increasing the level of energy efficiency. Buildings of health care institutions are buildings with increased requirements for thermal comfort and air exchange, therefore the set of proposed measures to improve the heat-shielding properties of the building envelope does not allow to achieve energy efficiency class "C".*

Keywords: *energy consumption, energy efficiency, energy consumption, healthcare facilities, energy efficiency class.*

РОЗПОДІЛ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ СЕРЕД СПОЖИВАЧІВ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА ЖИТЛОВОГО СЕКТОРУ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНЬ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

Анотація. В результаті проведеного аналізу принципів роботи енергетичного ринку України, її енергосистеми, факторів впливу на формування електричного навантаження було сформовано математичне формулювання задачі та критеріїв розподілу електричної енергії, обрано метод оптимального розподілу електричної енергії між споживачами в умовах обмежень енергосистеми.

Ключові слова: енергосистема, розподільні мережі, багатокритеріальна оптимізація, функціонально-вартісний аналіз, числові методи оптимізації, блекаут, графіки електричних навантажень, середньоквадратична похибка.

Вступ. Після масштабних ракетних ударів по українській енергетиці з боку російського агресора в багатьох регіонах країни застосовувались і застосовуються обмеження електропостачання споживачам з метою балансування та стабільної роботи всієї електромережі. Станом на березень 2023 року збитки енергетиці України оцінюються [1] в 6,49 мільярдів доларів, пошкоджені лінії електропередач, електростанції або розподільчі підстанції, сотні промислових та енергоємних споживачів пошкоджені або повністю знищені, а мільйони мешканців держави мігрувало за кордон або стали внутрішньо переміщеними особами.

Всі ці фактори дуже негативно вплинули на генерацію, споживання і розподіл електричної енергії. З жовтня 2022 року по січень 2023 року енергетична система України могла надати дуже обмежений енергоресурс споживачеві і була значна проблема в балансуванні та стабілізації системи. При перевантаженні, небалансуванні споживання відбувається падіння частоти мережі, що може призвести до повного знеструмлення системи – блекауту. На подолання таких наслідків необхідні тижні і величезні затрати коштів. Питання енергетичної безпеки, а особливо забезпечення об'єктів критичної інфраструктури та військової промисловості є надважливим для держави.

На період квітня-травня 2023 року об'єднана енергосистема (ОЕС) України має перетоки від 1 до 10 МВт*год [2] з країнами ЄС, тобто енергія експортується. Але ситуації в ОЕС при яких відбуваються обмеження виникають час від часу у різних регіонах України і перед операторами передачі/розподілу постає задача оптимального розподілу ресурсу, який має бути прозорим, недискримінуючим, обґрунтований техніко-економічними показниками.

Задача розподілу електричної енергії між споживачами зводиться до розподілу ресурсу (P , W) між споживачами таким чином, щоб в результаті досягався мінімум втрат для системи в цілому.

Мета та завдання. Мета – підвищення рівня ефективності споживання електричної енергії промисловістю та підприємствами різних категорій в умовах обмежень енергосистеми. Завдання: огляд стану енергосистеми України та принципи роботи енергетичного ринку, аналіз факторів впливу на формування електричного навантаження споживачами електричної енергії, визначення та оцінка критеріїв розподілу електричної енергії в умовах обмежень енергосистеми, аналіз та вибір методів розподілу енергоресурсу між споживачами електричної енергії.

Матеріал та результати дослідження. Системою передачі від виробничих потужностей до операторів систем розподілу (обленерго) керує оператор системи передачі НЕК «Укренерго» (ОСП), у володінні якого є відповідні мережі та обладнання: високовольні лінії електропередачі (ЛЕП), трансформаторні підстанції (ТП), підстанції (ПС) тощо. Розподіл електричної енергії здійснюють оператори систем розподілу (ОСР) через відповідне обладнання: лінії електропередачі (ЛП), кабельні лінії електропередачі (КЛ), ТП, розподільні підстанції (РП) та інше.

Споживачі електроенергії. Вони є невід'ємною складовою будь-якої електромережі – оскільки специфіка галузі полягає у тому, що у певний момент часу виробляється, передається та

розподіляється рівно стільки ж електрики, скільки й споживається. Тобто відбувається балансування ринку попиту й пропозиції.

ОСР отримують вироблену електричну енергію через високовольтні мережі та обладнання ОСП. За допомогою власних електромереж розподіляють, трансформують та передають електроенергію до точки під'єднання споживача. При цьому параметри якості електричної енергії у точці під'єднання споживача (а саме рівень напруги та її коливання) мають відповідати вимогам державного стандарту ДСТУ EN 50160:2014 [3].

Згідно Закону України «Про ринок електричної енергії» [4] регламентується діяльність, обов'язки операторів в тому числі в умовах військового стану. Але під час кризової ситуації наприкінці 2022 року було допущено ряд порушень збоку ОСР щодо необґрунтованого розподілу електричної енергії між споживачами, що показує необхідність покращення алгоритму прийняття рішень в енергетиці в екстрених умовах.

Відповідно до постанови НКРЕКП від 26.03.2022 № 349 [5] щодо захисту інформації, у тому числі щодо об'єктів критичної інфраструктури, у період воєнного стану доступ до інформації обмежений. Але інформація щодо рівня генерації (рис. 1) та споживання (рис.2) електричної енергії наявна в Міжнародному енергетичному агентстві [6]. З графіків чітко видно як 2022 рік в ОЕС вибивається зі статистики і рівень споживання та генерації електричної енергії зменшилась практично на 7 ГВт за добу у порівнянні з аналогічним періодом в 2021 році.

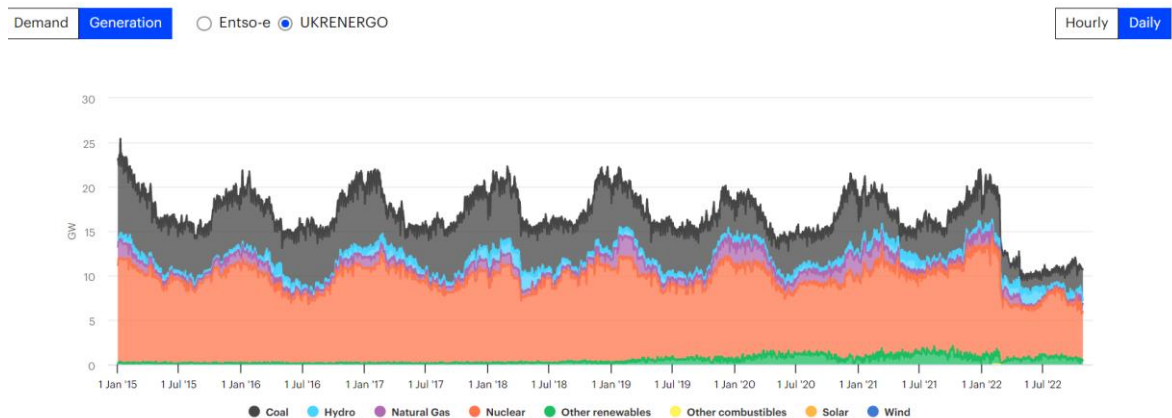


Рисунок 1 – Графік рівня генерації електричної енергії в період з 1 січня 2015 р. по 27 жовтня 2022 р.

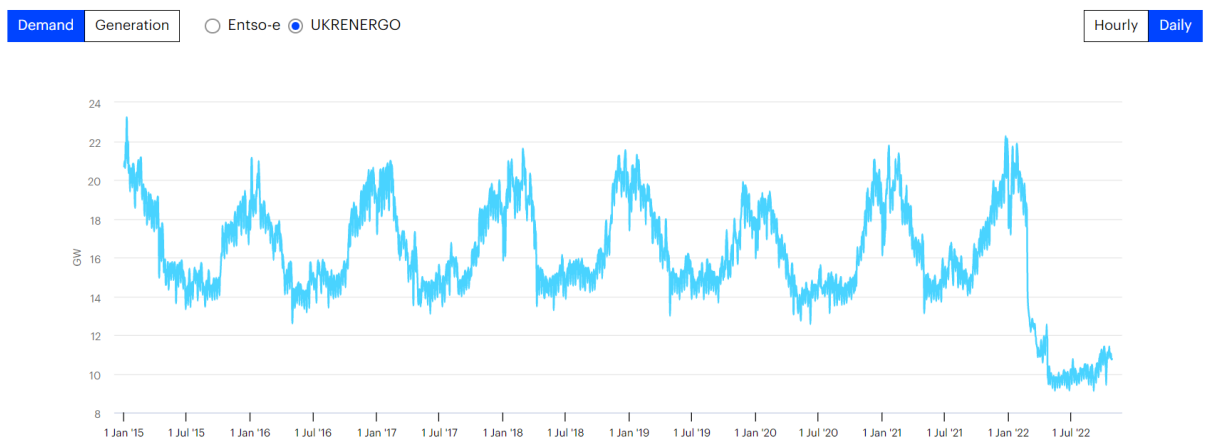


Рисунок 2 – Графік рівня споживання електричної енергії в період з 1 січня 2015 р. по 27 жовтня 2022 р.

Основні фактори, що впливають на рівень споживання енергоресурсу можна поділити на наступні категорії: сезонні фактори впливу, економічно-політичні та екстрені.

До сезонних факторів впливу належать час доби, тривалість світлового дня, пора року, температура навколишнього середовища, а з боку генерації енергії ГЕС – рівень поводків. Тим менша температура навколишнього середовища – тим більше енергії потрібно на обігрів приміщень, на приведення електроприводів чи інших електричних машин до робочої температури. А в жарку пору

року на більшості підприємств необхідно підтримувати комфорт для персоналу температуру і витратити дещо більше електричної енергії. Великий вплив має і тривалість світлового дня, адже необхідно освітлювати робочі поверхні та приміщення, дороги, вулиці. Тому існують години-піку споживання електричної енергії які досягають максимальних значень у зимовий період.

Оператори мають балансувати графіки як і добового навантаження, так і місячного, опираючись на прогнозовані показники. Згідно з законом «Про енергетичний ринок» в ОЕС діє як внутрішньодобовий ринок так і ринок «на добу наперед», а також є певна пропускна спроможність міждержавних перетинів, що дозволяє не лише гнучко регулювати рівень споживання, а як імпортувати енергію у часи піку, так і експортувати у період спаду. Але внаслідок значного відхилення у прогнозуванні показників навантаження внаслідок перевищення рівня споживання окремими учасниками ринку відносно їх заявленого рівня може виникнути короткочасний дефіцит електричної енергії.

Особливою проблемою для енергосистеми України є в першу чергу аварійні та екстрені ситуації – пошкодження лінії чи підстанції 110 кВ і вище, окупація виробника енергії (Запорізька АЕС забезпечувала до 10% нашого ринку) призводить до різкого і відносно тривалого обмеження енергосистеми і не всі заявки споживачів можуть бути задоволені повністю. Ситуація ускладнюється тим, що побутові споживачі часто нехтують рекомендаціями ОСР щодо зменшення споживання енергії у такі періоди у холодну пору року і підключають електрообігрівальні прилади та інші енергоємні побутові споживачі.

В рамках поставленої задачі розглянемо наступну модель: Система розподілу ресурсів електричної потужності й енергії включає в себе ОСП, ОСР, електропостачальника і кінцевого споживача. В кожний плановий період ОСП має у розпорядженні запас ресурсу P , W в кількості R , який видає кожному споживачеві в кількості, відповідно до запиту на ресурс s_i , і з урахуванням коефіцієнту пріоритетності надання електричної енергії k_i .

Ефективність використання енергоресурсу споживачем характеризується функцією $F_i(S_i, k_i)$, яка виражає збиток i -го споживача від недоотримання ресурсу $s_i = P$ або $s_i = W$. Мета оптимізації полягає в зведенні до мінімуму сумарного збитку системи F ;

$$F = \sum_{i=1}^n (S_i, k_i) \rightarrow \min \quad (1)$$

В роботі пропонується розділити задачу на 3 рівні. Перший це рівень ОСП – ОСР, коли НЕК «Укренерго» за наявною інформацією про дефіцит розділяє його між «обленерго». Другий – ОСР – електропостачальник, а третій – електропостачальник – споживач. Для кожного рівня формується свої критерії розподілу які зводяться до коефіцієнту пріоритетності надання електричної енергії. Вагу того чи іншого критерію пропонується визначити за рахунок функціонально-вартісного аналізу. Метод включає в себе експертні оцінки і шкалу до їх приведення, що дозволяє зменшити вплив несуттєвих критеріїв, при цьому не виключаючи останні.

Оцінки, отримані від експертів, можуть розглядатися як випадкова змінна, розподіл якої відображає думки фахівців про ймовірність того чи іншого результату події (ознака). Тому для аналізу розкиду та узгодженості експертних оцінок застосовуються узагальнені статистичні характеристики середніх та заходи розкиду. Не зупиняючись на визначенні середніх величин, розглянемо деякі заходи розкиду розподілів, використання яких є дуже корисним під час аналізу узгодженості експертних оцінок – середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації та коефіцієнт конкордації.

Коефіцієнт конкордації W може змінюватися від 0 до 1, причому його рівність одиниці означає, що всі експерти дали однакові оцінки щодо всіх характеристик, а рівність нулю означає, що зв'язки між оцінками, отриманими від різних експертів не існує. У випадках, коли будь-який експерт не може встановити рангову різницю між декількома суміжними характеристиками і надає їм однакові ранги, розрахунок коефіцієнта конкордації провадиться за формулою:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n \{ \{ \sum_{j=1}^m x_{ij} - \frac{1}{2} \cdot m(n+1) \}^2 \}}{\frac{1}{12} \cdot m^2(n^3 - n) - m \cdot \sum_{j=1}^e (\frac{1}{12} \cdot \sum_{k=1}^f (t_k^3 - t_k))} \quad (2)$$

де, e – кількість рядків, що містяться зв'язані ранги, f – число типів зв'язаних рангів в рядку, t – кількість рівних рангів в j -ому рядку, x_{ij} – варіанти оцінки критерію, m – кількість експертів.

На основі отриманого значення пріоритетності надання електричної енергії k_i споживача того чи іншого рівня методом зворотних пріоритетів визначається розподіл електричної енергії між споживачами.

Висновки. У ситуації дефіцитної енергосистеми, завдання розподілу активної електричної потужності та енергії є особливо актуальною, і може бути вирішена за рахунок застосування математичних апаратів і методів розподілу енергоресурсу. У цих умовах запропонований метод поділу на рівні, визначений коефіцієнт пріоритетності надання електричної енергії завдяки функціонально-вартісному аналізу, а задача розподілу рекомендується вирішити методом зворотних пріоритетів. При чому необхідно враховувати те, що критерії є змінними величинами.

Перелік посилань

1. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України за рік від початку повномасштабного вторгнення. *Київська школа економіки*, Березень 2023. 50 с. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR_Feb23_FINAL_Damages-Report.pdf (дата звернення: 13.05.2023)

2. Інформація щодо обсягу експорту імпорту в розрізі країн постачання та порівняння цін DAM (РДН) у країнах Європейського Союзу. *Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг*: веб-сайт. URL: <https://www.nerc.gov.ua/monitoring-rinku-elektrichnoyi-energiyi/operativnij-monitoring-rinku-elektrichnoyi-energiyi/informaciya-shchodo-zdijsnennya-importueksportu-elektrichnoyi-energiyi/informaciya-shchodo-obsyagu-eksportu-importu-v-rozrizi-krayin-postachannya-ta-porivnyannya-cin-dam-rdn-u-krayinah-yevropejskogo-soyuzu> (дата звернення: 13.05.2023)

3. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. [Чинний від 2014-10-01]. Київ, 2014, 32 с. (Інформація та документація). URL: https://chernihivoblenergo.com.ua/files/consumer/law_docs/ДСТУ%20EN%2050160-2014-1.pdf (дата звернення: 13.05.2023)

4. Про ринок електричної енергії: Закон України від 22 вересня 2016 р. №4493 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2019-19#n897> (дата звернення: 13.05.2023)

5. Про внесення змін до постанови Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, від 26 березня 2022 року № 349: Постанова від 20 квітня 2022 р. № 384. *Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг*: веб-сайт: URL: <https://www.nerc.gov.ua/acts/pro-vnesennya-zmin-do-postanovi-nacionalnoyi-komisiyi-shcho-zdijsnyuye-derzhavne-regulyuvannya-u-sferah-energetiki-ta-komunalnih-poslug-vid-26-bereznya-2022-roku-349> (дата звернення: 13.05.2023)

6. Ukraine Real-Time Electricity Data Explorer. *International Energy Agency*: веб-сайт. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/ukraine-real-time-electricity-data-explorer> (дата звернення: 13.05.2023)

Науковий керівник: д.т.н. проф. Розен В. П.

A. Gorobets¹, student

¹National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Abstract. As a result of the analysis of the principles of operation of the energy market of Ukraine, its energy system, factors affecting the formation of electric load, a mathematical formulation of the problem and criteria for the distribution of electric energy was formed, and a method of optimal distribution of electric energy between consumers in conditions of energy system limitations was chosen.

Keywords: power system, distribution networks, multicriteria optimization, functional cost analysis, numerical optimization methods, blackout, graphs of electric loads, root-mean-square deviation.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ НАФТОВИХ СВЕРДЛОВИН ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ДВОРЕЖИМНОГО СТРУМИННОГО НАСОСА

Анотація. Дана стаття присвячена проблемі підвищення ефективності процесу інтенсифікації нафтовидобутку. Одним із методів вирішення якої є використання запропонованого струминного насосу дворежимної конструкції. Представлена в цій статті конструкція забезпечить роботу в режимі «труби», що дає змогу протіканню рідин крізь насос в одному напрямку та режимі «струминного насосу», який забезпечить відкачування рідин в іншому напрямку з вибоєм. Причому, перемикання між режимами відбуватиметься без додаткових спуско-підіймальних робіт. Використання такої конструкції підвищить ефективність хімічних методів інтенсифікації видобутку та зменшить часові та фінансові витрати. Завдяки своїм конструктивним перевагам, цей пристрій може стати основною технологією для відновлення продуктивності свердловин, що сприятиме підвищенню рівня видобутку нафтопродуктів.

Ключові слова: струминний насос, хімічна обробка, нафтова свердловина, ежектор, відновлення продуктивності.

Вступ. На сьогоднішній день актуальною задачею для всього світу стоїть підвищення рівня власного видобутку нафти і газу, а також дана проблема займає особливу роль для незалежності України від експорту вуглеводнів з інших країн. Оскільки присутні такі умови як відсутність нових родовищ, які б вирішили поставлену проблему, слід зосередити увагу на задачах, пов'язаних з відновленням продуктивності існуючих свердловин.

У процесі експлуатації свердловин їх привибійні зони можуть закупорюватися відкладеннями парафіну і смол [1], із-за чого видобуток нафтопродуктів зменшується до нерентабельних показників. Проникність привибійних зон, а отже, і умови припливу нафти й газу до свердловин покращують за рахунок штучного збільшення числа і розмірів дренажних каналів, збільшення тріщинуватості порід, а також видаленням смол, парафіну та бруду, які осіли на стінках порових каналів.

Будь-які роботи з інтенсифікації видобутку нафтопродуктів супроводжуються певним комплексом робіт, які в певній мірі спростять застосування нової дворежимної конструкції струминного насоса.

В даний час струминний насос є одним із перспективних пристроїв для використання в нафтогазовій промисловості [2]. Струминні насоси (струминні апарати) набули широкого поширення в різних галузях техніки завдяки простоті конструкції, високої надійності та унікальним технічним можливостям при відкачуванні газорідних сумішей. Висока ефективність використання свердловинних струминних насосів дає змогу підняти рівень їх використання від характеру допоміжних до ролі основних технологій, здатних вирішувати задачі при бурінні та експлуатації нафтових та газових свердловин [3].

Мета. Обґрунтувати використання розробленого дворежимного струминного насоса в процесі кислотної обробки свердловини для підвищення її продуктивності.

Матеріал і результати досліджень. Завдяки здатності струминних насосів працювати в умовах агресивних середовищ вони знайшли своє застосування при реалізації окремих процесів інтенсифікації нафтовилучення. Суттєвою перевагою струминних насосів є можливість швидкого видалення продуктів реакції після здійснення впливу на привибійну зону свердловини. При цьому зростає ефективність проведення кислотної обробки або обробки привибійної зони пласта іншими хімічними реагентами [3].

Беручи до уваги результати дослідження впровадження технологій з інтенсифікації видобутку нафти і газу за 2010 р. на свердловинах ПАТ «Укрнафта» слід зауважити, що хімічні методи інтенсифікації видобутку по кількості проведених робіт займають більше 70% [4]. Такі результати

значно покращують доцільність та конкурентоспроможність струминних насосів щодо залучення їх до таких робіт завдяки своїм конструктивним перевагам.

Проаналізувавши різні варіанти конструкцій виявлено, що одним із шляхів поліпшення струминного насосу – є забезпечення швидкого переходу між режимами роботи свердловини під час процесів хімічної інтенсифікації нафтовидобутку. Більшість наявних конструкцій потребують від середніх до значних затрат часу та сил для переходу від роботи в режимі видобутку струминним насосом до роботи яка забезпечить процес інтенсифікації і навпаки. Поки одні конструкції передбачають підняття та спуск лише струминної чи блокуючої вставки в корпус насосу по трубах НКТ, наприклад конструкції запропоновані патентами № 93488 «Насос струминний» [5] та № 53909 «Свердловинна струминна насосна установка» [6], інші вимагають повного підняття труб НКТ для демонтажу насосу, що призводить до простою видобутку нафтопродуктів.

Тому запропоновано нову дворезимну конструкцію струминного насоса (рис. 1), яка завдяки поєднанню системи клапанів, отворів та внутрішніх каналів у комплексі з іншим нафтовим обладнанням забезпечує роботу в двох різних режимах роботи. В режимі «труби», що дає змогу протіканню рідин крізь насос в одному напрямку та режимі «струминного насосу», який забезпечить відкачування рідин в іншому напрямку з вибою.

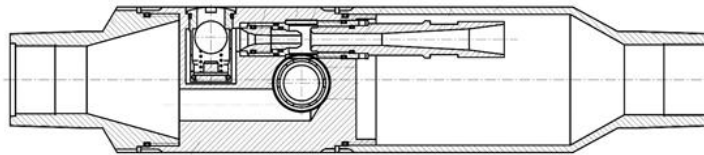


Рисунок 1 – Дворезимний струминний насос

Дана конструкція усуває недолік конструкцій попередників, а саме робота в одному режимі чи відсутність можливості швидкого переходу між режимами, яка викликає необхідність проведення додаткових спуско-підіймальних робіт для забезпечення процесу інтенсифікації видобутку свердловини. Завдяки чому процес відновлення продуктивності позбавиться зайвих витрат часу та сил. Так для прикладу за проведеними розрахунками плану кислотної обробки для свердловини Лесяківська №50, часові затрати на закачування та реагування кислоти складатимуть всього близько 4 годин [7], після чого можна продовжити нафтовидобуток з відновленою продуктивністю. Оскільки час робіт по заміні обладнання залежить від глибини свердловин то економія часу може сягати досить значних чисел, адже зазвичай спуско-підіймальні операції залежно від характеру ремонту займають від 50 до 80 % всього часу, затрачуваного на ремонт [8].

Висновки. Запропонована конструкція струминного насоса, що дає можливість працювати в двох режимах, підвищить ефективність хімічних методів інтенсифікації видобутку. Оскільки такі методи займають більше 70% по кількості проведених операцій, то такі конструкції будуть широко застосовувані, що тільки підвищить економічну вигідність такого пристрою. Дана конструкція є найкращою з точки зору економії часу серед конкурентів, адже вона повністю виключить з плану відновлення продуктивності спуско-підіймальні роботи, які можуть складати від 50% часових витрат.

Список використаних джерел

1. В. С. Білецький, В. М. Орловський, В.Г. Вітрик «Основи нафтогазової інженерії» – Харків : НТУ «ХПІ», Полтава : ТОВ «АСМІ», 2018. – 415 с.
2. Лямаев, Б. Ф. Гидроструйные насосы и установки / Б. Ф. Лямаев. Ленинград: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1988. – 277 с.
3. Паневник, О. В. Перспективи використання ежекційних технологій / О. В. Паневник, Р. Г. Онацко // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2007. - № 2. - С.23-26.
4. І. М. Іванченко, «АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ВИДОБУТКУ НАФТИ НА НАФТОВИХ РОДОВИЩАХ УКРАЇНИ», Вісник ВПІ, вип. 4, с. 71–77, Листоп. 2010.
5. Насос струминний: пат. 93488 Україна: МПК6 E21B43/18. № 201401098; заявл. 05.02.2014; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 19. 6 с.
6. Свердловинна струминна насосна установка: пат. 53909 Україна: МПК6 F04F5/02, F04F5/54, F04F5/44. № 201003744; заявл. 31.03.2010; опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20. 8 с.
7. Сірик, А. В. Електромеханічне обладнання Лесяківського нафтогазоконденсатного родовища з розробкою дворезимного струминного насоса для обробок свердловин кислотними розчинами :

дипломний проект ... бакалавра : 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Сірик Анатолій Віталійович. – Київ, 2021. – 155 с.

8. Довідник з нафтогазової справи [Текст] / Івано-Франківський держ. технічний ун-т нафти і газу ; ред. В. С. Бойко [та ін.]. - Львів : [б.в.], 1996. - 620 с. - ISBN 5-335-01293-5

Науковий керівник к.т.н., доц. Лістовщик Л.К.

A. Sirik¹, student

¹National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Abstract. *This article is dedicated to the problem of increasing the efficiency of the oil extraction intensification process. One of the methods of its solution is the use of the proposed two-mode jet pump. The design presented in this article will provide operation in the "pipe" mode, which allows liquids to flow through the pump in one direction, and the "jet-pump" mode, which will ensure that liquids are pumped in the other direction. Importantly, the switching between modes will occur without the need for additional lowering or lifting operations. The use of such a design will enhance the effectiveness of chemical methods for productivity restoration and reduce time and financial costs. With its design advantages, this device has the potential to become the primary technology for restoring well productivity, contributing to increased domestic oil production.*

Keywords: *jet pump, chemical treatment, oil well, ejector, productivity restoration.*

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА КОНТУРУ ТЕМПЕРАТУРИ ВЕНТИЛЯТОРНОЇ УСТАНОВКИ ВАРІАЦІЙНИМ МЕТОДОМ

Анотація. У статті досліджується оптимізація систем керування вентиляцією, яка має важливе значення для підвищення енергоефективності, зниження витрат на енергію та покращення якості повітря в приміщенні за рахунок використання оптимального регулятора та введення обмеження за вихідною координатою (температурою в приміщенні) перерегулювання відсутнє, а час установлення заданого значення зменшується на 10%.

Ключові слова: вентиляторна установка, енергозбереження, оптимальне керування.

Вступ. Розробка енергоефективної системи вентиляції для офісної будівлі має вирішальне значення для зменшення споживання енергії та витрат, одночасно зберігаючи комфортне та здорове середовище в приміщенні. При проектуванні енергоефективної вентиляційної системи слід враховувати кілька факторів, включаючи планування будівлі, кількість людей і місцеві кліматичні умови.

Мета. Метою даної роботи є синтез регулятора температури вентиляторної установки офісної будівлі варіаційним методом.

Матеріал та результати дослідження.

Погана якість повітря в приміщенні може мати значний вплив на здоров'я працівників будівлі, включаючи ризики передачі інфекційних захворювань повітряним шляхом і впливу твердих частинок або хімічних забруднювачів [1]. Тому правильна вентиляція має вирішальне значення для підтримки здорового середовища в приміщенні. Розуміння конкретних вимог до вентиляції офісної будівлі та її працівників має важливе значення для ефективного проектування системи [2].

Існує два основні методи вентиляції в будівлях: природна вентиляція та системи механічного/примусового розподілу повітря [3]. Природна вентиляція використовує дію вітру, плавучість (вентиляцію труби), вентиляційні колодязі, конструкції фасадів і вентиляційні отвори для забезпечення свіжим повітрям. З іншого боку, системи механічної вентиляції використовують механічні пристрої для розподілу та циркуляції повітря по всій будівлі. Обидва підходи мають свої переваги та міркування, і вибір залежить від таких факторів, як дизайн будівлі, місцевий клімат і цілі енергоефективності.

Проектування вентиляції в офісних будівлях передбачає розрахунок навантажень на опалення та охолодження приміщень, визначення потреб у об'ємі повітря та вибір відповідного обладнання [4]. Методи розрахунку враховують такі фактори, як кількість працівників, їх діяльність і необхідний приплив свіжого повітря. Контроль температури, втрати тепла в повітроводах і визначення розмірів обладнання та повітроводів також є важливими міркуваннями в процесі проектування [5].

Оптимізація систем керування вентиляцією має важливе значення для підвищення рівня енергоефективності, зниження витрат на енергію та покращення якості повітря в приміщенні. Існують різні методи оптимізації систем керування вентиляцією, включаючи алгоритми керування, оптимізаційні моделі та методи машинного навчання.

Досягнення енергоефективності у вентиляційних системах передбачає покращення кількох факторів, таких як відновлення та розподіл теплової енергії, використання енергоефективних двигунів вентиляторів та оптимізація форм лопатей вентилятора.

Однак найбільш істотної економії електроенергії можна досягти за рахунок оптимізації перехідних процесів при перепадах температур і зниження споживання електроенергії на роботу вентилятора. Нелінійність коефіцієнта підсилення процесу нагрівання робить вкрай важливим розгляд надмірного регулювання як фактор для оптимізації системи. Енергоефективність системи опалення можна оцінити за допомогою функції якості, яка відображає цей критерій:

$$J = \min \int_0^{\infty} (X^T A X + U^T B U) dt \quad (1)$$

де J - мінімальне значення похибки, X – матриця змінних стану системи, U – матриця керуючих впливів, A - матриця динаміки, B – матриця обмежень на керування.

Задача оптимізації може бути розв’язана за допомогою методу Ейлера та варіаційного числення шляхом дискретизації функції вартості та наближення рішення на дискретних кроках у часі [6]. Тоді задачу оптимізації можна сформулювати як задачу оптимізації з дискретним часом, яку можна вирішити за допомогою стандартних методів оптимізації.

Нехай заданий керований об’єкт, що представляє собою вентиляторну установку, із передаточною функцією:

$$W(p) = \frac{k}{T^2 p + 2\xi T p + 1} = \frac{x(p)}{u(p)}$$

$$\dot{x}_1 = x_2,$$

чи

$$\dot{x}_2 = -a_1 x_1 - a_2 x_2 + bu,$$

$$a_1 = \frac{1}{T^2}; a_2 = \frac{2\xi}{T}; b = \frac{K}{T}.$$

Мінімізований функціонал має вигляд:

$$\min_u J = \int_0^{\infty} (\alpha_1 x_1^2 + \alpha_2 x_2^2 + cu^2) dt \quad (2)$$

Потрібно знайти $u = \gamma(x)$, що забезпечує екстремум функціонала при переході з початкового стану $x(0) = x_0$ в кінцевий стан $x(\infty) = 0$.

Додаткові рівняння обмеження в цьому випадку запишуться:

$$\varphi_1 = \dot{x}_1 - x_2 = 0$$

$$\varphi_2 = \dot{x}_2 + a_1 x_1 + a_2 x_2 - bu = 0$$

Відповідно до викладеного вище, складемо рівняння допоміжного функціонала:

$$J(x_1, x_2, u) = \int_0^{\infty} [\alpha_1 x_1^2 + \alpha_2 x_2^2 + cu^2 + \lambda_1 (\dot{x}_1 - x_2) + \lambda_2 (\dot{x}_2 + a_1 x_1 + a_2 x_2 - bu)] dt \quad (3)$$

Тут α_1, α_2, c – вагові константи.

Рівняння Ейлера-Лагранжа для нового функціоналу має вид:

$$\frac{\partial F}{\partial x_i} + \sum_{j=1}^2 \lambda_j \frac{\partial \varphi_j}{\partial x_i} - \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial F}{\partial \dot{x}_i} + \sum_{j=1}^2 \lambda_j \frac{\partial \varphi_j}{\partial \dot{x}_i} \right] = 0$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial x_i} + \sum_{j=1}^n \lambda_j \frac{\partial g'_i}{\partial x_i} - \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial F_1}{\partial \dot{x}_i} + \lambda_i(t) \right] = 0 \quad (i = 1, \dots, n)$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial \lambda_i} + \dot{x}_i - g_i(x, \dot{x}, t) = 0 \quad (i = 1, \dots, n)$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial u} + \sum_{j=1}^n \lambda_j \frac{\partial g_j}{\partial u} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial F_1}{\partial \dot{u}} \right) = 0. \quad (4)$$

У підсумку одержуємо наступні рівняння:

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2,$$

$$\frac{dx_2}{dt} = -a_1 x_1 - a_2 x_2 + bu,$$

$$\frac{d\lambda_1}{dt} = 2\alpha_1 x_1 + a_1 \lambda_2,$$

$$\frac{d\lambda_2}{dt} = 2\alpha_2 x_2 - \lambda_1 + a_2 \lambda_2,$$

$$2cu - b\lambda_2 = 0. \quad (5)$$

З останнього рівняння визначимо оптимальне керування $u = \frac{b}{2c} \lambda_2$.

Підставимо це рівняння у вихідну систему рівнянь Ейлера-Лагранжа

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} &= -a_1 x_1 - a_2 x_2 + \frac{b^2}{2c} \lambda_2 \\ \frac{d\lambda_1}{dt} &= 2\alpha_1 x_1 + a_1 \lambda_2 \\ \frac{d\lambda_2}{dt} &= 2\alpha_2 x_2 - \lambda_1 + a_2 \lambda_2 \end{aligned} \quad (6)$$

Складемо характеристичне рівняння даної системи

$$\Delta(p) = \begin{vmatrix} -p & 1 & 0 & 0 \\ -a_1 & -a_2 - p & 0 & \frac{b^2}{2c} \\ 2\alpha_1 & 0 & -p & a_1 \\ 0 & 2\alpha_2 & -1 & a_2 - p \end{vmatrix} = p^4 + 2(a_1 - 2a_2^2 - \frac{\alpha_2 b^2}{2c})p^2 + \frac{\alpha_1 b^2}{c} + a_1^2 = 0.$$

Введемо позначення: $B = a_1 - 2a_2^2 - \frac{\alpha_2 b^2}{2c}$; $C = \frac{\alpha_1 b^2}{c} + a_1^2 > 0$

Відповідно до співвідношення В та С будуть мати місце наступні варіанти наявності рішення:

Випадок 1. $B^2 \geq C$, тоді при $B > 0$ всі корені рівняння будуть уявними і оптимальний регулятор не існує, отже необхідно забезпечити вибір вагових коефіцієнтів таких, що $\frac{\alpha_2}{2c} < \frac{a_1 - 2a_2^2}{b^2}$.

При значеннях $B < 0$, корені визначаються за виразами: $\mu_{1,2} = \pm \gamma_1$, $\mu_{3,4} = \pm \gamma_2$, де

$$\gamma_1 = \sqrt{-B + \sqrt{B^2 - C}}, \gamma_2 = \sqrt{-B - \sqrt{B^2 - C}}.$$

Загальне рішення характеристичного рівняння запишеться у вигляді:

$$x_1(t) = c_1 e^{\gamma_1 t} + c_2 e^{-\gamma_1 t} + c_3 e^{\gamma_2 t} + c_4 e^{-\gamma_2 t}.$$

Згідно нульових граничних умов отримаємо сталі $c_1 = c_3 = 0$.

Похідну \dot{x}_2 визначимо через змінні стану $\dot{x}_2 = -\gamma_1 \gamma_2 x_1 - (\gamma_1 + \gamma_2) x_2$.

Із врахуванням другого рівняння системи, що описує обмеження, алгоритм оптимального управління: $U = -(\gamma_1 \gamma_2 - a_1) x_1 - (\gamma_1 + \gamma_2 - 2a_2) x_2$

Структурна схема замкненої системи має вигляд:

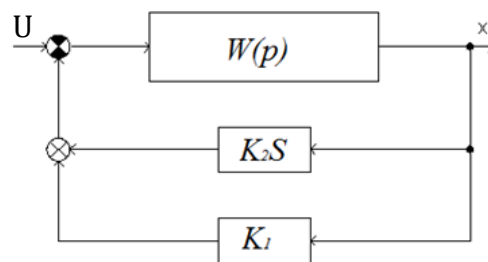


Рисунок 4.1 - Структурна схема оптимальної системи автоматичного керування

На структурній схемі прийняті наступні позначення: $K_1 = \gamma_1 \gamma_2 - a_1$; $K_2 = \gamma_1 + \gamma_2 - 2a_2$.

Випадок 2. Коли $B^2 < C$ корені характеристичного рівняння корені характеристичного рівняння будуть комплексними: $\mu_{1,2} = \nu \pm j\beta$, $\mu_{3,4} = -\nu \pm j\beta$,

$$\text{де } \nu = \sqrt{\frac{\sqrt{C} - B}{2}}, \beta = \sqrt{\frac{\sqrt{C} + B}{2}}.$$

Для цього випадку: $K_1 = \nu^2 + \beta^2 - a_1$ і $K_2 = 2(\nu - 2a_2)$.

Для контуру стабілізації температури припливного повітря передатна функція об'єкта, включаючи клапан, має такий вигляд:

$$W_o(p) = \frac{K}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1} = \frac{0,273}{500 p^2 + 105 p + 1} = \frac{0,273}{(22,36)^2 p^2 + 2 \cdot 2,35 \cdot 22,36 p + 1}$$

$$a_1 = 0,02; a_2 = 0,21; b = 0,0574.$$

Вибираємо вагові коефіцієнти таким чином, щоб $\frac{\alpha_2}{c} < \frac{a_1 - 2a_2^2}{b^2} = \frac{0,04 - 0,1764}{0,23056} < 0$ за будь-яких значень вагових коефіцієнтів.

Рішення характеристичного рівняння визначаються за формулами:

$$\gamma_1 = \sqrt{-B + \sqrt{B^2 - C}}, \gamma_2 = \sqrt{-B - \sqrt{B^2 - C}}.$$

Параметри оптимального регулятора є функцією вагових коефіцієнтів, що вибираються відповідно до вимог до перехідного процесу. Відповідно до цього правильний вибір коефіцієнтів визначає співвідношення ваги квадратичної похибки за кожною складовою у функціоналі якості.

Найбільш простим та зрозумілим є підхід, при якому вагові коефіцієнти визначаються як ваги максимального значення змінної стану згідно методу Меррієма:

$$\alpha_i = \frac{1}{\Delta x_i^2}, \text{ де } \Delta x_i - \text{відносне максимальне відхилення } i\text{-ї координати.}$$

Оскільки перерегулювання за вихідної координатою призводить до суттєвого погіршення енергетичних характеристик в цілому, максимальне відхилення не повинно перевищувати номінального значення, а отже $\alpha_1 = \frac{1}{1^2} = 1$. На величину похідної від температури, тобто швидкості нарощування температури накладаються теж суттєві штрафи, тобто значення повинно бути більшим за одиницю, приймаємо $\alpha_2 = 60$. На керуючий вплив при цьому обмеження несуттєві, приймаємо допустиме перевищення керуючого впливу, відповідно $c = 0,2$. При вибраних коефіцієнтах ваги при функціоналі якості, що відповідає динамічній точності та енергетичним обмеженням на витрати отримуємо алгоритм оптимального керування за методом Ейлера-Лагранжа: $U = -0,5161x_1 - 3,4529x_2$.

Слід відзначити, що використання зворотних зв'язків призводить до падіння коефіцієнту підсилення в цілому, відповідно сигнал завдання повинен бути промасштабований для отримання необхідного значення температури. При використанні отриманого регулятора та необхідного коефіцієнту підсилення при подачі ступінчастого сигналу на вхід системи, отримуємо перехідні процеси, представлені на рисунку 4.2.

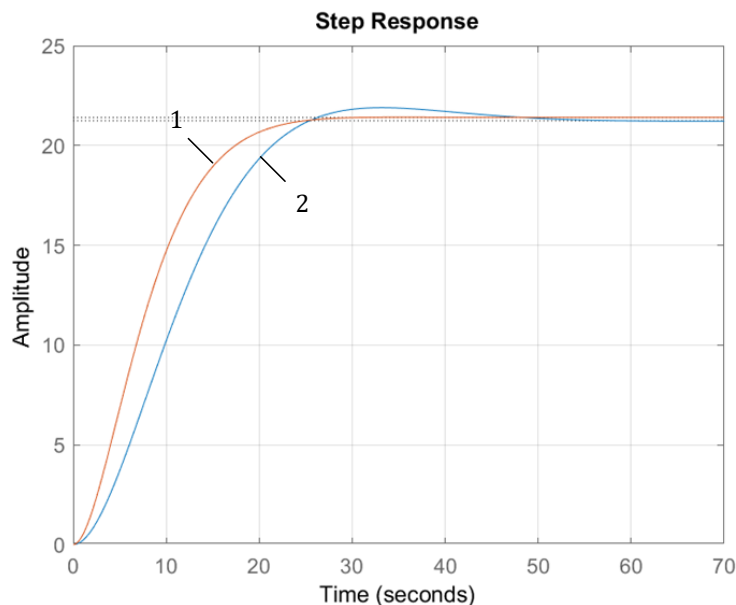


Рисунок 4.2 -Перехідні процеси контуру регулювання температури:
1 – з оптимальним регулятором, 2 – без оптимального регулятора

Висновки. Таким чином, при використанні оптимального регулятора за рахунок введення обмеження за вихідною координатою (температурою в приміщенні) перерегулювання відсутнє, а час установлення заданого значення зменшується на 10%.

Перелік посилань.

1. SPENGLER, John D.; CHEN, Qingyan. Indoor air quality factors in designing a healthy building. Annual Review of Energy and the Environment, 2000, 25.1: 567-600.
2. SEKHAR, S. C.; THAM, K. W.; CHEONG, David. Ventilation characteristics of an air-conditioned office building in Singapore. Building and Environment, 2002, 37.3: 241-255.
3. Nag, P.K. (2019). Ventilation in Office Buildings. In: Office Buildings. Design Science and Innovation. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2577-9_12
4. <https://www.linquip.com/blog/ventilation-design/>
5. ДСТУ Б EN 13779:2011 Вентиляція громадських будівель. Вимоги до виконання систем вентиляції та кондиціонування повітря; чинний від 2019-01-01. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2019. 20 с.
6. Ibraheem, Kais I., and Hisham M. Khudhur. "Optimization Algorithm Based on the Euler Method For Solving Fuzzy Nonlinear Equations". Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 1.4 (2022): 115.

Науковий керівник: доц. к.т.н. Босак А.В.

Р. Koshil¹, student
¹National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Abstract. *The article investigates the optimization of ventilation control systems, which is important for increasing energy efficiency, reducing energy costs, and improving indoor air quality by using an optimal controller and introducing a limit based on the output coordinate (indoor temperature), there is no over-regulation, and the set-point time decreases by 10%.*

Keywords: *fan installation, energy saving, optimal control.*

МОБІЛЬНИЙ ДИСТИЛЯТОР РІДИНИ

Анотація. У статті представлені: будова мобільного дистилятора рідини та його принцип роботи, креслення пристрою, яке пояснює його сутність, його переваги, процес дистиляції рідини, використання в охороні здоров'я, промисловості і в побуті.

Ключові слова: мобільний дистилятор рідини, будова, конденсація, випаровування.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи – доведення кращої ефективності представленої будови мобільного дистилятора рідини.

Мобільний дистилятор рідини належить до області пристроїв для ректифікації різних рідин, поділу багатоконпонентних спиртовмісних рідин на фракції шляхом випаровування їх при температурах нижче точки кипіння з подальшою конденсацією парів, виробництва спирту, а також для очищення, наприклад, кислот, лугів, спиртів, масел і може бути використана в охороні здоров'я, промисловості і в побуті.

Зменшені габарити, шляхом збільшення внутрішньої поверхні для конденсації, випарування і тепломасопереносу та використання в сухопарнику обох сторін стрічки в вигляді спіралі підвищує ефективність поділу на фракції спиртовмісних та інших багатоконпонентних рідин, збільшує кількість центрів ініціювання процесів конденсації.

Сутність будови дистилятора пояснюється кресленням. На кресленні не приведені: продуктопровід, перегінний куб для подачі рідини, холодильник, приймач дистильованої рідини. На нижній горизонтальній проекції зображено сухопарник без кришки.

Пристрій для дистилювання рідини складається з продуктопроводу, перегінного кубу (на рис. не показано), патрубок 1 сухопарника 2, штуцер 3, холодильник (на рис. не показано). Сухопарник 2 складається з днища 4, кришки 5, між якими вертикально розташована спіральна стрічка 6 з декількома витками, зовнішній з яких герметично закріплений між днищем 4 і кришкою 5, а всі інші витки - мають меншу висоту і рівномірно розміщені до його центру, де встановлений патрубок 1, що виступає над внутрішньою поверхнею днища 4 таким чином, що перекриває рівень нижньої кромки спіральної стрічки 6, яка має зазор з днищем 4. Спіральна стрічка 6 верхньою кромкою всіх внутрішніх витків герметично закріплена до кришки 5, а останнім коротким витком - до днища 4 біля виступу патрубка 1. Зовнішній виток спіральної стрічки 6 має плоский вигин 7, на якому розташований штуцер 3 для з'єднання сухопарника 2 з холодильником, зовнішній виток закінчується в точці 8. Герметичність всіх з'єднань виконують пайкою чи зварюванням. Для закріплення патрубка 1 в днищі 4 використовується гайка 9. Патрубок 1 проходить через днище 4 сухопарника 2 і заходить в нього на відстань, яка перевищує зазор між нижньою кромкою спіральної стрічки 6 і поверхнею днища 4 і знаходиться всередині витків спіральної стрічки 6. Спіральна стрічка 6 розташований контактено з патрубком 1, а її кінець 8 - закінчується ділянкою з плоским вигином 7. Штуцер 3 забезпечує роз'ємне з'єднання сухопарника 2 з холодильником, який на рис. не показаний.

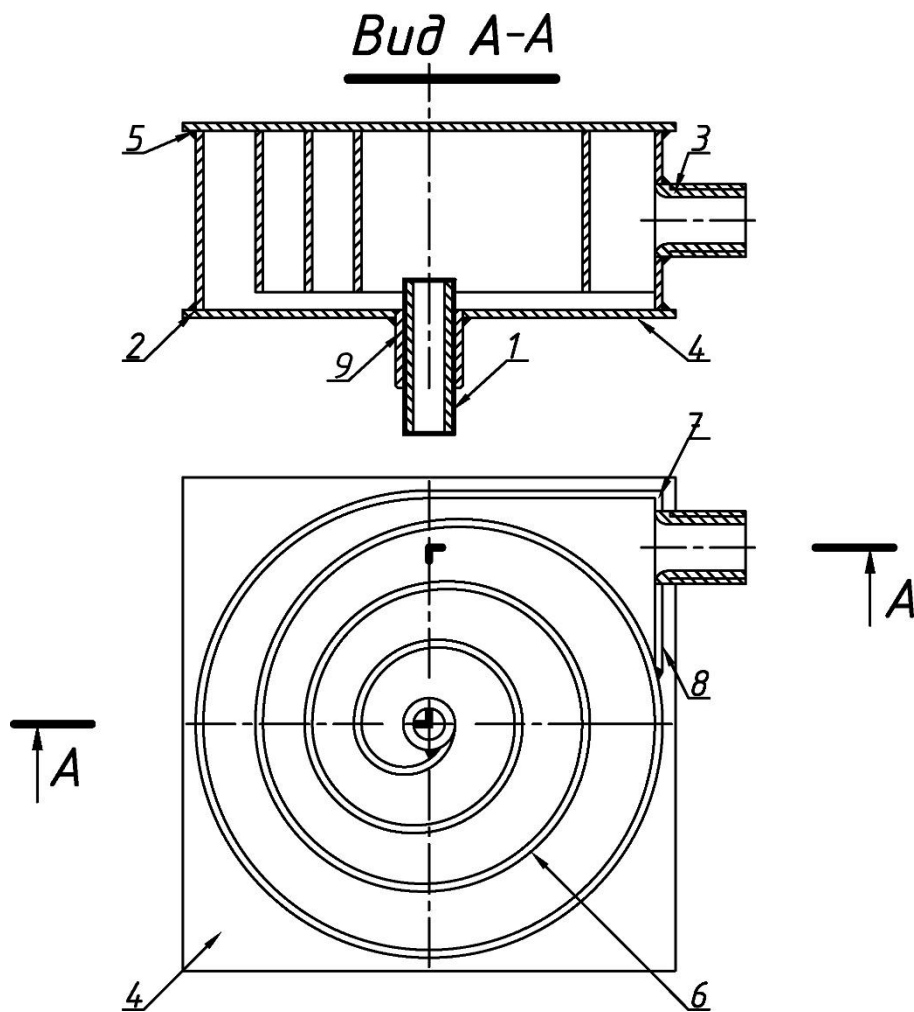


Рисунок 1 – Загальний вид дистилятора

Пристрій для дистилювання рідини працює наступним чином.

Пара перегінного куба з патрубка 1 надходить в лабіринтний простір сухопарника 2 між витками спіральної стрічки 6, де частково конденсується в рідину, яка в вигляді флегми (флегма - частини дистиляту, що повертається через патрубок 1 в перегінний куб) заповнює сухопарник 2 до рівня виступу патрубка 1 над днищем 4, а далі через штуцер 3 проходить в холодильник, в якому відбувається повна конденсація дистиляту, а далі наповнює приймач дистильованої рідини - накопичувальну технологічну ємність (на рис. не показано). Холодильник має декілька витків трубопроводу та знаходиться в баку з охолоджуючої рідиною (на рис. не показано). Рівень флегми на дні сухопарника 2 визначається рівнем виступу частини патрубка 1 над днищем 4, при перевищенні цього рівня - стікає в перегінний куб по патрубку 1.

Сухопарник 2 містить спіральну стрічку 6 з декількома витками. Верхня кромка зовнішнього витка спіральної стрічки 6 приєднана герметично до кришки 5 сухопарника 2.

Корпус сухопарника 2 може бути нерозбірний. Для можливості його промивання патрубок 1 виготовляють з'ємним. До днища 4 сухопарника 2 зовні закріплюють гайку 9, в яку загвинчують патрубок 1. Зазор між днищем 4 і нижньою кромкою всіх внутрішніх витків спіральної стрічки 6 забезпечує промивання чистою водою сухопарника 2.

Дистилятор може бути виготовлений з не корозійних матеріалів з використанням пайки або зварювання в умовах будь-якого підприємства, що спеціалізуються у виробництві дистиляторів та може широко використовуватися, як у виробництві, так і в побуті для отримання дистильованої води і напоїв.

Висновок. Дистилятор забезпечує конденсацію, випарування і тепломасопереміщення одночасно з двох сторін спіральної стрічки, витки якої являють собою каскадну будову сухопарника. При його роботі від входу плавно змінюється швидкість руху, тиск і температура парової фази, що підвищує ефективність поділу на фракції багатокомпонентної рідини з перегінного куба. Крім того,

спіральна конструкція сухопарника збільшує площу тепломасопереміщення та має низький гідравлічний опір і невисокі енергетичні витрати. В процесі пропускання парової фази зростає кількість центрів ініціювання конденсації, що зменшує шум при роботі та забезпечує компактність пристрою.

Джерела інформації

1. Патент України на корисну модель №145925. Пристрій для дистилювання рідини. Лебедев Л. М., Дубовик В. Г., Мейта О.В., Колос Т.С. МПК В01D 3/00, С12G 3/12. Бюлетень "Промислова власність", №1, 2021 р

Науковий керівник: ст. викладач Дубовик В.Г.

S. Yatsishina¹, student

¹National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

MOBILE LIQUID DISTILLER

Abstract. *The article presents: the structure of a mobile liquid distiller and its principle of operation, a drawing of the device that explains its essence, its advantages, the process of liquid distillation, use in health care, industry and everyday life.*

Keywords: *mobile liquid distiller, structure, condensation, evaporation.*

MANAGING THE TECHNOLOGICAL PROCESS USING A NEURAL NETWORK

Abstract. Management of adjustable parameters of technological processes is associated with the arbitrary use of information line nodes of multidimensional lattice structures of technological information signals using neural networks.

Keywords: information lines, technological process, neural network

The purpose and objectives of the research. The purpose of the work is to study the possibility of using neural networks to increase the quality of technological process control by applying to its inputs values from the most informative points of lattice structures of technological information signals. The method can be used for automatic control of the technological process, for example, the performance of processes depending on the physical and mechanical properties of materials in the construction, mining and other industries, which allows to improve the thermal regime of drive electric motors, increase their reliability, productivity and efficiency of load regulation [1].

With the help of primary information sensor signals, information points of controlled and regulated parameters are formed. Such signals can be, for example, signals of current, vibration, noise, speed of rotation of the shaft of the electric motor of the feeder. Information points mean the averaged or equivalent values of the signals received from the sensors of technological information at time intervals equal to the time of discretization of time series of controlled and regulated parameters [2].

Most signals of technological information appear in the time domain as functions of time. The time axis is taken as the independent coordinate, and the amplitude axis is the dependent one. The amplitude-time representation of signals looks like the functional dependence of a certain technological parameter on an independent variable (argument) - $x(t)$, $y(t)$, etc. If you combine the time axis t and the time axis of averaging t_{yc} , then the time series become three-dimensional: $x = f(t_{yc}, t)$, $y = f(t_{yc}, t)$. To align the astronomical time axis with the averaging time axis, the initial time series is formed from the partial sums of the first m values of information points, where $m = 1, 2, 3 \dots M$, divided by the corresponding number of terms: $x_1, (x_1 + x_2)/2, (x_1 + x_2 + x_3)/3, \dots (x_1 + x_2 + \dots + x_m)/M$.

The above series is an information line of lattice structures of technological information signals. One of the nodes of this information line has the greatest informative content or value.

The lattice information field of the controlled parameter is formed using orthogonal vectors to the information line (output three-dimensional time series).

The lattice information field has the form of information nodes connected to each other by orthogonal segments of time. Information points are placed in the nodes of lattice structures. Information points at discrete moments of time are not equal to the instantaneous value of the function, but to the average or equivalent value over the time series discretization period. The possible values of the information nodes of the grid field with two-dimensional orthogonal vectors are shown below in the table 1.

Table 1

| | | | | |
|-------|---------------------|-------------------------------|-----|--|
| x_M | $(x_M + x_{M+1})/2$ | $(x_M + x_{M+1} + x_{M+2})/3$ | ... | $(x_M + x_{M+1} + \dots + x_{2M-1})/M$ |
| .. | ... | ... | ... | ... |
| x_3 | $(x_3 + x_4)/2$ | $(x_3 + x_4 + x_5)/3$ | ... | $(x_3 + x_4 + \dots + x_{M+2})/M$ |
| x_2 | $(x_2 + x_3)/2$ | $(x_2 + x_3 + x_4)/3$ | ... | $(x_2 + x_3 + \dots + x_{M+1})/M$ |
| x_1 | $(x_1 + x_2)/2$ | $(x_1 + x_2 + x_3)/3$ | ... | $(x_1 + x_2 + \dots + x_M)/M$ |

The process of forming a lattice information field includes the preliminary accumulation of information. Analysis of the composition of the lattice information field shows that to create a field (matrix) of size $M \cdot M$, information of size $2M - 1$ is required.

The bottom line is a three-dimensional information line. Field columns (matrices) (two-dimensional orthogonal vectors to a three-dimensional information line) are nothing but linear filters with a frequency spectrum of $1/n\Delta t$. Each column is a two-dimensional time series with a certain averaging time $n\Delta t$, which corresponds to a certain frequency of the process. Thus, the information field is a matrix with a spectral analysis of the $1/n\Delta t$ process. The lower row is the latest information line in time, the higher rows are the previous information lines of the lattice field shifted by one step in time. One of the nodes has the greatest information content or value.

In the information line of the controlled parameter (the original three-dimensional time series) with the help of two-dimensional orthogonal vectors, the most informative node in relation to the regulated parameter is found. The node thus found on the information line is connected to the input of the artificial neural network. The degree of informative value of the node is estimated using the correlation coefficients between the time series of the regulated parameter and the time series of the orthogonal vectors of the signals of the controlled quantities.

To determine the level of the correlation coefficient, the average values of a number of controlled and regulated parameters are found:

$$\mathcal{M}_y = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n}$$

$$\mathcal{M}_x = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

where x is a controlled parameter, y is an adjustable parameter, and n is the number of series values.

Determine the root mean square values of the controlled and regulated parameters by expressions:

$$\delta_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \mathcal{M}_y)^2} \quad \delta_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mathcal{M}_x)^2}$$

Determine the correlation coefficients of the time series of orthogonal vectors and the time series of the regulated parameter by the expression:

$$\rho = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \mathcal{M}_x}{\delta_x} \right) \left(\frac{y_i - \mathcal{M}_y}{\delta_y} \right).$$

The time series of orthogonal vectors with the highest correlation coefficient corresponds to the most informative node of the information line of the controlled parameter.

The most informative nodes of the information lines of the controlled parameters are connected to the inputs of the artificial neural network. Its training is carried out during process regulation with the help of the most experienced operators. The trained neural network provides control of the technological process in sequence with the information received from the most experienced operators.

Conclusion. The supply of parameter values from the most informative points of the lattice structures of technological information signals to the inputs of the artificial neural network allows to improve the thermal regime of drive electric motors, increase the reliability of operation, productivity and efficiency of load regulation during the execution of the technological process.

References

1. Lebediev L.M., Dubovyk V.H., Pylypchuk A.O. A method of controlling a technological process. Patent of Ukraine for utility model No. 63121. IPC B02C 25/00. Bulletin "Industrial Property", No. 18, 2011.
2. Lebediev L.M., Dubovyk V.H., Bosak A.V., Petrovskiy O. S. A method of controlling a technological process. Patent of Ukraine for utility model No. 149945. IPC B02S 25/00. Bulletin "Industrial Property", No. 50, 2021.

**Academic supervisors: Dubovyk Volodymyr, senior lecturer,
Gorodetskyi Viktor, assoc. prof.**

В. Дяченко¹, студент
¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Анотація. Керування регульованими параметрами технологічних процесів пов'язано з довільним використанням вузлів інформаційної лінії багатовимірних решітчастих структур сигналів технологічної інформації з використанням нейронних мереж.

Ключові слова: інформаційні лінії, технологічний процес, нейронна мережа.

НАСОСНІ УСТАНОВКИ ЗІ СТАБІЛІЗАЦІЄЮ ТИСКУ. ОГЛЯД РЕЖИМІВ РОБОТИ

Анотація. У статті досліджується значення використання раціональних режимів роботи та стабілізації тиску в насосних установках. Використовуючи інтелектуальні стратегії керування та оптимізуючи дизайн системи, ці підходи пропонують численні переваги з точки зору енергоефективності, продуктивності системи, зниження витрат, стабільності тиску та захисту обладнання.

Ключові слова: насосна станція, енергозбереження, керування.

Вступ. Використання раціональних режимів роботи насосних установок зі стабілізацією тиску є актуальним, оскільки це підвищує енергоефективність, оптимізує продуктивність системи, знижує експлуатаційні витрати, забезпечує стабільність тиску та захищає обладнання. Завдяки впровадженню інтелектуальних стратегій керування та врахуванню таких факторів, як коливання попиту, гідравлічні умови та характеристики системи, насосні установки можуть працювати ефективніше.

Мета та завдання дослідження. Метою даної роботи є огляд існуючих пропозицій щодо раціональних режимів роботи насосних установок із стабілізацією тиску. Завдання: дослідити вітчизняні та зарубіжні джерела щодо заданої тематики.

Матеріал та результати дослідження.

Раціональні режими роботи насосної установки зі стабілізацією тиску включають різні чинники та прийоми підтримки сталої та ефективної роботи насоса.

1. Контроль тиску: одним із підходів до досягнення стабільної роботи є контроль тиску. Використовуючи частотний перетворювач, тиск насоса можна підтримувати постійним, мінімізуючи стрибки тиску та ризик сухого ходу [3].

2. Характеристики насоса: розуміння характеристик насоса має вирішальне значення для оптимальної роботи. Насоси зі змінною швидкістю, наприклад, пропонують широкий діапазон кривих насоса, які можна вибрати за допомогою законів спорідненості, що дозволяє насосу ефективно працювати в різних точках кривої системи [5].

3. Компенсаційний об'єм: зменшений об'єм компенсатора відіграє роль у раціональному режимі роботи насоса з гідравлічним приводом. Наприклад, як фактор раціональної роботи згадується об'єм компенсатора 44-50 дм³ [1].

4. Кавітація робочого колеса: кавітація, явище, яке впливає на продуктивність насоса, може бути шкідливим для стабільної роботи. Розуміння та пом'якшення різних типів кавітації, таких як вихрова кавітація наконечника та бульбашкова кавітація, може сприяти раціональній роботі насоса [2].

5. Паралельна робота насосів: у деяких випадках насосні установки включають кілька насосів, підключених паралельно. Ця установка часто включає один регульований насос для стабілізації тиску та інший нерегульований насос для ситуацій максимального навантаження [4].

6. Іригаційні системи: для спеціальних застосувань, таких як дрібнодисперсні іригаційні системи зі штучним тиском, режими роботи насосного обладнання необхідно розглядати в межах продуктивності системи [5].

Автоматизація процесу постачання води згладжує перехідні процеси та збільшує час роботи обладнання, тому впровадження системи керування водопостачанням дозволяє швидко реагувати на різкі зміни водоспоживання, зменшити споживання електроенергії на 10–15%, зменшити витрати на обслуговування. зменшити втрати, пов'язані з аваріями. На насосних станціях усі процеси, здійснюються в строго встановленій послідовності автоматичними пристроями, усе, що пов'язано з пуском, зупинкою й контролем за станом насосно-силового устаткування, без безпосередньої участі людини.

Основними регульованими і контрольованими параметрами роботи насосної станції є:

- тиск води у напірних водоводах (тиск перебуває в потрібному діапазоні, 0–1 Мпа);
- витрата води у напірних установках;

- витрата води у всмоктувальних установках;
- рівень води, яка є на підлозі машинного залу насосної станції;
- температура самих підшипників на насосних агрегатах (вона не повинна підніматися вище 60 C°).

У сфері автоматичних насосних установок в Україні та за кордоном вже є багато готових рішень, але всі вони розмиті та безсистемні, а інформація зовсім інша (рис. 1). Вдаючись до систематизації, можна виділити два основних напрямки:

- насосна установка на базі технічного управління;
- насосна установка на основі електромеханічної системи автоматичного керування.

Гібридна система є комбінацією технічних методів керування і базується на електромеханічній системі автоматичного керування.

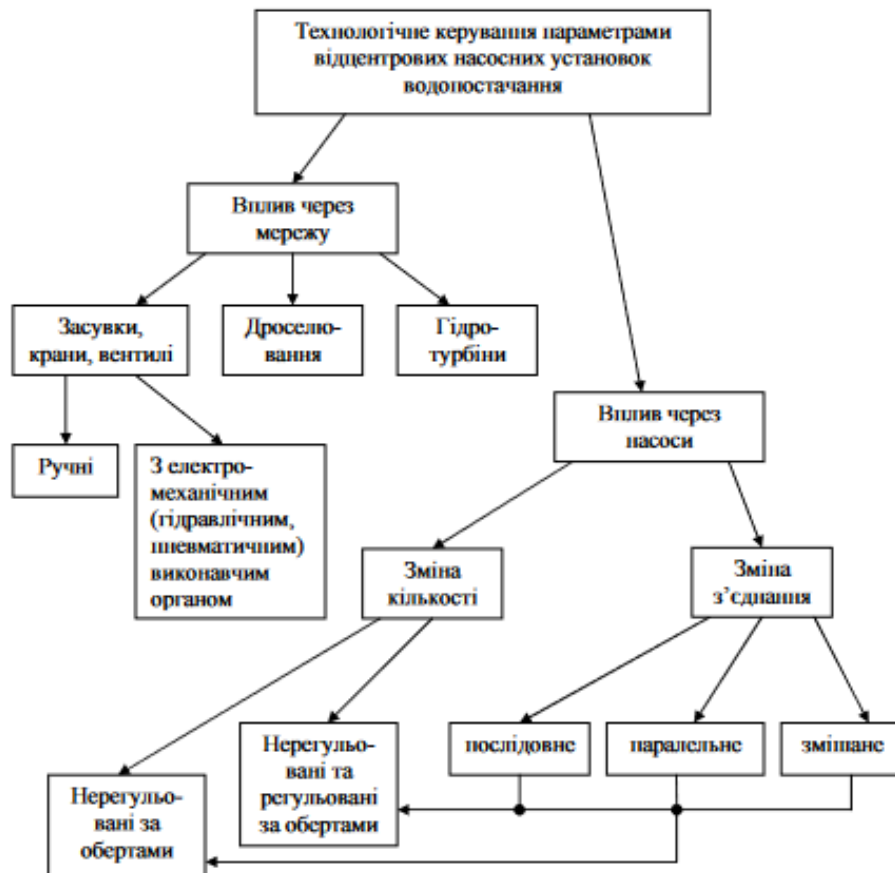


Рис. 1 – Систематизація на основі технологічного керування

Важливо оцінити засоби для точної реалізації технічного підходу. Впливаючи на саму гідравлічну систему, можемо змінювати сам потік або тиск у системі. Управління насосом є набагато ефективнішим, але потребує більше інвестицій. Для непрямих змін тиску (зміни гідравлічного опору мережі) доцільні засувки, вентилялі та крани з електромеханічними або ручними приводами. Можливе розташування дроселів, подібне до паралельного з'єднання резисторів у ланцюзі. Замість того, щоб розсіювати кінетичну енергію руху води, її можна використовувати для приводу водяного колеса, підключеного до генератора. При цьому ефективність системи також значно знижується.

Наведений вище метод фактично означає, що в мережу вводиться додатковий послідовний опір, де надлишкова енергія розсіюється. Це підвищить ефективність.

Різна кількість насосів у системі створює унікальні вимоги до їх керування. Таким чином, можна не тільки регулювати витрати (на основі відповідних датчиків), свідомо змінюючи кількість працюючих насосів у системі. З цієї опції також можна починати заходи з енергозбереження. У той же час надлишок енергії не розсіюється, а використовується індивідуально, що забезпечує більш точне керування.

Визначати точність елементів керування в мережі можна на власний розсуд. Замість одного високопродуктивного насоса використовується кілька малопродуктивних насосів. Часто в системах водопостачання одночасно використовуються нерегульовані насоси і насоси з регульованою швидкістю [4]. Для підвищення тиску в системі використовується послідовне з'єднання насосів.

Насоси підключаються паралельно, коли потрібно збільшити продуктивність. Коли тиск у точці прийняття рішення стабілізується, швидкість насоса автоматично зменшується (збільшується) у міру зменшення (збільшення) забору води.

Технічна реалізація системи стабілізації заснована на керованому електроприводі як насосного агрегату, так і запірної арматури. Стабілізація рівня води в резервуарі з метою енергозбереження організована таким чином, щоб мінімізувати перепад висоти нуля під час відкачування. Стабілізація вартості в основному використовується для систем дозування та змішування. Підвищувальні станції використовуються для підвищення тиску води в системах господарсько-питного водопостачання. Насосний агрегат забирає воду з мережі низького тиску і перекачує її в мережу високого тиску.

Програмна система керування змінює швидкість насоса відповідно до щоденного графіку споживання, попередньо встановленого в результаті експериментальних досліджень.

Для реалізації програмуемого задавача напору (швидкості) насосу можливе використання нейронних мереж. Величина необхідного тиску на виході станції залежить від поверховості житлової забудови, що обслуговується, і визначається виходячи з ДБН В.2.5-64:2012.

Витрата води на насосній станції визначається режимом водоспоживання, а також величиною втрат і витоків води у водопровідній мережі. У великих насосних станціях нерідко використовується кілька насосів, оскільки продуктивності одного насоса недостатньо. Інтерактивні системи змінюють напір (витрати) на основі оцінки побутової активності споживачів. Непряма її оцінка можлива на основі вимірювання споживання електричної енергії будинками, мікрорайонами, тощо.

Висновки. Таким чином, використання раціональних режимів роботи та стабілізації тиску в насосних установках дає значні переваги з точки зору енергоефективності, оптимізації продуктивності системи, зниження витрат, стабільності тиску та захисту обладнання. Завдяки врахуванню різноманітних факторів, впровадженню інтелектуальних стратегій керування та дотриманню найкращих практик, насосні установки можуть працювати ефективно та результативно, що веде до підвищення стійкості та експлуатаційної досконалості.

Перелік посилань.

1. Korobko, B., Khomenko, I., Shapoval, M., Virchenko, V. (2020). Hydraulic Single Pump with Combined Higher Volume Compensator Operation Analysis. In: Onyshchenko, V., Mammadova, G., Sivitska, S., Gasimov, A. (eds) Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations. ICBI 2019. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 73. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_12
2. Kan Kan, Maxime Binama, Huixiang Chen, Yuan Zheng, Daqing Zhou, Wentao Su, Alexis Muhirwa, Pump as turbine cavitation performance for both conventional and reverse operating modes: A review, Renewable and Sustainable Energy reviews, Volume 168, 2022, 112786, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112786>.
3. Луценко, А. В. (2021). Дослідження та автоматизація роботи насосної станції підкачки води з розробкою системи стабілізації тиску в магістралі.
4. Volodymyr Osadchy, Olena Nazarova, Taras Hutsol, Szymon Glowacki, Krzysztof Mudryk, Andrzej Bryś, Anatolii Rud, Weronika Tulej, Mariusz Sojak, "Adjustable Vibration Exciter Based on Unbalanced Motors", Sensors, vol.23, no.4, pp.2170, 2023.
5. CHERNYKH, A. G. Modes of operation of network pumps with shielded asynchronous motors in small irrigation systems with artificial pressure. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2023. p. 012018.

Науковий керівник: доц. к.т.н. Босак А.В.

Abstract. *The article examines the importance of using rational modes of operation and pressure stabilization in pumping installations. By using intelligent control strategies and optimizing system design, these approaches offer numerous benefits in terms of energy efficiency, system performance, cost reduction, pressure stability, and equipment protection.*

Keywords: *pump station, energy saving, control.*

МОДЕРНІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ТЮБІНГОУКЛАДЧИКА ПРОХІДНИЦЬКОГО ЩИТА WIRTH TB 576, ШЛЯХОМ ЗМІНИ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ДЕМФЕРА ГІДРОЦИЛІНДРА

Анотація. У статті приведено розрахунки для тюбінгоукладчика. Розрахунки дозволяють збільшити термін експлуатації.

Ключові слова: тюбінгоукладчик, гідроциліндр, прохідницький щит.

Прохідницький щит для горизонтальних виробок виймає ґрунт за допомогою планшайби і вибудовує оброблення всередині хвостовій обшивки, використовуючи цементні блоки з болтовим з'єднанням.

Комбайн просувається вперед, виштовхуючи останнє кільце за допомогою циліндрів. Слідом за кожним метром просування комбайна збирається кільце з блоків за допомогою укладальника блоків, розташованого на задній діафрагмі заднього щита комбайна. Блоки подаються до комбайна навантажувачем, мають пласку станину. Блоки вивантажуються за допомогою мостового крана, який переносить блоки вперед і розміщує їх в накопичувач для блоків оброблення. Накопичувач просуває блоки в зону побудови для захоплення їх укладальником.

Мета роботи. модернізація конструкції тюбінгоукладчика прохідницького щита WIRTH TB 576, шляхом зміни та проектування демфера гідроциліндра.

Матеріал та результат досліджень.

Перед тим, як провести розрахунок і вибір гідроциліндра треба зробити розрахунок кінематичної схеми тюбінгоукладчика (рис. 1.1).

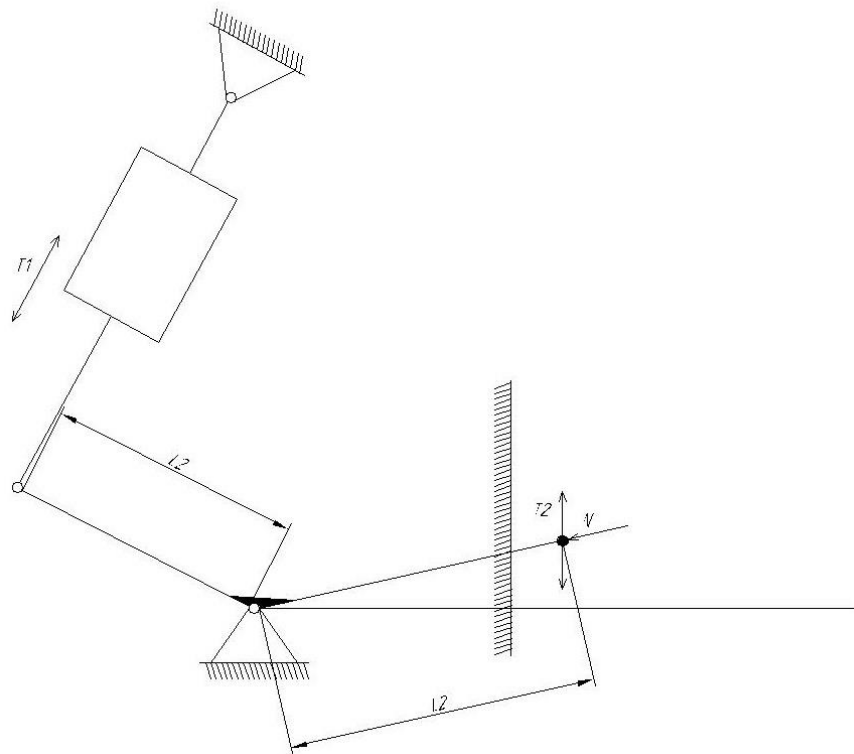


Рисунок 1.1 – Кінематична схема тюбінгоукладчика

Знаючи масу тюбінга $m_{\text{тюб}} = 2325$ кг, кут підйому плеча $L_2 \alpha = 13^\circ$, сила $N = 23250$ Н, плечі $L_1 = 85$ мм, $L_2 = 145$ мм, знайдемо зусилля T_1 і T_2 .

$$T_2 = N \cdot \operatorname{tg} \alpha = 23250 \cdot 0.23 = 5347.5 \text{ Н} \quad (1)$$

Визначивши силу T_2 , можемо тепер знайти силу T_1 .

$$T_1 = \frac{T_2}{\frac{L_1}{L_2}} = \frac{5347.5}{0.59} = 9063.5 \text{ Н} \quad (2)$$

Визначивши зусилля T_1 і T_2 , можемо виконати розрахунок основних параметрів гідроциліндра та зробити його вибір. Тож визначимо діаметр штока d із розрахунку на повздовжню стійкість, з урахуванням того, що максимальний хід поршня гідроциліндра $L_{max} = 500$ мм, коефіцієнт, враховуючий конструктивні особливості гідроциліндра $k=1$, модуль пружності $E=2 \cdot 10^5 \text{ МПа} = 2 \cdot 10^{11}$.

$$d_1 = \sqrt[4]{\frac{K^2 \cdot L_{max}^2 \cdot 64 \cdot N}{\pi^2 \cdot E}} = \sqrt[4]{\frac{1^2 \cdot 0.5^2 \cdot 64 \cdot 23250}{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^{11}}} = 0.027 \text{ м} = 27 \text{ мм}. \quad (3)$$

Виходячи з того, що нам відомо діаметр штока $d_1 = 27$ мм, робочий тиск $P = 25 \text{ МПа} = 246 \text{ атм}$, $F_{шт} = 23250 \text{ Н}$, можемо розрахувати діаметр поршня D з формули (4).

$$F_{шт} = \pi \cdot \frac{D^2 - d^2}{4} \cdot P \quad (4)$$

$$\pi \cdot \left(\frac{D^2 - 27^2}{4} \right) \cdot 246 = 23250 \text{ Н}$$

$$D^2 = 849 \text{ мм}^2$$

$$D = 29.1 \text{ мм}$$

Знайдемо площу поршня:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 849}{4} = 666.4 \text{ мм}^2 \quad (5)$$

Знаючи всі основні параметри, можемо визначити зусилля поршня:

$$F_{порш} = S \cdot P = 666.4 \cdot 246 = 163934 \text{ Н} \quad (6)$$

Вибираємо найближче значення діаметрів поршня і штока гідроциліндра згідно ГОСТ 6540-68: $D = 32$ мм; $d = 28$ мм.

Таблиця 1 – Основні технічні характеристики розрахованого гідроциліндра

| Зусилля на поршні $F_{порш}$, Н | Зусилля на шток $F_{шт}$, Н | Діаметр поршня D , мм | Діаметр штока d , мм | Робочий тиск P , МПа | Хід поршня L_{max} , мм |
|----------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|
| 163934 | 23250 | 32 | 28 | 25 | 500 |

Виходячи з цих даних та економічної доцільності, обираємо в каталозі гідроциліндр ГЦ 50.25.500.735.0025.

Програма реалізації на ЕОМ

За допомогою програми Visual Studio здійснений розрахунок кінематичної схеми тюбінгоукладчика. На рис. 1.1 і 1.2 зображено оболонку в середовищі Visual Studio. Вхідними даними є маса тюбінга $m_{тюб} = 2325$ кг, кут підйому плеча L_2 $\alpha=13^\circ$, сила $N=23250$ Н, плечі $L_1 = 85$ мм, $L_2 = 145$ мм в результаті розрахунку вихідними даними є графік залежності зміни плеча L_1 від зусилля T_1 . На даному графіку наведена крива, що показує як змінюється зусилля, при зміні плеча L_1 .

Розрахунок

$M_{\text{поб}} = 2325$ кгс $N = 23250$ Н
 $\gamma = 13$ ° $\text{tg}(\gamma) = 0,23$
 $L1 = 85$ мм $L1/L2 = 0,59$ мм
 $L2 = 145$ мм $T2 = T1 \cdot (L1 / L2) = 5347,5$ Н
Додати нові значення $T1 = T2 / (L1 / L2) = 9122,21$ Н

$T1 = 9122,21$,
 $L1 = 85$,

Побудувати графік

Рисунок 2.1 – Оболонка в середовищі Visual Studio

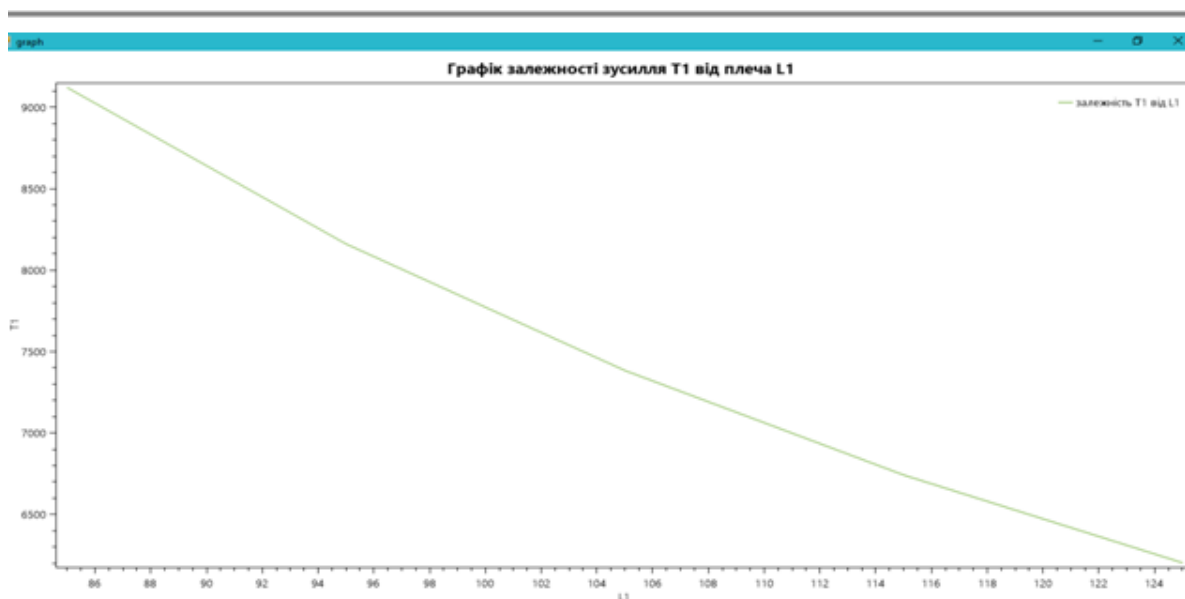


Рисунок 2.2 – Оболонка в середовищі Visual Studio

Даний графік залежності зусилля $T1$ від плеча $L1$ показує, як змінюється зусилля від довжини плеча, тож з цього можемо зробити висновок, що чим більше плече, тим менше зусилля нам потрібно буде прикласти. Але у випадку із прохідницьким щитом WIRTH TB576 місце для тьюбінгоукладчика обмежене в просторі, тому в даному випадку доцільно брати за основу довжину плеча $L1$ - 85 мм, що буде економічно вигідно.

Висновок. При проведенні аналізу інформації виявлені недоліки тьюбінгоукладчика прохідницького щита WIRTH TB576, які вирішені в результаті розрахунку, заміни та модернізації гідроциліндра. Змінюючи гідроциліндр односторонньої дії на гідроциліндр двусторонньої дії, за рахунок чого, засувка, що тримає тьюбінг, буде менше зношуватись. Дана модернізація тьюбінгоукладчика призведе до продовження строку служби деталей і самого тьюбінгоукладчика, що в свою чергу зменшить експлуатаційні витрати, що є економічно вигідним.

Список літератури:

1. М.Е .Гибшман, В.И. Попов Проектирование транспортных сооружений. 2 изд. Москва: Транспорт, 1988. 286 с.
2. В.А. Бреннер, Ал.В. Поляков, Ан. В. Поляков Горное машиностроение. Москва: Горная книга, 2009. 200 с.
3. Керівництво по експлуатації прохідницького комплексу. Документ фірми «WIRTH»

4. ГОСТ 12.47.001-73. Комбайни очисні. Вибір параметрів і розрахунок сил різання і подачі на виконавчих органах. Методика [Текст]/Введен 01.01.73-М. – Государственный совет СССР по делам строительства – 1973. – 6с.

Науковий керівник: д-р. техн. наук, проф. Зайченко С.В.

D. Shestak¹, student

¹National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

MODERNISATION OF THE WIRTH TB 576 TUBE PAVER DESIGN BY CHANGING AND DESIGNING THE HYDRAULIC CYLINDER DAMPER

Abstract. *The article provides calculations for a tubing layer. Calculations allow to increase the service life.*

Keywords: *erector, steering, tunneling shield.*

КОМБІНОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ УСТАНОВОК З ПРУЖНИМИ ЛАНКАМИ

Анотація. В роботі розглянуті методи дослідження режимів роботи та математичного моделювання підйомних та конвеєрних установок як систем з зосередженими та розподіленими параметрами, а також систем управління електроприводами ШПУ та КУ. Побудова математичних моделей розглянутих промислових установок найбільш просто досягається використанням методу структурного моделювання електромеханічних систем з розподіленими параметрами.

Ключові слова: тиристорний перетворювач, пружна ланка, комбінована система управління, розподілені параметри, електропривод з тиристорним регулятором струму.

Вступ. Автоматизація управління електроприводом ШПУ і КУ дозволяє підвищити продуктивність, надійність і довговічність роботи електромеханічного обладнання. Як підйомні установки глибоких шахт, так і КУ (конвеєрні установки) великої довжини, представляють собою складні електромеханічні комплекси, що включають пружні механічні ланки з розподіленими параметрами і системи електроприводу великої одиничної потужності. У зв'язку з цим доцільна розробка єдиної методики дослідження режимів функціонування потоково-транспортних установок з пружними ланками і способів побудови комбінованих систем управління електроприводом, що забезпечують крім виконання основних функцій – регулювання швидкості, обмеження динамічних навантажень.

При дослідженні поставлених завдань використано метод структурного моделювання складних електромеханічних систем, елементи теорії лінійних, комбінованих та оптимальних систем управління (СУ), математичний апарат теорії апроксимації та операційного обчислення. Побудова комбінованих СУ електроприводами виконано на основі принципу підлеглого регулювання координат із послідовною та паралельною корекцією.

При синтезі цифрових моделей СУ застосований метод змінних станів з використанням прямого, послідовного та паралельного програмувань. Моделювання та дослідження перехідних процесів виконано на аналогових та цифрових ЕОМ.

Мета та завдання. Розробка математичної моделі статично врівноваженої системи підйому, яка відрізняється від існуючих тим, що в ній з високою точністю враховано пружні властивості канатів, що дозволяє досліджувати СУ електроприводом ШПУ будь-якого типу.

Завдання:

1. Побудувати та дослідити універсальну структурну схему як систему, що включає електропривод і замкнутий механічний контур з пружними ланками, на основі якої виконати аналіз динамічних процесів.
2. Розробити цифрову модель комбінованої системи управління ШПУ та КУ з асинхронним приводом та ТРТ, що дозволяє досліджувати перехідні процеси за допомогою ЕОМ.
3. Запропонувати методику розрахунку електромеханічних характеристик та визначення основних параметрів силової частини асинхронного приводу з ТРТ підйомно-транспортних установок.
4. Розробити методики стабілізації динамічних навантажень в пружних системах за допомогою спеціальних пристроїв, що задають, і комбінованого управління.
5. Обґрунтувати можливість застосування асинхронної машини з фазним ротором у режимі вентильного двигуна у приводах КУ.

Матеріали та результати дослідження. При вирішенні проблеми створення оптимальних за динамічним навантаженням електроприводів підйомно-транспортних установок з пружними ланками, що забезпечують підвищення терміну служби обладнання, високу надійність і безпеку транспортування корисних копалин, до першочергових завдань необхідно віднести побудову

математичних моделей складних електромеханічних систем з пружними ланками (ШПУ, КУ) і вибір комбінованих систем управління, що оптимізують режими їх функціонування.

Розроблена та проаналізована система комбінованого позиційного керування приводом ТП-Д з абсолютно жорсткими механічними ланками та з урахуванням пружних ланок. Виведені передавальні функції пружної системи з урахуванням постійних коефіцієнтів, що залежать від відносних коефіцієнтів мас, швидкості поширення пружних деформацій, коефіцієнтів згасаючих коливань.

Алгоритмічна схема моделі системи управління асинхронним двигуном з пропорційним регулятором швидкості та ТРТ наведена на рис.1. На схемі прийняті: J – наведений момент інерції системи; P_t - значення коефіцієнта при повністю відкритих тиристорах; M – статичний момент сил опору;

Перемикання ступенів опорів (зміна коефіцієнту ρ) здійснюється блоком ВПС, який керується сигналами δ та V Логічне пристрій (ЛУ) формує сигнали A, B, C, D , які ступінчасто змінюють коефіцієнт і приводять в дію диференціюючу ланку.

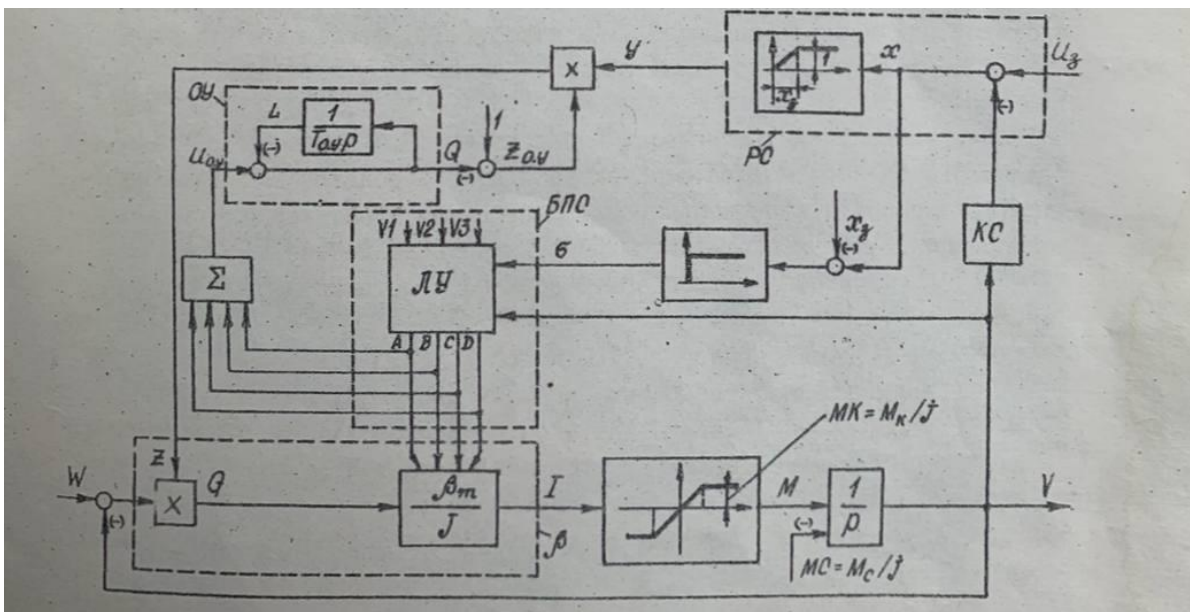


Рисунок 1. Схема моделі системи управління асинхронним двигуном з пропорційним регулятором струму та ТРТ

Перемикання ступенів опорів (зміна коефіцієнту β) здійснюється блоком ВПС, який керується сигналами σ та V логічний пристрій (ЛУ) формує сигнали A, B, C, D , які ступінчасто змінюють коефіцієнт і приводять в дію диференціюючу ланку.

Для наведеної структурної схеми моделі управління асинхронним двигуном з пропорційним РС і ТРТ складені дискретні рівняння і програма дослідження на ЕОМ перехідних процесів. Отримані графіки зміни в часі U_i, M та V . Аналіз графіків показує, що застосування комбінованого управління дає можливість здійснити пуск за законом зміни керуючого впливу незалежно від навантаження. Крім того, суттєво зменшуються кидки струму.

На основі аналізу існуючих систем електроприводу змінного струму доведена доцільність застосування регульованого приводу КУ та ШУ асинхронної машини з фазним ротором у режимі ВД. Практичне значення має питання пуску, формування моменту та оцінка динамічних якостей ВД з ланкою постійного струму. Дослідження показали, що не комутаційна здатність інвертора, а допустиме його навантаження по струму визначає значення моменту при зміні кута випередження управління. Таке положення про обмежений момент важливо з точки зору можливості збільшення рушійного моменту, а отже і прискорення в період розгону.

Висновки. Застосування методу структурного моделювання є найбільш доцільним для аналізу динаміки електроприводів підйомно-транспортних установок з пружними механічними ланками.

Оптимальне управління підйомно-транспортними установками найбільш просто досягається застосуванням комбінованого управління, яке дозволяє за допомогою додаткових каналів компенсувати інерційність динамічних ланок та наблизить реальну замкнуту систему до безінерційної ланки, в результаті чого керовані змінні з високою точністю відтворюють задаючий вплив.

Наведені алгоритмічні схеми та цифрові моделі статично врівноважених підйомних установок з системами комбінованого управління є загальними для дослідження динаміки підйомних та конвейорних установок будь-якого типу.

Науковий керівник: к.т.н., доцент Пермяков В. М.

D. Permyakov¹, student

¹National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Abstract. *The work examines the methods of researching operating modes and mathematical modeling of lifting and conveyor installations as systems with centralized and distributed pressure meters, as well as control systems for electric drives of the SPU and KU. The construction of mathematical models of the considered industrial installations is most easily achieved using the method of structural modeling of electromechanical systems with distributed parameters.*

Keywords: *thyristor converter, elastic unit, combined control system, distributed parameters, electric drive with thyristor current controller.*

Abstract: *The article presents the results of scientific research into the analysis of factors influencing the efficiency and productivity of excavator-truck complex in quarries. According to the given data it has been established that there are different scientific approaches to providing effective work of an open-pit excavator-automobile complex.*

It is pointed out that the efficiency of work of the excavator-and-truck complex depends on the mountain-geological conditions of the deposit, the physical and geotechnical properties of the rock mass, the geometrical capacity of the dump truck body and the excavator bucket, the relations between them, the idle time of the mining equipment, the distance of the rock mass transportation, the time of loading, the coefficient of the dump truck loading capacity, the characteristics of the highways, etc. However in the majority of the scientific publications is marked the importance of observance of optimum correlation between dump truck body capacity and excavator bucket capacity for the purpose of providing highly productive work of the complex of the mining equipment.

Keywords: *open pit, equipment, productivity, excavator-automobile complex, dump truck body capacity, excavator bucket capacity, rock mass.*

Introduction. Excavator-truck complex (ETC) at surface mines is a separate part of the technological system of the mining enterprise. The effectiveness of its work depends on the interaction of the individual elements, namely, excavators and dump trucks. They, in turn, are characterized by specific technological and design parameters.

In determining the factors affecting the efficiency of ETC in general, apply a theoretical approach, the experimental approach, as well as modeling. The use of theoretical dependences obtained in studies concerning the effective operation of ETC usually gives overestimated results, since in this case all negative factors are not taken into account in the process of excavation and loading operations. Experimental methods of research are characterized by the highest accuracy of results, but their use is effective only in specific mining and technical conditions of a particular mine. In addition, at carrying out experimental researches it is necessary a long duration of time and considerable material expenses. Modeling on the basis of application of specialized software complexes allows to estimate influence of separate factors on efficiency of operation of the complex. However, in this case, ETC operation will be simulated for ideal conditions. Accordingly, the research result will be inaccurate. Therefore, when investigating the factors influencing the efficiency of the complex operation, it is necessary to try to apply a comprehensive approach with the use of all previously considered research methods.

Purpose and objectives. The purpose of the study – to establish the main factors affecting the effective operation of the excavator-truck complex in the quarry.

The task of the study – on the basis of a detailed analysis of literary sources, to determine the factors of influence on the performance of excavator-truck complex and to identify the main ones.

Material and results of the research. A significant number of scientific works are devoted to the issues of increasing the efficiency of ETC operation. As noted by experts, one of the most important factors in improving the efficiency of ETC at mines is organizational improvement of the process of loading and transportation of rock mass [1]. In this case, the vast majority of scientists believe that the productivity of individual mining-loading and transport equipment in the development of rock mass is the main indicator of the effective operation of the complex of equipment [2]. Consequently, the main condition for maximum efficiency of excavators and dump trucks is their coherence.

Scientists who researched the work of ETC directly in quarries, noted that the capacity of the body of dump truck is the most important design parameter, which depends on the relationship between the capacity of the bucket excavator, the density of the extracted rock mass and the distance of its transportation [1]. It is suggested to form a complex of mining-loading and transport equipment in such a way that the number of

excavator buckets in the car body provides the maximum coefficient of loading capacity of vehicles. In this case, the duration of loading vehicles should be minimal, and the capacity of the dump truck body should be able to take the required volume of rock mass.

In order to optimize the ETC operation, it is also proposed, at the first stage, to establish the required number of dump trucks to service one excavator, and at the second stage – to determine the route by which dump trucks should move from the excavator face to the place of rock mass unloading and in the opposite direction [3]. According to scientists, this will ensure the maximum productivity of the equipment complex and lead to a reduction in the overall cost of field development.

There is a direction of research in which scientists prove that the effectiveness of the complex of equipment depends on the consistency of their parameters, that is, the capacity of the car body should be determined by the capacity of the excavator bucket. The criterion of choosing the type of equipment must be a certain ratio between the volume of the body of the dump truck V_a and the volume of the bucket of the excavator E . Researchers specify that minimal value of this ratio V_a/E must be 4 buckets in a body, and maximal value must not exceed 6-8 [4]. And to increase productivity of ETC it is necessary to reduce duration of technological stops of the equipment to a minimum.

Other scientists recommend to carry out a choice of dump truck on the basis of a condition of observance of a parity of capacity of a body of the dump truck to capacity of a bucket of the excavator within the limits from 3 up to 6 [5]. Thus for effective work of ETC six criteria of a choice of an excavator and dump truck are offered. These include: geological and geotechnical conditions of field development, excavator digging force, technological parameters of rock mass excavation, production indicators of the enterprise, operating characteristics of equipment, as well as the cost of production.

There are also studies, which indicate that for the correct choice of AEC equipment, it is necessary to take into account a certain ratio of dump body and excavator bucket volumes. Based on the results of modeling the work of excavation and loading and transport equipment in the quarry and considering the possible technological stops of the equipment and the duration of excavation and loading and transport processes, scientists have proved that the most optimal for specific conditions of the study is the ratio $V_a/E < 4$.

Some scientists note that the effective work of AEC is determined only by the ratio of the number of dump trucks and excavators working in the quarry, and the productivity of the complex depends on the downtime of the quarry equipment [6]. The parameters of mining-loading and transport equipment, in this case, are not taken into account.

To optimize the operation of ETC, some researchers propose to use the weighted average size of a piece of rock mass as the main criterion [7]. In their opinion, it will allow to establish optimum operating modes of each technological process, cost and general technical and economic indicators of ETC activity. The productivity of dump trucks will be determined by the organization of excavation and loading operations, and the quality of rock destruction will affect the duration of loading the dump truck. Also, the choice of excavator bucket capacity and the degree of vehicle loading depends on the size of the rock mass.

To establish the optimal number of means of transportation of rock mass in the section scientists recommended to use the ratios that take into account the time from the moment of departure of the dump truck from the bottom after loading to the dump (or to the point of unloading) and its return, as well as the duration of loading dump truck [8]. It is noted that the average duration of dump truck loading depends on the excavator bucket filling factor and the duration of its cycle. In turn, the excavator bucket filling factor depends on the properties of the rock mass, and the cycle time is related to the bucket capacity, strength and mechanical properties of the rock.

Other researchers point out that the efficiency of ETC operation depends on the operating conditions of the quarry equipment, the number of its units, the degree of maintenance and repair, the qualification of the maintenance personnel and the production base of the enterprise. Taking into account these indicators, it is possible to optimize the length of transportation, to provide the proper maneuverability of vehicles, to reduce the duration of trips, to eliminate delays in work and, consequently, to reduce the total cost of extraction of raw materials.

To increase the efficiency of ETC, it is recommended to use the optimization method based on the implementation of the scheme of structural reservation of vehicles to ensure uninterrupted delivery of goods. This scheme of equipment operation will ensure fulfillment of the planned volume of rock mass transportation due to prompt redistribution of motor transport units between mining and overburden excavators in case of failure of mining and transport equipment. For implementation of the ETC optimization method it is necessary to have a geographic information system at a mining enterprise.

It is also proposed to apply the method of mass service theory [7] at quarries in order to optimize the work of excavator-transport complex. Using a model of queues, the authors show the relationship between the number of dump trucks and the coefficient of using excavators, as well as the productivity and length of the transport queue while waiting for loading. The method makes it possible to determine the optimal number of dump trucks through cost analysis to find the minimum cost of ETC operation.

Experts note that one of the main problems associated with the efficient operation of quarries is the rational distribution of dump trucks and excavators in the mining faces. In order to minimize the operating costs of quarry equipment, a linear programming model for distribution of dump trucks and excavators by faces is presented. The results of scientific research show that with the help of this model it is possible to achieve a significant reduction of operating costs for excavation and transportation of rock mass.

Scientists have developed a simulation model, which makes it possible to increase the operational performance of ETC by optimizing the distribution of dump trucks by faces [7]. It is suggested to reduce downtime of dump trucks and excavators at the expense of combined fixing of dump trucks for excavators. The transport process is practically not considered in the study. From all parameters affecting the process of movement of rock mass, we consider only the distance of transportation and speed of dumper trucks.

Conclusions. The analysis of the factors which determine the effectiveness of the excavator-truck complex in the pit has shown that mining-geological conditions of the deposit, the properties of the rock mass, the geometric capacity of the dump truck body, the excavator bucket capacity, the ratio of dump truck body capacity to excavator bucket capacity, mining equipment down time, dump truck driving speed, the distance of rock mass transportation, loading time, the factor of using dump truck lifting capacity.

References

1. Frolov O.O. Udoskonalennja metodu vyznachennja racional'nyh parametriv ekskavatorno-avtomobil'nyh kompleksiv potuzhnyh kar'jeriv / O.O. Frolov, T.V.Kosenko // *Nauk. vydannja derzhavnogo un-tu «Zhytomys'ka politehnika» / Tehnichna inzhenerija*. – 2020. – №1(85). – S. 242-248.
2. Homenjuk A.V. Optymizacija struktury kompleksnoi' mehanizacii' girnychyh robot na glybokyh kar'jerah /avtoref. dys.nazdobuttja stupenja magistra: 8.05030101. – Kyi'v, 2017. – 16 s.
3. Ercelebi S.G. Optimization of shovel-truck system for surface mining / S.G. Ercelebi, A. Bascetin // *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. – 2009. – Vol.109.– P. 433-439.
4. Nguyev H. Determination of shovel-truck productivities in open-pit mines / H. Nguyev, T. L. Doan, T.T.H. Le, N.H. Do, V.V. Pham // *The 3rd International Conference on Advances in Mining and Tunneling, At Vung Tau, Vietnam, 2014*. – Vol. 3.
5. Kirmanli C. An expert system for hydraulic excavator and truck selection in surface mining / C. Kirmanli, S.G. Ercelebi // *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. – 2009. – Vol. 109. – P. 727-738.
6. Bardas' O.V. Vyznachennja vzajemozv'jazku mizh produktyvnistju ekskavatornyh kompleksiv ta avtosamoskydiv na rodovyshhah fosforytiv v Ukrai'ni / O.V. Bardas' // *Ekonomichnyj visnyk NGU*. – 2009. – № 1. – S. 62-67.
7. Lytvynchuk I.D. Analiz faktoriv, shho vplyvajut' na efektyvnist' roboty ekskavatorno-avtomobil'nogo kompleksu na kar'jeri / I.D. Lytvynchuk, A.O. Ostapchuk, O.O. Frolov // *Tezy Vseukrai'ns'koi' naukovopraktychnoi' online-konferencii' zdobuvachiv vyshhoi' osvity i molodyh uchenyh «Girnychi, budivel'ni, pryrodoohoronni tehnologii' ta ekologija»*. – m. Zhytomyr: «Zhytomys'ka politehnika», traven' 2023 r.
8. Tosun A. Determination of Optimum Truck Number at Open Coal Quarry / A. Tosun // *Archives of Mining Sciences*. –2021. – №2(66). – P. 213-225.
9. Omonov K. Organization of mining transport / K. Omonov // *American Journal Of Applied Science And Technology*. –2022. – № 12:02. – P. 52-55.

Scientific advisor: **O.O. Frolov**, Dr. of Engineering, Prof.,

І. Литвинчук¹, аспірант
А. Остапчук¹, магістр
¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВСТАНОВЛЕННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКСКАВАТОРНИХ КОМПЛЕКСІВ ПІД ЧАС ЇХ РОБОТИ В КАР'ЄРАХ

Анотація: *В статті представлено результати наукових досліджень щодо аналізу чинників, які впливають на ефективність та продуктивність роботи екскаваторно-автомобільного комплексу на кар'єрах. У відповідності до наведених даних встановлено, що існують різні наукові підходи щодо забезпечення ефективної роботи кар'єрного екскаваторно-автомобільного комплексу.*

Зазначено, що ефективність роботи екскаваторно-автомобільного комплексу залежить від гірничо-геологічних умов родовища, фізико-механічних властивостей гірничої маси, геометричної ємності кузова автосамоскида та ковша екскаватора, співвідношення між ними, простоїв гірничого устаткування, відстані транспортування гірничої маси, часу навантаження, коефіцієнту використання вантажопідйомності автосамоскида, характеристик автодоріг та ін. Однак в більшості наукових публікаціях відмічена важливість дотримання оптимального співвідношення між місткістю кузова автосамоскида та місткістю ковша екскаватора з метою забезпечення високопродуктивної роботи комплексу обладнання.

Ключові слова: *кар'єр, обладнання, продуктивність, екскаваторно-автомобільний комплекс, місткість кузова автосамоскида, місткість ковша екскаватора, гірнича маса.*

P.S. Aksiutenko¹, student

A.V. Kysel¹, student

I.K. Babichev¹, graduate student

¹National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

SIMULATION OF COMBINED LANDFILLING OF WASTE ROCK AND IRON ORE ENRICHMENT WASTE

Abstract: *According to the results of the simulation of the process of compatible dump formation in Plaxis 3D, models of dump behavior were obtained for 2 options for placing beneficiation waste on them, which allows predicting the stability of artificially created embankments throughout their entire existence.*

The possible storage volumes of enrichment waste have been determined. It was noted that when using a bulldozer dump, it is possible to increase the capacity of the dump by 8,7% without changing its geometric parameters, and when placing waste in trenches, its content in a compatible dump can reach up to 21,9% by volume.

For the considered variants of dump formation, the numerical values of the reserve coefficients of the dump's stability after its construction have been established.

Keywords: *enrichment waste; career; heap; overburden rocks; landfill formation; maximum deformations; stability margin factor.*

Introduction. As a result of beneficiation of iron ores in factories, iron ore concentrate and waste (so-called "tails") are obtained. These beneficiation wastes are sent to a tailings facility for further storage. In recent years, the problem of storing enrichment "tails" has become more and more urgent, since additional areas of land are needed for tailings storage. Therefore, researchers face the issue of developing new and/or improving existing methods of placing and storing enrichment waste in order to maximize the capacity of existing and newly designed sites for the storage of enrichment waste [1-3].

One of the ways to minimize the area for storage of beneficiation waste is to locate it on waste rock dumps. This can be implemented using two options:

- by mixing waste with overburden, using bulldozer dump formation;
- by separately backfilling enrichment "tails" in the trench formed on the overburden dump.

Domestic and international experience shows that the combined location of beneficiation production waste and waste rock in landfills is most effective only in a dry state.

In this regard, the optimization of the parameters of the combined dumping of overburden and beneficiation "tails" in the specific conditions of the mining enterprise is important.

Purpose and tasks. Taking into account the relevance of the issue of placement of beneficiation waste, the purpose of this article is to establish the possibility of joint waste rock formation and iron ore "tails" by modeling this process.

The task of the research should be to determine the numerical values of the coefficient of stability of the combined dump after its formation.

Material and research results. To solve the problem of storage of beneficiation waste at the Poltava mining and beneficiation plant, it is recommended to store waste in a dry state with a relative humidity of the storage material of 10-15% [4,5]. Despite some disadvantages of dry storage of enrichment "tails", this method is the easiest to implement and to some extent solves the problem of the lack of tailings storage facilities.

Modeling of the behavior of a combined dump during its formation, when waste from beneficiation factories is placed in it, was performed in the Plaxis 3D software complex [6]. The task of the modeling was to determine the coefficient of the reserve stability of the dump and establish the permissible deformations that occur during its construction. Based on the Coulomb-Mohr strength theory, the deformations of the artificial rock embankment, namely, the dump, and the degree of its stability were established using the finite element method.

The initial data for modeling are the basic physical and mechanical properties of the waste rock and enrichment "tails" and the design parameters of the waste (Table 1).

Table 1 – Design parameters of the dump

| № | Basic parameters | Dimensionality | Indexes |
|---|--|----------------|----------------------|
| 1 | The existing number of dump tiers | units | 3 |
| 2 | Markings of the horizons of the tiers | m | +70,0; +88,0; +108,0 |
| 3 | The number of dump tiers according to the project | unit | 11 |
| 4 | The final mark of the design dump | m | +268,0 |
| 5 | The average height of the project tiers | m | 20,0 |
| 6 | The angle of non-working dump slope | degrees | 30-35 |
| 7 | The width of the inter-storey terraces on the dump | m | 50,0-80,0 |

Based on the results of simulation of the proposed options for dumping overburden and beneficiation production waste, models of joint dump formation after the construction of the dump were obtained [7]. Fig. 1 presents a geomechanical model after the formation of a dump when the mining mass is dumped by a bulldozer down the slope, and Fig. 2 shows a geomechanical model after the placement of beneficiation waste in a trench.

The modeling of the dump formation process was carried out in stages, starting with the construction of the 4th tier, because the 3 lower tiers already exist.

Fig.3 shows the development of deformation processes that occur during joint dump formation as tiers are formed, for 2 variants of joint dump formation [8, 9].

Conclusions. Based on the results of the simulation of the process of compatible waste disposal in Plaxis 3D, models were obtained for 2 options for the placement of beneficiation waste on the quarry dump. These models make it possible to predict the behavior of the dump throughout its lifetime.

The estimated volumes of enrichment waste storage are established and it is indicated that when using a bulldozer dump, the capacity of the dump can be increased by 8,7% without changing its geometric dimensions. When waste is placed in trenches, its content in the total volume of a compatible dump can reach up to 21,9%.

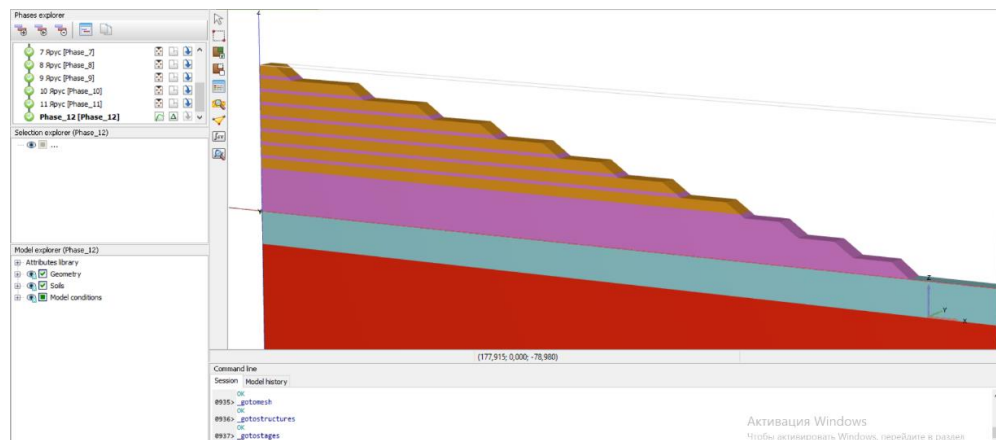


Fig. 1. Geomechanical model of a combined dump during bulldozer dumping

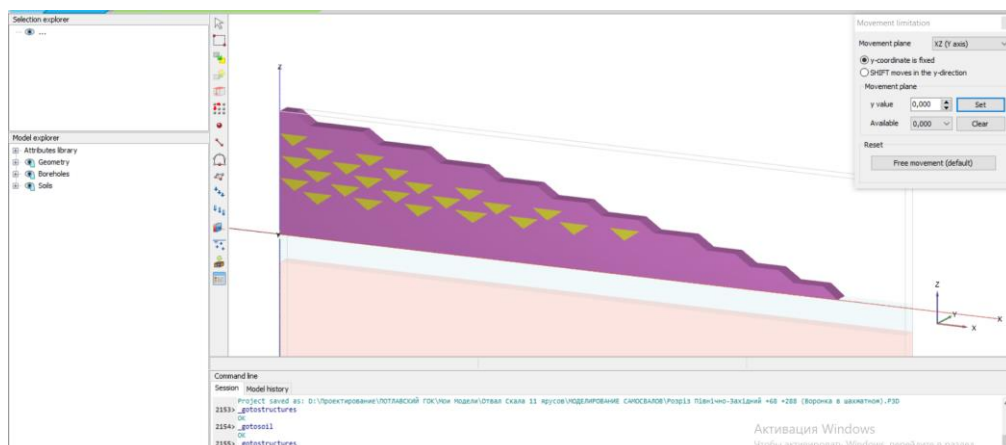


Fig. 2. A model of a combined dump during dumping of beneficiation waste in a trench

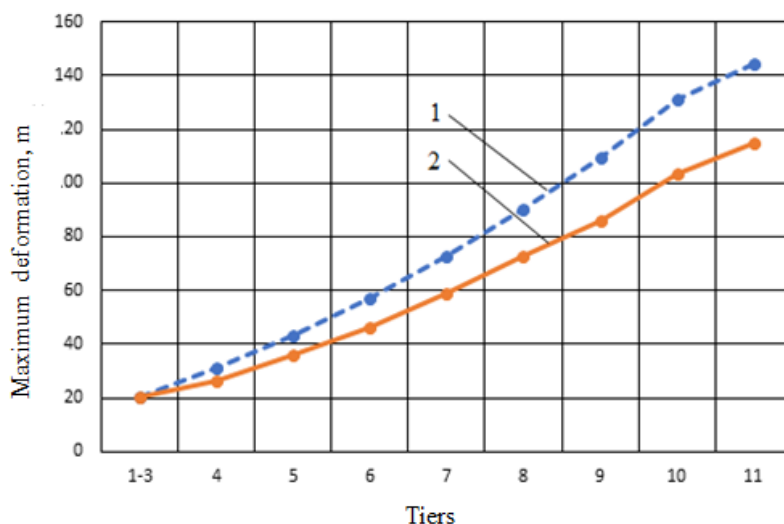


Fig. 3. An increase in the maximum deformations of the dump as the tiers increase: 1 – during bulldozer dumping; 2 – when placing enrichment "tails" in the trench

In addition, for the considered options of dump formation, the numerical values of the reserve coefficient of dump stability after its formation were determined. It was established that their calculated values exceed the minimum permissible $n=3$ according to the current norms. Thus, the value of the coefficient of stability of a compatible dump during bulldozer dump formation is 1.325, and when dumping enrichment waste in a trench is 1.329.

Therefore, the formation of a combined dump from overburden rocks and waste from the production of the beneficiation factory according to the indicated options for tailings is possible and expedient. The choice of the most effective option of waste disposal should be justified by economic calculation.

References

1. Medvedeva, O.A. Development and exploitation of storages of enrichment process wastes as anthropogenic deposits // Theoretical and practical solutions of mineral resources mining – Pivnyak, Bondarenko & Kovalevska (eds), 2015 Taylor & Francis Group, London, ISBN: 978-1-138-02883-8. – P. 567–573.
2. Francesca C. Study of large deformation geomechanical problems with the material; point method. / Prof. Stefano L. University of Padua, Italy, 2015.
3. Aksjutenko P.S. Problemy zberigannja vidhodiv zbagachennja zaliznoi' rudy / I.K. Babychev, P.S. Aksjutenko, O.O. Frolov // Tezy Vseukrai'ns'koi' naukovo-praktychnoi' online-konferencii' zdobuvachiv vyshhoi' osvity i molodyh uchenyh, prysvjachenoj' Dnju nauky. – m. Zhytomyr: «Zhytomyrs'ka politehnika», 16-20, 26 travnja 2022 r. – S.127-128.
4. Babychev I.K. Naukovo-doslidna robota «Sumisne skladuvannja rozkryvnyh porid z kar'jeru ta osushenyh vidhodiv vid zbagachennja u vidvalah PRAT «Poltavs'kyj GZK»/ TOV «DJuIS». – K. – 2021. – 79 s.
5. Babichev I. K. Tehnologija formuvannja porozhnyh dlja rozmishhennja vidhodiv zbagachennja na vidvali skel'nyh porid /I.K. Babichev, O.O. Frolov// Tezy VIII Vseukrai'ns'koi' naukovo-praktychnoi' konferencii' studentiv, aspirantiv ta molodyh vchenyh «Perspektyvy rozvytku girnychoi' spravy ta racional'nogo vykorystannja pryrodnyh resursiv», 21-22 zhovtnja 2021 roku. – m. Zhytomyr: Zhytomyrs'ka politehnika. – S.2-7.
6. Frolov O.O. Simulation of joint formation of career overburden rock with placement of iron ore enrichment waste / I.K. Babychev, I.M. Yevtushenko, O.O Frolov // Naukovo-tehnichnyj zhurnal «GEOINZhENERIJA» – Kyi'v: KPI im. Igorja Sikors'kogo, 2021. – Vyp. 6. – S. 54-62.
7. Frolov O.O. Obg'runtuvannja bezpechnyh parametriv vidvalu pry sumisnomu skladuvanni rozkryvnyh porid kar'jeru ta vidhodiv zbagachennja / O.O. Frolov, I.K. Babychev // Nauk. vydannja derzhavnogo un-tu «Zhytomyrs'ka politehnika» / Tehnichna inzhenerija. – 2021. – №1(87). – S. 163-168.
8. Frolov O.O. Modeljuvannja povedinky vidvalu pry sumisnomu rozmishhenni rozkryvnyh porid kar'jeru ta vidhodiv zbagachennja / I.K. Babychev, O.O. Frolov // IV Mizhnarodna naukovo-tehnichna konferencija "Problemy geoinzhenerii' ta pidzemnoi' urbanistyky". – m. Kyi'v, KPI im. Igorja Sikors'kogo, 10-11 chervnja 2021 r. – S. 5-9.

9. Aksjutenko P.S. Rezul'taty modeljuvannja sumisnogo vidvaloutvorennja porid rozkryvu ta vidhodiv zbagachuval'nyh fabryk / P.S. Aksjutenko, R.S. Hoca, O.O. Frolov // Tezy Vseukrai'ns'koi' naukovopraktychnoi' online-konferencii' zdobuvachiv vyshhoi' osvity i molodyh uchenyh «Girnychi, budivel'ni, pryrodohoronni tehnologii' ta ekologija». – m. Zhytomyr: «Zhytomyrs'ka politehnika», 2023.

Scientific advisor: **O.O. Frolov**, Dr. of Engineering, Prof.,

П.С. Аксютенко¹, студент

А.В. Кисель¹, студент

І.В. Бабичев¹, студент випускник

¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНОГО ЗАХОВАННЯ ПУСТИХ ПОРІД ТА ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ

Анотація: *За результатами моделювання процесу сумісного відвалоутворення в Plaxis 3D отримано моделі поведінки відвалів для 2-х варіантів розміщення на них відходів збагачення, що дозволяє спрогнозувати стійкість штучно створених насипів впродовж усього терміну їх існування.*

Визначено можливі обсяги складування відходів збагачення. Відмічено, що при використанні бульдозерного відвалоутворення можливе підвищення місткості відвалу на 8,7% без зміни його геометричних параметрів, а при розміщенні відходів у траншеях, їх вміст у сумісному відвалі може досягати до 21,9% за об'ємом.

Для розглянутих варіантів відвалоутворення, встановлені чисельні значення коефіцієнтів запасу стійкості відвалу після його спорудження.

Ключові слова: *відходи збагачення; кар'єр; відвал; породи розкриву; відвалоутворення; максимальні деформації; коефіцієнт запасу стійкості.*

CHARACTERISTICS AND COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ESTIMATION METHODS OF THE REAL STRENGTH OF ROCK MASSES

Abstract: *The importance of estimation of real durability of mountain massifs at development of mineral deposits is marked. The comparative analysis of various methods of an estimation of durability of mountain massifs, in particular numerical methods, tests on samples of rocks, graph-analytical methods and on normative data is executed.*

By results of the analysis of different methods of an estimation of durability of massifs the factors influencing on durability of mountain massifs. The comparative analysis of foreign and domestic methods of an estimation of durability of mountain massifs in view of their numerical indicators is carried out. Examples of indicators of rock massif condition used in foreign researches, such as RMR (Rock Mass Rating), RQD (Rock Quality Designation), R_{Mi} (Rock Mass index) and Hoek-Brown criterion are given.

It was found that all of them, regardless of domestic or foreign affiliation, depend on the state (index) of fracturing of the rock massif. Comparison of numerical indices of rock massif strength estimation reduced to relative units showed their identity with insignificant deviations related to the conditions of their determination.

Keywords: *rock massif; strength index; structural weakening coefficient; actual strength; fracture modulus; ultimate strength; degree of massif disturbance.*

Introduction. Evaluation of the strength of rock massifs is very important in the mining industry. It allows you to choose the right construction technology before building tunnels, mines or other engineering structures, as well as in the development of mineral deposits.

The task of assessing the strength of rock masses is complex and requires the use of various methods and approaches. A comparative analysis of the different rock strength assessment methods helps to establish certain patterns and factors that influence rock strength reduction, and provides insight into the feasibility of applying a particular method to specific conditions. It helps engineers and geologists to make reasonable decisions on safety and efficiency of construction and operation of mining enterprises.

Among the methods of assessment the most common are analytical methods, tests on rock samples (experimental), graph-analytical methods and normative values of strength indicators. It is important to compare domestic and foreign methods of assessing the strength of rock masses to bring them into mutual correspondence.

Purpose and Objectives. The aim of this article is to carry out a comparative analysis of existing foreign and domestic methods for estimating the strength of rock massifs to further determine their numerical indicators. Therefore, the task of the present study is to determine the factors influencing on the decrease of strength of massifs depending on their structural structure.

Material and results of the study. It is well known that each rock massif has its own structural structure. In particular, it has a system of natural cracks, layering, different degrees of watering and other indicators [1-3]. That is, the rock mass is characterized by spatial heterogeneity of its structure. Therefore, there is almost always a difference in the overall strength of the rock massif and the rocks of which it is composed. In order to assess the degree of this difference in the domestic scientific community introduced the concept of "structural weakening coefficient", which is expressed as the ratio of the uniaxial compressive strength of the rock massif to the laboratory sample of the rock from which this array is composed [4].

Foreign scientists do not apply the concept of structural weakening coefficient, but in their studies to study and establish the strength properties of the rock mass, they use other indicators that characterize a certain state of the rock mass. In particular, Roshöff K., Lanaro F., and Jing L. offer to assess the state of the rock massif RMR (Rock Mass Rating) [5]. Scientists Hoek E., Carranza-Torres C.T. and Corkum B. recommend for this indicator of rock quality RQD (Rock Quality Designation) [5]. To evaluate the state of the rock mass, Palmstrom A., in his scientific work, offers to use the index of rock mass R_{Mi} (Rock Mass index) [6]. There is also in the scientific community the Hoek-Brown method, a criterion for the transition from the strength of a laboratory rock sample to the total strength of the massif [7]. For the vast majority of the above-mentioned

indicators, depending on the state of the rock massif, given numerical values and / or proposed formulas for their calculation.

Let us briefly analyze domestic regarding the definition of the coefficient of structural weakening and foreign studies on the study of indicators of assessment of the state of the rock massif [8]. In particular, domestic regulations recommend that the specified coefficient of structural weakening determined by the average distance between cracks in rocks (Table 1).

Table 1 – The value of the coefficient of structural weakening of the array K_c

| Average distance between cracks in rocks, m | K_c |
|---|-------|
| More than 1,5 | 0,9 |
| 1,5...1,0 | 0,8 |
| 1,0...0,5 | 0,6 |
| 0,5...0,1 | 0,4 |
| less than 0.1 | 0,2 |

Other scientific sources recommend that the value of the coefficient of structural weakening depending on the type of disturbance of the rock massif (Table 2) [8].

Table 2 – Value of structural massif weakening coefficient K_c

| Type of rock mass disturbance | Monolithic weakly fractured structures | Medium cracked | Heavily cracked | Crushing zones, geological disturbances |
|--|--|----------------|-----------------|---|
| Structural weakening coefficient K_c | 0,8 | 0,5 | 0,4...0,3 | 0,2...0,1 |

In the Design Guide of mine workings ensures the graph of the coefficient of structural weakening of the rock mass from the modulus of fracturing of rocks (Fig. 1).

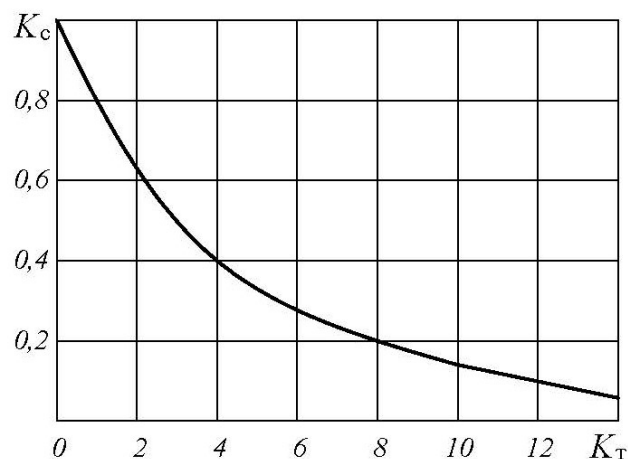


Fig. 1. Dependence of structural looseness coefficient K_c on fracture modulus K_T

In the U.S. is well known method of evaluation of massive rocks by the rock quality index RQD (Rock Quality Designation) [5], which is recommended to calculate by the following formula

$$RQD = Z \left(\sum \frac{l_i}{L} \right) \quad (1)$$

where Z – value of core recovery, %; $\sum l_i$ – total length of undisturbed core pieces with length not less than 10 cm, cm; L – length of investigated borehole interval.

To determine the quality index RQD , tables were made and graphs were plotted. Palmström presented a direct relationship between RQD and the specific fracturing of the rock mass:

$$RQD = 115 - 3,3J_v \quad (2)$$

where J_v is the volumetric number of fractures, that is, the total number of fractures per unit length of the massif.

Below are numerical values of the indicator RQD depending on the state of the massif, namely natural fracturing [5]. It should be noted that the quality of the rock massif corresponds to the domestic category of fracturing (Table 3).

Table 3 – The value of the rock mass condition indicator RQD

| | | | | | |
|------------------------------------|-----------|---------|--------------|---------|----------|
| Quality of the rock massif | very poor | poor | satisfactory | good | perfect |
| Average distance between cracks, m | to 0.1 | 0,1-0,5 | 0,5-1,0 | 1,0-1,5 | Over 1.5 |
| RQD , % | to 25 | 25-50 | 50-75 | 75-90 | 90-100 |

In order to compare the methods of evaluation of rock massif based on RQD with the coefficient of structural weakening was combined them on one graph of the dependence on the modulus of fracturing (Fig. 2) [9].

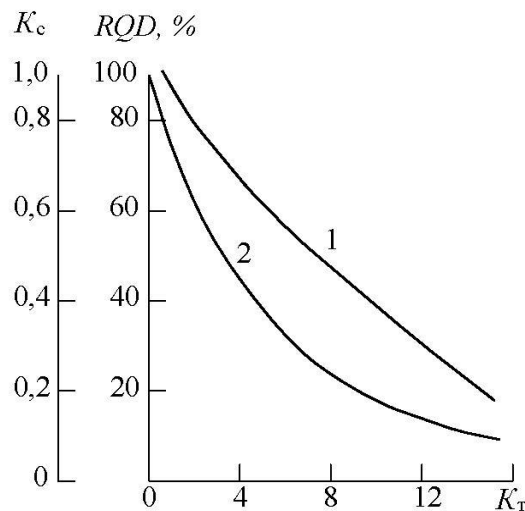


Fig. 2. Dependence of RQD values (1) and structural weakening coefficient K_c (2) on the fracture modulus K_τ

Abroad, the classification of rock massifs according to the RMR (Rock Mass Rating) [5] is also popular. Table 4 shows the numerical values of RMR depending on the class of rock mass. The table shows that the rock massif is divided into five classes in the same way as the domestic classification of rocks by degree of fracturing.

Table 4 – Numerical values of RMR depending on the class of rock massif

| | | | | | |
|------------------------|-----------|-------|--------------|-------|-----------|
| Mountain range class | I | II | III | IV | V |
| Classification | very good | good | satisfactory | poor | very poor |
| The value of RMR , % | 100-81 | 80-61 | 60-41 | 40-21 | 20-0 |

Conclusions. So, according to the results of the comparative analysis of methods of rock massifs durability estimation, it is established that all of them, regardless of domestic or foreign origin, are based on

the state (index) of rock massif's fracturing. This indicates that the essence of foreign indicators of rock massifs quality estimation (representation in percentage) is the same as the domestic coefficient of structural weakening (representation in relative units). Comparison of numerical indicators of rock massif strength evaluation, reduced to relative units, showed their identity with minor deviations associated with the conditions of their determination (see Fig. 2).

References

1. Frolov O. Establishment of factors of influence on the strength of rock mount / Mykyta Beltek, Liubov Besarabets, Oleksandr Frolov // 5nd International Scientific and Technical Internet Conference "Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources", November 11. Book of Abstracts. - Petroşani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2022. P. 125-127.
2. Frolov O.O. Analiz faktoriv, shho vplyvajut' na micnist' trishhynuvatogo girs'kogo masyvu / M.I. Bel'tek, N.A. Jevpak, O.O. Frolov // Tezy Vseukrai'ns'koi' naukovy-praktychnoi' online-konferencii' zdobuvachiv vyshhoi' osvity i molodyh uchenyh, prysvjachenoj' Dnju nauky. – m. Zhytomyr: «Zhytomyrs'ka politehnika», 16-20, 26 travnja 2022 r. – S.129-130.
3. Bel'tek M.I. Vplyv mezhi kontaktu porid riznoi' micnosti na diju vybuhu poruch roztashovanyh zarjadiv / M.I. Bel'tek, V.M. Fastovshhuk, O.O. Frolov // Tezy Vseukrai'ns'koi' naukovy-praktychnoi' online-konferencii' zdobuvachiv vyshhoi' osvity i molodyh uchenyh, prysvjachenoj' Dnju nauky. – m. Zhytomyr: «Zhytomyrs'ka politehnika», 16-20, 26 travnja 2022 r. – S.130-131.
4. Bel'tek M.I. Analiz metodyk vyznachennja koeficijentu strukturnogo oslablennja girs'kogo masyvu / M.I. Bel'tek, O.O. Frolov // Tezy VIII Vseukrai'ns'koi' naukovy-praktychnoi' konferencii' studentiv, aspirantiv ta molodyh vchenyh «Perspektyvy rozvytku girnychoi' spravy ta racional'nogo vykorystannja pryrodnyh resursiv», 21-22 zhovtnja 2021 roku. – m. Zhytomyr: Zhytomyrs'ka politehnika. – S.8-11.
5. Catrin Edelbro. Evaluation of rock mass strength criteria / Department of Civil and Environmental Engineering, Division of Rock Mechanics, - Luleå: Luleå tekniska universitet, Luleå University of Technology, 2004, p. 98.
6. Palmström, A. RMi - a system for characterizing rock mass strength for use in rockengineering // Journal of Rock Mechanics and Tunnelling Technology. 1995. Vol. 1(2). P. 69-108.
7. Hoek, E., Carranza-Torres, C.T. and Corkum, B. (2002), Hoek-Brown Failure Criterion - 2002 Edition. Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symposium, Toronto, July 7-10, 2002, 267-273.
8. Frolov O.O. Doslidzhennja vplyvu trishhynovatosti skel'nogo girs'kogo masyvu na koeficijent strukturnogo oslablennja / O.O. Frolov, M.I. Bel'tek // Nauk. vydannja derzhavnogo un-tu «Zhytomyrs'ka politehnika» / Tehnichna inzhenerija. – 2022. – №2(90). – S. 183-192.
9. Bel'tek M.I. Analiz zakordonnyh metodyk ocinky micnosti porid v girs'komu masyvi / M.I. Bel'tek, N.A. Jevpak, O.O. Frolov // Tezy IX Vseukrai'ns'koi' naukovy-praktychnoi' konferencii' studentiv, aspirantiv ta molodyh vchenyh «Perspektyvy rozvytku girnychoi' spravy ta racional'nogo vykorystannja pryrodnyh resursiv», 17 lystopada 2022 roku. – m. Zhytomyr: Zhytomyrs'ka politehnika. – S.17-19.

Scientific advisor: **O.O. Frolov**, Dr. of Engineering, Prof.,

М.І. Бельтек¹, студент випускник
Н.А. Євпак¹, студент
¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ РЕАЛЬНОЇ МІЦНОСТІ ГІРСЬКИХ МАСИВІВ

Анотація: *Зазначена важливість оцінки дійсної міцності гірських масивів при розробці родовищ корисних копалин. Виконано порівняльний аналіз різних методів оцінки міцності гірських масивів, зокрема чисельних методів, випробувань на зразках порід, графоаналітичних методів та за нормативними даними.*

За результатами аналізу різних методик оцінки міцності масивів визначено чинники, які впливають на міцність гірських масивів. Проведено порівняльний аналіз закордонних та вітчизняних методів оцінки міцності гірських масивів з урахуванням їх чисельних показників. Наведені приклади показників стану гірського масиву, що використовуються в закордонних дослідженнях, такі як RMR (Rock Mass Rating), RQD (Rock Quality Designation), RMi (Rock Mass index) та критерій Хоека-Брауна.

Встановлено, що усі вони, незалежно від вітчизняної або закордонної приналежності, залежать від стану (показник) тріщинуватості гірського масиву. Порівняння чисельних показників оцінки міцності гірських масивів, приведених до відносних одиниць, показало їх ідентичність з незначними відхиленнями, пов'язаними з умовами їх визначення.

Ключові слова: *скельний гірський масив; показник міцності; коефіцієнт структурного ослаблення; дійсна міцність; модуль тріщинуватості; межа міцності; ступінь порушеності масиву.*

ANALYSIS OF THE CAUSES OF DEFORMATION OF SLOPES IN OPEN-PIT MINE

Abstract: *The main reasons for the occurrence of deformation phenomena on the slopes of mountain massifs are determined. A brief analysis of possible types of deformation of slopes in quarries is given. To ensure the stability of the rock mass and prevent its destruction from a certain type of deformation.*

A detailed study of the structural structure of rock masses and their physical and mechanical properties, as well as the possible degree of watering, suggests the development of special measures to manage the stability of quarry slopes. Such measures include massif drainage, slope rotation in terms of the identified weakening surfaces, development of a special technology for drilling and blasting operations at quarries, controlled collapse of rock ledges and formation of artificial landslides of clay rocks, and ensuring the required size of the safety platform when filling artificial embankments.

Keywords: *quarry; mountain massif; slope deformations; scree; landslides; subsidence; surfacing.*

Introduction. In most cases, open-pit mining is accompanied by the deformation of the roadside massifs, capital and cuttings trenches, and transport access roads. Deformation processes can be short-term or long-term and usually result in landslides. In any case, deformations of quarry slopes reduce the efficiency of deposit development, cause significant material damage to the quarry, disrupt the design and safe performance of mining operations, and increase the loss of minerals [1]. Therefore, ensuring the stability of open-pit slopes is one of the most important scientific and technical challenges in mining and is certainly relevant. To solve this problem, it is necessary to identify the causes of rock deformations, and all possible variants of their manifestations, and choose the right measures to eliminate and reduce the effects of deformations [2].

Purpose and objectives. Taking into account the importance of ensuring the safety of mining operations, the purpose of the study is to identify the main causes of deformation on the slopes of workings and sides of pits and to analyze deformation phenomena in the worked-out space.

The task of the study is to investigate deformation phenomena occurring in the open pit for further development of preventive measures and measures to combat them.

Material and research results. According to the research of scientists [3], all deformation phenomena on the slopes of ledges, sides of quarries and dumps, as well as transport ramps are divided into five types:

- 1) scree;
- 2) cave-ins (collapses)
- 3) landslides
- 4) subsidence;
- 5) surfacing.

In turn, these types of deformations in quarries have many varieties that occur in different mining and geological conditions. In addition, there is no clear boundary even between certain types of deformations.

The main reasons for the occurrence of deformation phenomena are

- Inconsistency of the slope angles of quarry slopes with the mining and geological conditions or insufficient knowledge of these conditions (in particular, structural and tectonic faults in the rock mass and its physical and mechanical properties);

- absence or inefficiency of drainage workings;

- incorrect mining operations at the open pit;

- misconception of the nature of deformation phenomena and underestimation of their consequences;

- application of an incorrect method for calculating slope parameters and assessing their stability.

Let's analyze the most common cases of deformation of quarry slopes at open pit mines. When excavating soils and weak rocks with a straight shovel excavator, the slopes of 10-15 m high ledges are usually concave (Fig. 1, a). Since the slope angle of the slopes is greater than the natural slope angle of the rock, the upper part of the escarpment gradually collapses over time and a slope with an angle of approximately 34-36° accumulates at its base. The process of destruction and slumping of a part of the slope is completed only after the slope reaches the upper edge of the slope.

Otherwise, when massive explosions are carried out in quarries using vertical borehole charges, partial destruction of rocks occurs along the contour of the industrial block. After the excavator removes the crushed rock mass from the industrial block, the rock remains in the ledges, which have been weakened, i.e. have no more than 20-25% of the natural strength of the rock mass. Over time, such slopes of the ledges crumble, i.e., scree is formed.

In the cases under consideration, the protective berms between the slopes of the pit wall are covered with scree from the overlying slope and may be partially destroyed. As a result, the quarry wall in some areas looks like a continuous ledge of considerable height.

Typically, slope collapses in open-pit mines occur along naturally weakening surfaces. These surfaces include tectonic faults, contacts of different rocks with different strengths, cracks of considerable length, and layering that descends towards the interior of the quarry (Fig. 1, b). Since the strength of the rock mass along the weakening surfaces is several times lower than that of the solid mass, the values of the slope angles of the ledges after their collapse completely depends on the orientation of these weakening surfaces in space.

There are several types of rockfalls, depending on the weakening surfaces and their spatial location:

- 1). Rock collapse along the longitudinal or diagonal slope of the weakening surface relative to the slope of the workings;
- 2). Landslide with the collapse of the rock prism along the steeply falling and undercutting weakening surfaces;
- 3). Collapse of the rock wedge along the connected weakening surfaces, which are undercut by the working face;
- 4). Collapse of the rock prism along two diagonal weakening surfaces of steep dip;
- 5). Falls of rock prisms and pyramids formed by at least three weakening surfaces.

Like scree, cave-ins form continuous slopes of the pit sides. However, unlike scree, in which the volume of rock mass on the berms gradually increases, the formation of cave-ins is sudden and lasts for several seconds, and the results can be catastrophic.

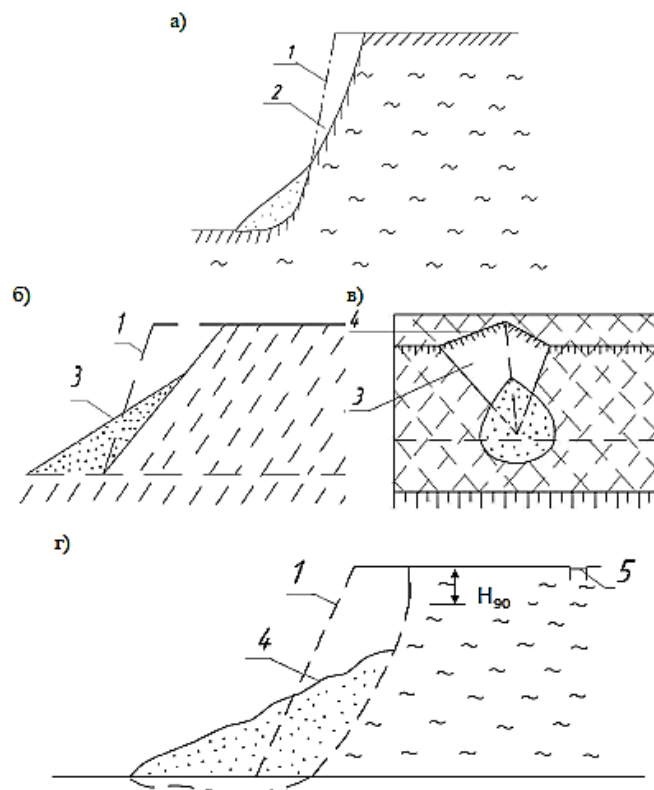


Figure 1 – Deformations of slopes in quarries: a - slope in clay and loam; b, c - slopes in rocky fractured rocks; 1 - design position of the slope; 2 - after the formation of the slide; 3 - after the collapse; 4 - after the landslide; 5 - drainage ditch; d - slope in clay rocks

Landslides can occur in mountain ranges composed of weak, usually clayey rocks, if there are drainage ditches or depressions in the vicinity of them where water accumulates (Fig. 1, c, d). In this case, the water that penetrates the massif remains in it and saturates the rocks to the full extent of swelling. The water-saturated

massif moves along the sliding surface in the form of a vertical crack at the top and a smooth curve in the lower and middle parts. In this case, the part of the rock mass that has slid away is usually completely loosened and becomes even more capable of absorbing water.

Loosened and fully saturated with water, clay rocks acquire the properties of a soil paste. They accumulate on the ledge areas at an angle of 12-14°, and later, the water-saturated landslide mass can turn into quicksand. The width of the rock sliding depends on the plasticity of the clay and the height of the ledge. The higher the values of these parameters, the greater the width.

Subsidence, as a type of rock deformation, is most common in clay rock dumps, but it can also occur in the open pit space on artificially filled transport routes [4]. As a result of natural gravity sorting, when the clay is dumped, the bottom layer of the artificial embankment is formed from large pieces (the so-called highly porous layer). The middle layer contains medium-sized pieces of rock and the top layer contains the smallest rock particles, which form a zone of continuous medium. As the height of the artificial embankment increases, the pressure on the rocks in the lower and middle layers increases. The weakest pieces of rock are destroyed and fill the free space, which leads to compaction of the embankment and its subsidence. The process of embankment compaction and subsequent subsidence is intensified when the rocks are moistened. In many cases, subsidence is the initial stage of landslide phenomena, especially when the dumps are based on clayey rocks.

At almost every open-pit mine in Ukraine, you can find slope failures of various types of rock. Slopes consisting of rock and semi-rock are prone to localized collapses. The slopes of the massif composed of clayey rocks, when fed with water, are potentially a source of local landslides. Subsidence is observed during the filling of dumps and temporary slip roads, which are based on clay rocks. Sometimes slopes occur in the form of slumps. They are typical for clay rocks saturated with water.

Conclusions. Taking into account the above brief analysis of possible slope deformations, it can be concluded that one of the main technological tasks at the quarry is to ensure the stability of the rock mass and prevent its destruction from a certain type of deformation. It is not always possible to eliminate the main cause of deformation (e.g., landslides or local cave-ins). In this case, it may be advisable to take measures to reduce the effects of slope deformation. In particular, it is necessary to clean the safety berms in case of accumulation of rock slides, install barrier walls, use artificial strengthening of weakened areas of rock masses, create buttresses, etc.

In cases where the structural structure of the rock masses, their physical and mechanical properties, the degree of watering, etc. are studied in detail, it is necessary to develop special measures to manage the stability of quarry slopes. These may include drainage of massifs; turning slopes concerning identified weakening surfaces; development of special technology for drilling and blasting operations in quarries when placing the sides on the design contour; the controlled collapse of rock ledges and formation of artificial landslides of clay rocks; ensuring the required size of the safety platform when filling dumps, etc.

References

1. Romanenko A. O. Vydilennja faktoriv ta i'h parametriv dlja provedennja ocinky stijkosti bortiv Glejuvats'kogo kar'jeru /A. O. Romanenko // Suchasni resursozberigajuchi tehnologii' girnychogo vyrobnyctv: naukovy-vyrobnychyj zbirnyk. – Kremenčuk: KrNU. – 2021. Vyp. 1/2019 (23) – S. 28-38.
2. Palamar A.Ju. Analiz metodiv prognozuvannja stijkosti bortiv kar'jeriv ta vidvaliv / A.Ju. Palamar, D.D. Laufer // Girnychyj visnyk: Zb. nauk. prac'.–2015.– Vyp. 99. – S. 57-60.
3. Dz'oba M.V. Problema zabezpečennja stijkosti ukosiv ustupiv i bortiv kar'jeriv / M.V. Dz'oba, A. A. Mishhenko, O.O. Frolov // Tezy Vseukrai'ns'koi' naukovy-praktychnoi' online-konferencii' zdobuvachiv vyshhoi' osvity i molodyh uchenyh «Girnychi, budivel'ni, pryrodoohoronni tehnologii' ta ekologija»– m.Zhytomyr: «Zhytomyrs'ka politehnika», 2023 r.
4. Dz'oba M.V. Docil'nist' vykorystannja kovzajuchyh z'i'zdiv pry rozrobci rodovyshh budivel'nyh materialiv / M.V. Dz'oba, L.I. Besarabec', O.O. Frolov// Tezy IX Vseukrai'ns'koi' naukovy-praktychnoi' konferencii' studentiv, aspirantiv ta molodyh vchenyh «Perspektyvy rozvytku girnychoi' spravy ta racional'nogo vykorystannja pryrodnyh resursiv», 2022 r. – m. Zhytomyr: «Zhytomyrs'ka politehnika». – S. 36-38.

Scientific advisor: **O.O. Frolov**, Dr. of Engineering, Prof.,

М.В. Дзьоба¹, студент випускник
В.М. Фастовчук¹, студент
¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНАЛІЗ ПРИЧИН ДЕФОРМАЦІЇ СХИЛІВ У ВІДКРИТОМУ КАР'ЄРІ

Анотація: *Встановлені основні причини виникнення деформаційних явищ на укосах гірських масивів. Наведено короткий аналіз можливих видів деформацій укосів на кар'єрах. Для забезпечення стійкості гірського масиву та попередження його руйнування від певного виду деформації запропоновано проводити заходи щодо зменшення наслідків деформацій укосів.*

При детальному вивченні структурної будови гірських масивів та їх фізико-механічних властивостей, а також можливого ступеня обводненості запропоновано розробляти спеціальні заходи з управління стійкістю кар'єрних укосів. До таких заходів належать осушення масивів, розвертання укосів у плані відносно виявлених поверхонь ослаблення, розробка спеціальної технології ведення буропідливних робіт на кар'єрах, кероване обрушення уступів скельних порід та утворення штучних зсувів глинистих порід, забезпечення необхідного розміру запобіжного майданчика при відсіпанні штучних насипів.

Ключові слова: *кар'єр; гірський масив; деформації укосів; осипи; обвалення; зсуви; просідання; спливання.*

