



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ



XVI НАУКОВА-ТЕХНІЧНА
КОНФЕРЕНЦІЯ

ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА

Збірник матеріалів конференції

14-15 ТРАВНЯ 2024

Київ 2024

«Енергетика. Екологія. Людина» Збірник наукових праць XVI науково-технічної конференції 14-15 травня 2024 р. НН ІЕЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського – Київ: НН ІЕЕ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024, 137 стор.

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

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

*Друкується за рішенням організаційного комітету науково-технічної конференції
«Енергетика. Екологія. Людина»*

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова комітету – Вовк О.О., д.т.н., професор, директор НН ІЕЕ.

Заступник голови – Босак А.В., к.т.н., доц., заст. директора НН ІЕЕ з наукової та інноваційної роботи.

Члени оргкомітету:

Зуєвська Н.В. – д.т.н., проф., в.о. завідувача кафедри геоінженерії;

Дерев'янюк Д.Г. – к.т.н., доц., в.о. завідувача кафедри електропостачання;

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

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

Вапнічна В.В. – к.т.н., доц. кафедри геоінженерії;

Броницький В.О. – к.т.н., доц. кафедри геоінженерії;

Коцар О.В. – к.т.н., доц. каф. електропостачання;

Докшина С.Ю. – асистент каф. автоматизації електротехнічних та мехатронних систем;

Третьякова Л.Д. – д.т.н., проф. каф. охорони праці, промислової та цивільної безпеки.

Адреса організаційного комітету:

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

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту.

Сайт конференції: www.en.iee.kpi.ua

Укладання збірника наукових праць: Броницький В.О.

Матеріали подані у авторській редакції.

Відповідальність за зміст і достовірність даних несуть автори тез.

ISSN 2307-7239

© Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2024



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**



XVI SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE

ENERGY. ECOLOGY. HUMAN

Conference proceedings

14-15 MAY 2024

Kyiv 2024

«Energy. Ecology. Man» Collection of scientific papers of the XVI scientific and technical conference 14-15 May 2024 ES IEE Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute – Kyiv: ES IEE, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2024, 137 pp.

The collection presents articles by young specialists on advanced developments and new solutions in the energy sector of sustainable development at the XVI Scientific and Technical Conference «Energy. Ecology. Man».

The collection includes articles in the following areas: sustainable energy development, energy management and engineering, modern systems of electricity supply, engineering and automation of electrical engineering complexes, mechatronics of energy-intensive industries, problems of mineral extraction, geotechnical and urban underground construction, engineering ecology and resource conservation, labor protection, industrial and civil safety, as well as features of the functioning of the fuel and energy complex of Ukraine, taking into account environmental requirements. The methods of analyzing the power supply system are described, and the levels of energy supply and energy efficiency are assessed, taking into account the environmental factor and the impact of the industry on humans.

Published by the decision of the organizing committee of the scientific and technical conference «Energy. Ecology. Man»

CONFERENCE ORGANIZATION COMMITTEE

Head – Vovk O.O. – Dr. Sc. (Eng.), Prof., Director of the Educational and Scientific Institute of Energy saving and Energy management;

Deputie head – Bosak A.V., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, Deputy director of the ES IEE for Scientific and Innovative Work.

Members of organization committee:

Zuievskya N.V. – Dr. Sc. (Eng.), Prof., acting head of the Geoengineering department;

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

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

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

Vapnichna V.V. – Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof of the Geoengineering department;

Bronytskyi V.O. – Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof of the Geoengineering department;

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

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

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

Address of the organizing committee:

Ukraine, Kyiv, 03056, 115 Borshchagivska st., b. 22.

Institute of Energy saving and Energy management.

Conference website: www.en.iee.kpi.ua

Compilation of the collection of scientific papers: Bronytskyi V.O.

The materials are presented in the author's edition. The authors of the abstracts are responsible for the content and accuracy of the data.

ISSN 2307-7239

© National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2024

ЗМІСТ

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

ВИКОРИСТАННЯ ІНДИКАТИВНОГО ПІДХОДУ ДО ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ ПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.

Прищепя Ярослав Олександрович 8

GAR-АНАЛІЗ НАЦІОНАЛЬНОЇ РЕГУЛЯТОРНОЇ БАЗИ З ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ В МУНІЦИПАЛІТЕТАХ.

Карпенко Артем Вікторович 15

АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ MICROGRID В НАЦІОНАЛЬНОМУ ЗАКОНОДАВЧОМУ ТА РЕГУЛЯТОРНОМУ ПРОСТОРИ.

Касьяненко Єгор Олександрович 27

АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗУМНОЇ СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ В БУДІВЛЯХ.

Гонгало Вадим Русланович 40

СЕКЦІЯ 2. ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ТА МЕХАТРОННИХ КОМПЛЕКСІВ

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ.

Сорочинський Ярослав Захарович 46

ЗАХИСТ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ В РОБОЧИХ РЕЖИМАХ.

Гайко Михайло Русланович, Курганська Вероніка Ігорівна 51

ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ КОНВЕЄРНОЇ УСТАНОВКИ ЗМІННОЇ ДОВЖИНИ.

Колесніков Михайло Юрійович 60

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ЗМІННОГО СТРУМУ ДЛЯ КОНВЕЄРНИХ УСТАНОВОК ПРИ НЕПОВНОМУ ЗАВАНТАЖЕННІ.

Кузь Євгеній Олегович 67

ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТОГО ВОДНЮ.

Салогуб Артем Олегович 71

ОГЛЯД ВОДНЕВИХ ДЖЕРЕЛ.

Швець Костянтин Станіславович 76

IN-DEPTH EXAMINATION OF RECENT PROGRESS IN UTILIZING RENEWABLE ENERGY SOURCES.

Andrii Trachuk, Ivan Anisimov, Danylo Tkachenko, Sofiia Malaman, Vitalii Kovalchuk..... 81

СЕКЦІЯ 3. ГЕОІНЖЕНЕРІЯ, ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

ОСОБЛИВОСТІ СПОРУДЖЕННЯ ФУНДАМЕНТІВ ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ.

Колпаков Микита Сергійович 89

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE SLOPE ANGLE OF A QUARTZ SAND LEDGE ON ITS STABILITY COEFFICIENT.

Maksym Dzoba, Daniela Chmilenko 94

РОЛЬ ШТУЧНОГО ЗАМОРОЖУВАННЯ ҐРУНТУ В ЦИВІЛЬНОМУ БУДІВНИЦТВІ.

Савченко Альона Сергіївна, Хімінчук Олександра Миколаївна 99

ВПЛИВ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПЕРЕКРИТТЯ ПІДЗЕМНОЇ СПОРУДИ.

Болотюк Наталія Сергіївна 103

THE IMPACT OF THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF GRAVEL-SAND MASS OF FLUVIOGLACIAL DEPOSITS ON THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF THE RIPPER.

Illia Lytvynchuk, Nataliya Sagalo 107

СПОРУДИ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.

Іванюк Вікторія Василівна 112

ПЕРСПЕКТИВИ ТА МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ 3D ДРУКУ В БУДІВНИЦТВІ.

Татарин Андрій Олександрович, Корсун Тарас Олександрович..... 119

RESULTS OF MODELING THE EXPLOSION OF A BOREHOLE CHARGE IN A FRACTURED ROCK MASSIF IN ANSYS AUTODYN.

Муkyта Beltek, Nina Evrak 124

СЕКЦІЯ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ, ПРОМИСЛОВА ТА ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

SAFETY PRECAUTIONS FOR WIND TURBINE WORKERS.

Козлов Данііл Євгенійович 130

РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ СТРАТЕГІЙ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ ПРОМИСЛОВИХ ПРОЦЕСІВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ.

Супрун Сніжана Олександрівна..... 133

СЕКЦІЯ 1.

СТАЛІЙ РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ. СУЧАСНІ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ЕНЕРГІЄЮ. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 621.311

Я.О. Прищеп, аспірант
Кафедра Електропостачання
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ ІНДИКАТИВНОГО ПІДХОДУ ДО ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ ПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Анотація. В роботі проаналізовано використання індикативного підходу до оцінки безпеки постачання електричної енергії. Основна увага сконцентрована на формуванні переліку показників (індикаторів) для оцінки безпеки постачання електроенергії. Первісна оцінка рівня індексу забезпечення балансової надійності енергосистеми і якості та рівня технічного обслуговування електричних мереж дозволить оцінити безпеку постачання в цілому.

Ключові слова: індикативний підхід, безпека постачання електричної енергії, показник, індикатор, оцінка, ризик, статистичні дані, нормування, уніфікований показник.

Вступ. Оцінка безпеки постачання електричної енергії в сучасній Україні стає все більш актуальним завданням у зв'язку із приєднанням об'єднаної енергосистеми України до енергосистеми Європи та необхідності забезпечення безаварійної паралельної роботи.

Постає необхідність використати індикативний підхід [1] і статистичні методи при оцінці рівня та загроз безпеки постачання електричної енергії як однієї з основних складових національної безпеки держави з урахуванням міжнародного та національного досвіду, а також визначення (закріплення) переліку основних показників (індикаторів) стану безпеки постачання електричної енергії, їхні порогові значення, а також алгоритм розрахунку оцінки рівня безпеки постачання в цілому.

Мета роботи та завдання. Метою роботи є здійснення апробації використання індикативного підходу до оцінки безпеки постачання електричної енергії.

Задачами роботи є:

- проаналізувати Звіт «Про результати моніторингу безпеки постачання електричної енергії» Міністерства енергетики України та сформуванню переліку показників (індикаторів), які використовуються для оцінки безпеки постачання електричної енергії;
- проаналізувати дані зі Звіту з точки зору можливості використання для них однакових алгоритмів та методів;
- провести розрахунок одного показника (індикатора).

Матеріал і результати досліджень. Формування переліку показників (індикаторів). Оцінка рівня безпеки постачання електричної енергії складається з п'яти середньозважених інтегральних індексів (складових безпеки постачання електричної енергії), які наведені в таблиці 1.

Розрахунок зазначених інтегральних індексів (складових безпеки постачання електричної енергії) здійснюється на основі оцінки окремих показників (індикаторів), які базуються як на основі статистичних даних.

Визначення оцінки рівня безпеки постачання електричної енергії здійснюється в такому порядку:

- формування переліку показників (індикаторів);
- визначення характеристичних значень показників (індикаторів);

- нормування показників (індикаторів) та визначення їх вагових коефіцієнтів; розрахунок кожного з індексів, з урахуванням визначених вагових коефіцієнтів;
- розрахунок оцінки рівня безпеки постачання електричної енергії в цілому.

Оцінка рівня безпеки постачання електричної енергії має використовуватися для прийняття рішень з розробки заходів із забезпечення безпеки постачання електричної енергії.

Таблиця 1 – Складові безпеки постачання електричної енергії

Оцінка рівня безпеки постачання електричної енергії				
індекс забезпечення балансової надійності енергосистеми і якості та рівня технічного обслуговування електричних мереж	індекс забезпечення первинними енергоресурсами та видами та джерелами їхнього постачання	індекс безперебійного функціонування ринку електричної енергії	індекс забезпечення операційної безпеки	індекс кібербезпеки та захисту критичної інфраструктури у сфері електроенергетики
Індекс може включати в себе:				
показники фактичного балансу ОЕС України, річного максимуму споживання потужності ОЕС України, стану виконання ремонтної компанії, розвиток генеруючих потужностей, технічного стану та розвитку електричних мереж системи передачі/розподілу, витрат в електричних мережах ОСП/ОСР	показники постачання вугілля, питомі витрати умовного палива на виробництво електроенергії с ТЕС та споживання ядерного палива	показники основних сегментів ринку електричної енергії, функціонування роздрібного ринку електричної енергії, комерційного обліку електричної енергії	показники регулювання в ОЕС України для забезпечення операційної безпеки	події, що довели недієздатність кіберзахисту об'єктів критичної інфраструктури енергетичної галузі України

Визначення характеристичних значень показників (індикаторів). Для кожного показника (індикатора) безпеки постачання електричної енергії інтегральних індексів стану оцінки безпеки постачання електричної енергії можуть бути розроблені характеристичні значення, які визначають рівень безпеки постачання електричної

енергії. З огляду на сформовані звіти «Про результати моніторингу безпеки постачання електричної енергії» (далі – Звіт) Міністерства енергетики України на основі Наказу «Про затвердження Правил про безпеку постачання електричної енергії» від 27.08.2018 № 448 [2] та Закону України «Про ринок електричної енергії» [3], діапазон характеристичних значень кожного показника (індикатора) вимірюється від 0 до 1 та ділиться на п'ять інтервалів:

$$[Ind_0, Ind_{\text{крит}}), [Ind_{\text{крит}}, Ind_{\text{небезп}}), [Ind_{\text{небезп}}, Ind_{\text{нездв}}), [Ind_{\text{нездв}}, Ind_{\text{здв}}), [Ind_{\text{здв}}, Ind_{\text{опт}}], \quad (1)$$

де Ind – значення індикатора, яке характерне для рівня безпеки постачання електричної енергії (критичний, небезпечний, незадовільний, задовільний, оптимальний) та за якого рівень безпеки постачання електричної енергії дорівнює оптимальному значенню;

Індикатори дозволяють оцінити вплив різних факторів на безпеку постачання електроенергії в Україні, провести її глибокий аналіз, ідентифікувати її сильні та слабкі сторони, а також загрози та ризики, які можуть вплинути на стабільність її енергетичної системи.

Присвоєння характеристичних значень для кожного індикатора здійснюється таким чином:

$$Ind_0 := x_0; Ind_{\text{крит}} := x_{\text{крит}}; Ind_{\text{небезп}} := x_{\text{небезп}}; Ind_{\text{нездв}} := x_{\text{нездв}}; Ind_{\text{здв}} := x_{\text{здв}}; Ind_{\text{опт}} := x_{\text{опт}}, \quad (2)$$

де x – величина (статистичні дані) індикатора;

Ind – характеристичне значення індикатора.

Відповідно до зазначеного:

x – величина індикатора, яка характерна для рівня безпеки постачання електричної енергії (критичний, небезпечний, незадовільний, задовільний, оптимальний) та за якої рівень безпеки постачання електричної енергії дорівнює оптимальному значенню.

Приведення вихідних даних показників (індикаторів), які є різними за розмірністю, до спільної шкали, щоб зробити їх порівнюваними та аналізованими, відбувається шляхом нормування.

Нормування індикаторів та визначення їх вагових коефіцієнтів. Нормування індикаторів створює єдину шкалу для порівняння різних індикаторів, що допомагає при оцінці рівня та загроз безпеці постачання електроенергії, розробці показників (індикаторів) та прийнятті рішень.

Нормування індикаторів здійснюється за допомогою лінійної функції таким чином, щоб характеристичні значення індикаторів потрапляли в зів'язані за величиною інтервали. Перехід від абсолютних до нормованих значень індикаторів дозволяє вимірювати індикатори за шкалою від 0 до 1 або у відсотках: 0 відповідає 0%, 1 - 100%. Таким чином, отримане нормоване значення індикатора характеризує своєю величиною ступінь наближення до оптимального значення 1.

Нормування індикатора здійснюється наступним чином:

якщо x_{ij} знаходиться в проміжку між x_1 і x_2 , тобто $x_1 \leq x_{ij} \leq x_2$, то

$$y_{ij} = z_i + z_o \frac{(x_1 - x_{ij})}{(x_1 - x_2)}, \quad (3)$$

де x_{ij} – значення i -го індикатора в період j ;

y_{ij} – нормоване значення індикатора x_{ij} ;

z_o – значення початкового коефіцієнта

z_i – значення i -го коефіцієнта в залежності від проміжку.

Розрахунок оцінки рівня індексу забезпечення балансової надійності енергосистеми і якості та рівня технічного обслуговування електричних мереж. Розрахунок енергетичної безпеки в цілому. В процесі дослідження розглядалися дані, які представлені в Звіті Міністерства енергетики України за 2021 рік. Оскільки дані Звіту структуровані і мають однакової характеристики, проведено розрахунки для одного показника, а саме індексу забезпечення балансової надійності і якості та рівня технічного обслуговування електричних мереж. В розрахунку використовувалася дані Звіту про ризику та їх додаткові параметри (ймовірність настання ризику та ступінь наслідків). Слід зазначити, що зазначені дані вже викладені у нормованому форматі, розрахунки для їх нормування не проводилися.

Розраховано впливовість ймовірності настання та ступіню наслідку ризику:

$$Influence_i = \frac{S_i}{\sum S}, \quad (4)$$

де S_i – значення ступіню наслідку (ймовірності настання) i -го ризику;

$\sum S$ – сума значень ступеней наслідку (ймовірностей настання) ризиків;

Розраховано ваговий коефіцієнт впливовості:

$$K_i = \overline{Influence_i}, \quad (5)$$

де $\overline{Influence_i}$ – середнє значення впливовості i -го ризику;

Впливовість i -го ризику на індекс:

$$RiskInfluence_i = K_i \cdot Srisk_i, \quad (6)$$

де $Srisk_i$ – значення ступіню i -го ризику на індекс;

Розрахунки та результати приведені в таблиці 2.

Таким чином, визначено, що значення індексу забезпечення балансової надійності енергосистеми і якості та рівня технічного обслуговування електричних мереж становить 0,33. Значення кроку для визначених характеристик інтервалів приймається 0,2, в зв'язку з цим отримане значення індексу потрапляє в інтервал $Ind_{крит} \leq 0,33 \leq Ind_{небезп}$ та характеризується як небезпечний рівень значення індексу ($Ind_{небезп}$).

Аналогічним чином може бути проведено розрахунки для інших показників, а враховуючи те, що показники наближені за своїм типом та характеристиками можна стверджувати, що в даному випадку індикативний підхід має певні можливості для подальшого використання. Тому подальші дослідження будуть зосереджені саме на тому щоб проаналізувати та виявити достатність тих моніторингових даних, які на сьогоднішній день представлені у Звіті.

Розрахунок оцінки рівня безпеки постачання електричної енергії в цілому також здійснюється за допомогою вагових коефіцієнтів інтегральних індексів з урахуванням внутрішньої ситуації та міжнародних тенденцій.

Для більш глибокого аналізу можливо зробити оцінку рівня енергетичної безпеки України в цілому, а також окремо кожного інтегрального індексу та показника (індикатора) енергетичної безпеки з метою оцінки стану та ризиків у сфері енергетики України, виявлення сильних та слабких сторін системи, ідентифікації тенденцій та розробки стратегій та рішень для нівелювання виявлених слабких сторін системи та покращення безпеки постачання електроенергії в цілому.

Оцінка рівня безпеки постачання електроенергії дорівнює 1, коли всі x_{ij} отримують «найкращі», або оптимальні, тобто цільові значення, і 0, коли всі показники «найгірші».

Таблиця 2 – Розрахунок індексу забезпечення балансової надійності і якості та рівня технічного обслуговування електричних мереж

Ризик, №	Ймовірність настання ризику	Ступінь наслідку	Величина ризику
1	0,75	1,00	0,75
2	0,75	0,50	0,75
3	0,50	0,50	0,50
4	0,50	0,75	0,75
5	0,50	0,50	0,50
6	0,75	0,50	0,75
7	0,50	0,50	0,50
8	0,75	0,50	0,75
Впливовість ймовірності на індекс	Впливовість наслідку на індекс	Ваговий коефіцієнт впливовості	Впливовість ризику на індекс
0,15	0,21	0,18	0,14
0,15	0,11	0,13	0,10
0,10	0,11	0,10	0,05
0,10	0,16	0,13	0,10
0,10	0,11	0,10	0,05
0,15	0,11	0,13	0,10
0,10	0,11	0,10	0,05
0,15	0,11	0,13	0,10
Значення індексу забезпечення балансової надійності енергосистеми:			0,33

Стан безпеки постачання електричної енергії визначається відповідно до таблиці 3.

Таблиця 3 – Визначення стану безпеки постачання електричної енергії

Ступінь бажаності	Стан безпеки постачання електроенергії	Оцінка рівня безпеки постачання електроенергії
Дуже високий	Нормальний	1,0-0,8 (оптимальний рівень)

Високий		0,8-0,6 (задовільний рівень)
Задовільний (середній)	Передкризовий	0,6-0,4 (незадовільний рівень)
Низький	Кризовий	0,4-0,2 (критичний рівень)
Дуже низький		0,2-0,0 (абсолютно небезпечний рівень)

Висновки. Для вирішення задачі пошуку оцінки безпеки постачання електричної енергії може бути запропоновано до використання індикативний підхід, який відрізняється від існуючих підходів та забезпечує отримання уніфікованого показника, що дозволяє в подальшому здійснювати аналіз та формувати перелік завдань для розвитку енергосистеми України.

Можливість використання індикативного підходу доведено на прикладі розрахунку показника, а саме індексу забезпечення балансової надійності енергосистеми і якості та рівня технічного обслуговування електричних мереж. Зазначені розрахунки та висновки можуть бути розповсюджені на решту показників (індексів).

Список використаних джерел

1. Хуторна М.Е. Індикативний підхід до оцінки результативності забезпечення фінансової стабільності кредитних установ на основі діагностування інституційного середовища, 2019, ст. 1-15.
2. Про затвердження Правил про безпеку постачання електричної енергії : Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 27.08.2018 № 448. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1076-18#Text> (дата звернення: 01.05.2023).
3. Про ринок електричної енергії: Закон України, 2017 № 1909-IX. Офіційний сайт Верховної Ради України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (дата звернення: 01.05.2023).

Науковий керівник: к.т.н., доцент А.І. Замулко

UDC 621.311

Yaroslav Pryshchepa, PhD student
Power Supply Department of
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

USE OF THE INDICATIVE APPROACH TO THE ASSESSMENT OF SECURITY OF ELECTRICAL ENERGY SUPPLY

Abstract: *The paper analyzes the use of an indicative approach to the assessment of the security of electric energy supply. The main focus is on forming a list of indicators (indicators) for assessing the security of electricity supply. The initial assessment of the level of the index of ensuring the balance reliability of the power system and the quality and level of maintenance of electrical networks will allow to assess the security of supply as a whole.*

Key words: *indicative approach, security of electric energy supply, indicator, indicator, assessment, risk, statistical data, rationing, unified indicator.*

References

1. Khutorna M.E. An indicative approach to assessing the effectiveness of ensuring the financial stability of credit institutions based on diagnosing the institutional environment, 2019, Art. 1-15.
2. On the approval of the Rules on the safety of electricity supply: Order of the Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine dated 27.08.2018 No. 448. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1076-18#Text> (date application: 01.05.2023).
3. On the electricity market: Law of Ukraine, 2017 No. 1909-IX. Official website of the Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (date of application: 01.05.2023).

Scientific supervisor: Cand.Tech.Sc., Associate Professor Anatoly Zamulko

УДК 621.31

А.В. Карпенко, аспірант
Кафедра Електропостачання
КПІ ім. Ігоря Сікорського

GAR-АНАЛІЗ НАЦІОНАЛЬНОЇ РЕГУЛЯТОРНОЇ БАЗИ З ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ В МУНІЦИПАЛІТЕТАХ

Анотація. В статті досліджено законодавче та регуляторне забезпечення впровадження та застосування систем енергомоніторингу в органах влади та місцевого самоврядування. Проведено гар-аналіз і виявлено прогалини у функціонуванні систем енергомоніторингу в муніципалітетах. За результатами аналізу запропоновано шляхи підвищення ефективності енергомоніторингу на муніципальних об'єктах, зокрема, через впровадження посади енергоменеджера з відповідними повноваженнями, комплексну підготовку співробітників, систематичний моніторинг та звітування про енерговикористання на підставі верифікованих даних обліку енергетичних ресурсів, що формуються автоматизованими системами енергомоніторингу.

Ключові слова: енергетичний менеджмент, енергомоніторинг, системи енергомоніторингу, енергоефективний муніципалітет.

Вступ. Ефективне використання енергетичних ресурсів і скорочення шкідливих викидів є сьогодні одним з пріоритетів органів влади та місцевого самоврядування задля забезпечення сталого розвитку громад. Розв'язання цього завдання реалізується через впровадження та ефективне застосування систем енергетичного менеджменту, які в свою чергу базуються на системах енергомоніторингу. Разом з тим, численні дослідження доводять наявність критичних прогалин у функціонуванні систем енергомоніторингу в муніципалітетах, що часто робить неефективним весь цикл енергетичного менеджменту.

Метою досліджень є підвищення продуктивності енергомоніторингу в муніципалітетах. Для досягнення поставленої мети необхідно провести аналіз нормативно-правового забезпечення впровадження та застосування систем енергетичного менеджменту в муніципалітетах в частині реалізації енергомоніторингу, виявити та усунути прогалини, що заважають реалізувати продуктивний енергомоніторинг на муніципальних об'єктах.

Матеріал і результати досліджень Організаційна структура енергоменеджменту в муніципалітетах охоплює різні відділи, комісії та органи, які спільно працюють для управління енергетичними ресурсами та забезпечення ефективного використання енергії. Структура та обсяг системи енергетичного менеджменту може варіюватися залежно від розміру та ресурсів муніципалітету, потреб в енергетичних ресурсах та їхніх видів тощо. Загальний опис організаційної структури енергетичного менеджменту в муніципалітетах наведено на рис. 1.

Структурна складова забезпечення енергомоніторингу охоплює різноманітні аспекти, які допомагають забезпечити ефективну та надійну роботу системи:

1. Кількісний склад: фахівці, які задіяні в енергомоніторингу, як то інженери, аналітики, програмісти, технічні спеціалісти тощо.

2. Якісний склад: визначає рівень кваліфікації та досвіду працівників, які здійснюють енергомоніторинг. Важливо мати команду з високим рівнем знань у цій сфері.

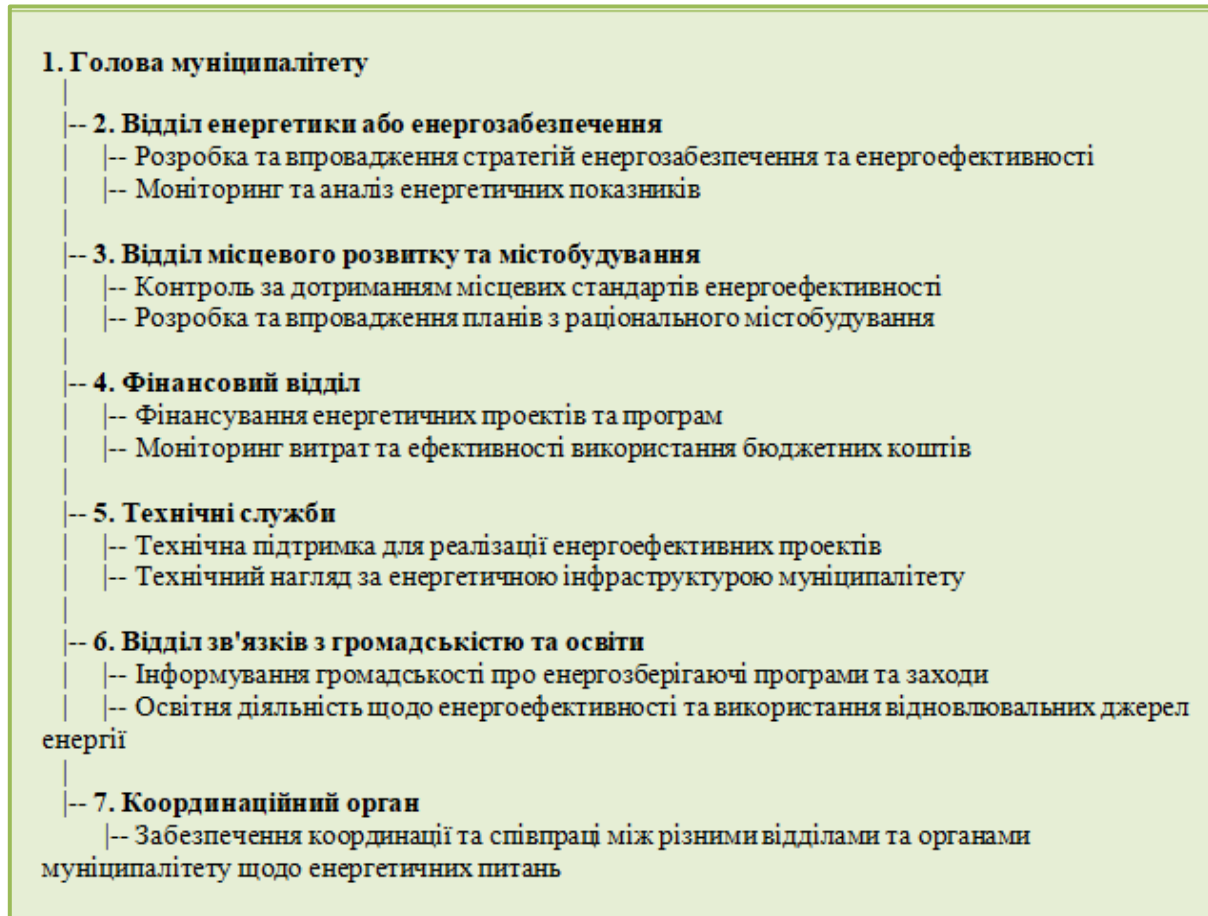


Рисунок 1 – Структура енергетичного менеджменту в муніципалітетах

3. Освіта: професійна підготовка та постійне навчання співробітників є ключовими для успішного енергомоніторингу. Це може охоплювати курси, тренінги, семінари, вебінари та інші форми навчання.

4. Практика формування організаційних складових: важливо мати чітко визначену структуру організації, розподіл обов'язків та взаємодію між підрозділами для ефективної роботи.

5. Підпорядкованість: чітко визначені ланцюги управління та відповідальності допомагають уникнути непорозумінь та забезпечити гладку роботу системи енергомоніторингу.

6. Зони відповідальності: кожен працівник повинен мати чітко визначену зону відповідальності, щоб уникнути дублювання робіт та забезпечити повноту покриття всіх аспектів енергомоніторингу.

7. Регуляторне забезпечення діяльності: дотримання всіх законодавчих та нормативних вимог є важливим аспектом забезпечення надійного і продуктивного енергомоніторингу.

8. Технічне та методичне забезпечення: охоплює використання сучасних технологій, програмного забезпечення та методик для збору, аналізу та візуалізації даних енергомоніторингу.

9. Інші види забезпечення: зокрема, фінансове забезпечення проектів, забезпечення безпеки даних, комунікаційне забезпечення для взаємодії з клієнтами та інші аспекти, які допомагають забезпечити успішну роботу енергомоніторингу [1, 2].

Класифікація муніципальних об'єктів з точки зору енергоменеджменту та енергомоніторингу може бути проведено за критеріями, наведеними на рис. 2. Ці критерії можуть використовуватися для класифікації муніципальних об'єктів з точки зору їхнього впливу на енергоефективність та потребу у впровадженні енергоменеджменту та енергомоніторингу.

1. Функціональне призначення:					
Житлові будинки	Комерційні будівлі (офіси, магазини, ресторани)	Промислові підприємства	Освітні заклади (школи, університети)	Медичні установи (лікарні, поліклініки)	Комунальна інфраструктура (школи, дитячі садочки, лікарні, громадські будівлі тощо)
2. Величина та масштаб:					
Великі (багатопверхові будинки, великі підприємства)		Середні (середні за площею та обсягом споживання)		Малі (одноповерхові будинки, невеликі магазини, невеликі підприємства)	
3. Географічне розташування					
Міські					
Сільські					
4. Вік та технічний стан:					
Новобудови					
Старі будівлі з великим терміном експлуатації					
5. Сфера використання:					
Житлова	Комерційна	Промислова	Сфера послуг	Соціальна	
6. Енергетичні характеристики:					
Використання джерел енергії (газ, електрика, вугілля, відновлювані джерела)					
Споживання енергії на одиницю площі або на одного мешканця					

Рисунок 2 – Класифікація муніципальних об'єктів

Інструментальне забезпечення енергомоніторингу є необхідним для ефективного контролю за споживанням електроенергії та оптимізації витрат. Прив'язка до організаційної структури дозволяє відстежувати споживання енергії в різних підрозділах чи відділах компанії. Класифікаційні ознаки об'єктів можуть включати типи пристроїв, локації або навіть функціональне призначення. Завдяки цьому можна отримати детальну інформацію про споживання електроенергії в різних частинах підприємства.

Отже, аналіз працездатності інструментального забезпечення, практика експлуатації, ремонтів та перевірки засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) є дуже важливими аспектами для ефективного функціонування технічних процесів у будь-якій галузі промисловості чи науки. Інструментальне забезпечення, також відоме як ЗВТ, використовується для здійснення вимірювань, контролю якості, відліку виробничих процесів та багато іншого. Ефективна експлуатація цих інструментів вимагає постійного моніторингу їхньої працездатності, своєчасного проведення необхідних ремонтів та перевірки для забезпечення точності та достовірності вимірювань. Завдяки практиці експлуатації і ремонту ЗВТ можна зберігати їхню робочу ефективність на високому

рівні, що в свою чергу сприяє підвищенню якості продукції та процесів. Перевірка забезпечує відповідність інструментів стандартам метрології та впевненість у їхній точності. Систематичний аналіз та збереження відповідних практик забезпечення працездатності, експлуатації, ремонту та перевірки ЗВТ можуть значно покращити продуктивність технічних процесів і сприяти успіху у будь-якій сфері діяльності.

Забезпечення взаємосумісності устаткування та безпеки даних є надзвичайно важливим аспектом в сучасному світі технологій. Для цього рекомендується використовувати захищені протоколи зв'язку, шифрування даних, резервне копіювання і регулярні аудити безпеки. Також варто враховувати сумісність програмного забезпечення та апаратного забезпечення для забезпечення оптимальної функціональності [3].

Щоб ефективно практикувати фінансове забезпечення інструментів енергомоніторингу, слід спочатку визначити фінансові цілі та бюджет. Далі, обирати інструменти енергомоніторингу, зокрема сенсори, програмне забезпечення, інші технології. Для підвищення продуктивності використання енергомоніторингу, важливо постійно аналізувати та оцінювати дані щодо споживання енергії, виявляти можливості для оптимізації та зменшення витрат. Також варто розглянути можливість інтеграції інструментів енергомоніторингу з іншими системами управління, щоб підвищити ефективність процесів. Не слід забувати про важливість постійного навчання та оновлення знань у цій сфері, оскільки технології швидко розвиваються і важливо бути в курсі останніх тенденцій [4].

Під час пандемії та війни місцеві органи влади стикаються з наростаючими проблемами щодо підтримки стабільності та надання основних послуг населенню. Деякі потенційні ризики, з якими вони можуть зіткнутися:

1. Економічна нестабільність: як пандемія, так і війна можуть підірвати місцеву економіку, що призведе до втрати робочих місць, зменшення доходів місцевих органів влади та збільшення попиту на соціальні послуги.

2. Напруга в системі охорони здоров'я: пандемія може перевантажити системи охорони здоров'я, що ускладнить органам місцевого самоврядування надання належної медичної допомоги своїм жителям. Крім того, війна може призвести до руйнування інфраструктури охорони здоров'я, що ще більше вплине на ресурси.

3. Соціальні заворушення: поєднання пандемії та війни може створити соціальну напругу та заворушення в громадах, створюючи ризик для стабільності місцевих органів влади. Щоб проаналізувати стабільність органів місцевого самоврядування в ці складні часи, важливо оцінити їх здатність реагувати на кризи, рівень готовності та ефективність їхньої комунікації та координації зусиль з іншими урядовими установами та зацікавленими сторонами. Зрештою, проактивне планування, ефективні стратегії управління ризиками та сильне керівництво є ключовими факторами підтримки стабільності та стійкості перед пандеміями та конфліктами [5].

Гар-аналіз – це метод стратегічного аналізу, що використовується для оцінки різниці (гапу) між поточним станом ситуації і бажаним майбутнім станом. Основна мета Гар-аналізу полягає в ідентифікації різниці між тим, що є в даний момент, і тим, що має бути досягнуто, і розробці стратегій для зменшення цього гапу. Технології Гар-аналізу можуть включати:

- Збір та аналіз даних: Оцінка поточного стану ситуації та визначення бажаного стану.
- Використання фреймворків аналізу: Використання стандартних моделей або

інструментів для порівняння фактичного та бажаного стану.

- Консультації та експертний аналіз: Залучення експертів або консультантів для оцінки ситуації та розробки стратегій.

- Моделювання сценаріїв: Використання аналітичних інструментів для прогнозування можливих наслідків різних стратегій.

В цілому, Гар-аналіз допомагає організаціям розуміти, де вони зараз, куди вони хочуть піти, і яким чином вони можуть туди дістатися, шляхом ідентифікації і усунення різниці між поточним та бажаним станом.

Результати гар-аналізу регуляторної бази із забезпечення функціонування систем енергомоніторингу в муніципалітетах наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Гар-аналіз регуляторної бази із забезпечення функціонування систем енергомоніторингу в муніципалітетах

Поточний стан	Очікуваний стан	Прогалини	Подолання
Відсутність посади енергоменеджера в муніципалітетах	Покладання обов'язків на спеціалістів відділів органу місцевого самоврядування та забезпечення контролю з боку керівництва	Недостатня спеціалізація у сфері енергоменеджменту, розподілення завдань серед інших обов'язків та недостатній контроль над управлінням енергоресурсами	Створення посади енергоменеджера з відповідними повноваженнями, комплексне навчання співробітників, систематичний моніторинг та звітність
Плинність персоналу, на якого покладено обов'язки енергоменеджера	Стабільність та досвідчений персонал на посаді енергоменеджера	Недостатня стабільність у зайнятості особи на яку покладено обов'язки енергоменеджера може призвести до втрати навичок та знань у цій області, а також до порушення неперервності управління енергетичними ресурсами	Розробка програм стимулювання, навчання та розвитку для персоналу, поліпшення умов праці та створення перспектив для кар'єрного зростання на посаді енергоменеджера
Низькі заробітні плати у осіб на яких покладено обов'язки енергоменеджера та відсутність мотивації з	Збільшення заробітної плати для енергоменеджерів та покращення мотивації	Низькі заробітні плати можуть призвести до недостатньої мотивації працівників, зменшення їхнього	Проведення аналізу ринкових стандартів та заробітних плат для енергоменеджерів, впровадження програми

Поточний стан	Очікуваний стан	Прогалини	Подолання
фінансових причин		інтересу до роботи та недосягнення поставлених цілей	стимулювання та мотивації працівників, обговорення можливостей підвищення зарплати з керівництвом органу місцевого самоврядування
Відсутність відповідної кваліфікації у енергоменеджера громади	Наявність кваліфікованого та компетентного енергоменеджера у громаді.	Недостатність необхідних знань та навичок у кандидатів на посаду енергоменеджера може призвести до неефективного управління енергоресурсами та втрати можливостей для енергоефективних заходів	Забезпечення проведення навчання та підвищення кваліфікації працівників через курси, тренінги, семінари та інші форми професійного розвитку. Розгляд можливості найму спеціалізованого персоналу з необхідною кваліфікацією
Немає визначених чітких функцій спеціаліста на якого покладено обов'язки енергоменеджера громади.	Установлення чітких функцій та обов'язків для енергоменеджера громади, які включають управління енергетичними ресурсами, розробку та впровадження енергоефективних заходів, аналіз споживання енергії та зменшення витрат	Відсутність чітких функцій може призвести до нерозуміння ролі енергоменеджера, дублювання обов'язків та неефективного використання його потенціалу	Визначення конкретних функцій та обов'язків енергоменеджера. Розробка документів як то посадові інструкції та робочі програми для чіткого визначення ролі та відповідальності енергоменеджера
Мала кількість робочого часу на виконання обов'язків	Визначення на науковій основі достатнього робочого часу для	Недостатній обсяг робочого часу може обмежувати можливість	Оптимізація робочих процесів та призначення пріоритетних

Поточний стан	Очікуваний стан	Прогалини	Подолання
енергоменеджера	виконання всіх обов'язків, пов'язаних з енергоменеджментом	ефективного виконання обов'язків енергоменеджера, зокрема, аналіз даних, розробку та впровадження стратегій енергоефективності та координацію проєктів	завдань для максимізації використання обмеженого часу
Небажання осіб, відповідальних за внесення показників лічильників енергоресурсів, виконувати свої обов'язки	Вчасне та відповідальне внесення показників лічильників енергоресурсів для продуктивного енергоменеджменту	Небажання виконувати обов'язки може призвести до недостовірності даних, ускладнення аналізу споживання енергії та управління енергетичними ресурсами, а також може спричинити затримки у реагуванні на проблеми	Прийняття розпоряджень в установах з покладання обов'язків, внесення функціональних обов'язків з енергомоніторингу у Посадові інструкції осіб, відповідальних за енергомоніторинг
Відсутність заінтересованості персоналу, що відповідають за енергомоніторинг	Активна заінтересованість та залучення персоналу до процесу енергомоніторингу та енергоефективних заходів	Відсутність заінтересованості може призвести до недостатньої уваги до енергоефективних заходів, недооцінки важливості енергомоніторингу та втрати можливостей для зменшення споживання енергії та витрат	Проведення навчання та інформаційних кампаній щодо важливості енергомоніторингу та його впливу на роботу будівель. Встановлення системи мотивації та стимулювання для персоналу, яка сприяє активній участі у програмах енергоефективності
Відсутність програмного продукту з	Наявність функціонального та ефективного	Відсутність програмного продукту	Пошук наявних програмних продуктів на

Поточний стан	Очікуваний стан	Прогалини	Подолання
енергомоніторинг у	програмного продукту з енергомоніторингу	ускладнює здійснення енергомоніторингу , аналіз даних про споживання енергії та прийняття вирішальних рішень щодо енергоефективності	ринку, розробка власного програмного продукту або замовлення його розробки у спеціалізованих компаніях
Наявність помилок у програмному забезпеченні з енергомоніторингу	Вдосконалення програмного забезпечення для ефективного та надійного енергомоніторингу	Полягає в недоліках чи недосконалостях програмного забезпечення для енергомоніторингу , що ускладнюють його ефективне використання та можуть призвести до неповноцінного аналізу даних, неадекватних рішень та втрати можливостей для оптимізації енергоспоживання	Покращення функціональності та надійності програмного забезпечення, що дозволить більш ефективно використовувати дані з енергомоніторингу для прийняття управлінських рішень та зменшення споживання енергії
Втрата даних після звільнення енергоменеджера	Збереження та доступ до важливих даних з енергомоніторингу після відходу співробітника	Втрата даних може призвести до втрати історичних даних, ускладнити аналіз та моніторинг енергопотоків, а також втрату цінної інформації для прийняття стратегічних рішень	Розробка та впровадження системи резервного копіювання даних, створення документації та передача знань новому персоналу, а також регулярне навчання та підвищення кваліфікації персоналу щодо збереження та управління даними
Керівництво не бачить результатів роботи	Забезпечення звітності та візуалізації	Відсутність зрозумілої та доступної звітності	Розробка звітів з ключовими показниками

Поточний стан	Очікуваний стан	Прогалини	Подолання
енергоменеджера	результатів роботи енергоменеджера для керівництва	може призвести до недооцінки значення роботи енергоменеджера та недоречного прийняття рішень	ефективності, проведення регулярних презентацій результатів перед керівництвом, залучення керівництва до процесу встановлення цілей та метрик успішності
Зміна керівника громади і відсутність бажання продовжувати діяльність з енергоменеджменту	Забезпечення сталості та послідовності у діяльності з енергоменеджменту незалежно від змін у керівництві громади	Відмова нового керівництва від попередніх ініціатив у сфері енергоменеджменту може призвести до зупинення або відміни важливих проєктів, втрати прогресу та інвестицій	Розробка та впровадження довгострокових планів дій у сфері енергоменеджменту, які будуть надійно захищати інтереси громади незалежно від політичних змін. Проведення ефективного комунікаційного процесу з керівництвом громади для пояснення переваг енергоефективних заходів та розуміння їх важливості для громади. Укладання договорів або меморандумів з новим керівництвом для забезпечення неперервності реалізації проєктів з енергоменеджменту
Надходження	Підвищення рівня	Інформація з	Вдосконалення

Поточний стан	Очікуваний стан	Прогалини	Подолання
звітної інформації до органу влади, який реалізує державну політику у сфері енергетики з низьким рівнем достовірності	достовірності та якості звітної інформації, що надходить до органу влади який реалізує державну політику у сфері енергетики	низьким рівнем достовірності може спотворювати реальну картину енергоефективності і країни, ускладнювати аналіз та прийняття ефективних рішень	процесів перевірки та підтвердження достовірності звітної інформації. Надання додаткової підтримки та навчання для організацій, які надають звітну інформацію, з метою поліпшення їхніх здібностей та процесів збору даних

Висновки.

1. Гар-аналіз показав наявність критичних прогалин у функціонуванні систем енергомоніторингу в муніципалітетах, зокрема, недостатню кількість кваліфікованого персоналу, відсутність систематичного енергомоніторингу та аналізу даних, а також недостатній рівень автоматизації процесів збирання та оброблення даних.

2. Чинне законодавство є недостатньо чітким в частині регулювання процесів впровадження та експлуатації систем енергомоніторингу в муніципалітетах. Запропоновані зміни можуть охоплювати розширення повноважень органів влади у сфері енергоефективності та забезпечення достатніх ресурсів для впровадження та підтримки систем енергомоніторингу.

3. Важливим аспектом є створення в муніципалітетах відділів енергетичного менеджменту і впровадження на муніципальних об'єктах посади енергоменеджера з відповідними повноваженнями. Це дозволить забезпечити систематичний моніторинг та ефективне управління енергетичними ресурсами на муніципальних об'єктах.

4. Розвиток комплексних програм підготовки співробітників у сфері енергоефективності та енергомоніторингу є важливим елементом для підвищення ефективності функціонування таких систем у муніципалітетах.

Список використаних джерел

1. URL: https://www.serviciilocale.md/public/files/Energy_Management_Handbook.pdf (дата звернення 06.05.2024)
2. Moss, Keith. *Energy Management in Buildings: The Earthscan Expert Guide*. Earthscan, (дата звернення 11.05.2024)
3. Pinto, T., Lopes, J., & Silva, M. (2020). Instrumentation and Measurement Techniques for Energy Monitoring and Management: A Comprehensive Review. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* (дата звернення 06.05.2024).

4. Love, P. E., Edwards, D. J., Irani, Z., & Walker, D. H. (2009). The sources and patterns of innovation in a software engineering intensive industry: evidence from the construction industry. *Journal of Management Information Systems* (дата звернення 06.05.2024).

5. Kettl, D. F. (2020). Local Government Responses to COVID-19: Lessons from the United States. *The American Review of Public Administration* (дата звернення 07.05.2024).

Науковий керівник: к.т.н., доцент О.В. Коцар

UDC 621.31

Artem Karpenko, PhD student
Power Supply Department of
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

GAP-ANALYSIS OF THE NATIONAL REGULATORY BASE FOR ENERGY MONITORING IN THE MUNICIPALITIES

Abstract. *The article examines the legislative and regulatory support for the implementation and use of the energy monitoring system in government and local self-government bodies. A gap analysis was conducted to identify gaps in the functioning of the energy monitoring system in municipalities. Based on the results of the analysis, we offer ways to increase the energy monitoring performance at municipal facilities, in particular, through the introduction of the position of energy manager with appropriate powers, comprehensive training of employees, systematic monitoring and reporting about energy using, which based on the verified energy metering data, which generated by automated energy monitoring systems.*

Keywords: *energy management, energy monitoring, energy monitoring systems, energy efficient municipality.*

References

1. URL: https://www.serviciilocale.md/public/files/Energy_Management_Handbook.pdf (accessed at 05.06.2024)
2. Moss, Keith. Energy Management in Buildings: The Earthscan Expert Guide. Earthscan, (accessed at 11.05.2024)
3. Pinto, T., Lopes, J., & Silva, M. (2020). Instrumentation and Measurement Techniques for Energy Monitoring and Management: A Comprehensive Review. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement (accessed at 05.06.2024).
4. Love, P.E., Edwards, D.J., Irani, Z., & Walker, D.H. (2009). The sources and patterns of innovation in a software engineering intensive industry: evidence from the construction industry. Journal of Management Information Systems (accessed at 05.06.2024).
5. Kettl, D. F. (2020). Local Government Responses to COVID-19: Lessons from the United States. The American Review of Public Administration (accessed at 05.07.2024).

Scientific supervisor: Cand.Tech.Sc., Associate Professor Oleg Kotsar

УДК 621.31

Є.О. Касьяненко, магістрант
Кафедра Електропостачання
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ MICROGRID В НАЦІОНАЛЬНОМУ ЗАКОНОДАВЧОМУ ТА РЕГУЛЯТОРНОМУ ПРОСТОРИ

Анотація. У статті досліджено поняття "microgrid" (мікромережа), моделі microgrid та класифікацію microgrid. За результатами опрацювання нормативно-правових актів ЄС та України запропоновано визначення, а також класифікаційні ознаки microgrid, що дозволяють ідентифікувати окремі моделі мікромереж. За результатами аналізу визначено прогалини законодавства, що стримують розвиток мікромереж.

Ключові слова: microgrid, моделі microgrid, моделі управління microgrid, активний споживач, prosumer, енергетичний кооператив, MCP, CDS, CEC, DSOMM, PC, FMM.

Вступ. Внаслідок руйнівних повітряних атак російського агресора електроенергетична система України втратила близько половини генерувальних потужностей, переважно теплової маневреної генерації, через що виробництво електроенергії впало більш ніж на 30%. Навіть в неопалювальний період промислових і комерційних споживачів вже закликають зменшувати обсяги електроспоживання у пікові години доби через обмеження генерації на електростанціях. Так, наприклад, у ТРЦ «Lavina Mall» (м. Київ) орендарів закликають зменшувати споживання потужності не менш ніж на 50% з 17:00 або ж електропостачання буде припинено взагалі.

За таких умов збільшувати генерувальні потужності і підвищувати стійкість об'єднаної електроенергетичної системи (ОЕС) України до агресивних зовнішніх впливів доцільно шляхом розбудови розосередженої генерації в парадигмі подальшої децентралізації електроенергетики та імплементації концепції активних мереж розподілу, що об'єднують добре збалансовані microgrids (мікромережі), зокрема, на базі альтернативних та відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Такий підхід дозволить забезпечити надійне електропостачання споживачів навіть в умовах повного від'єднання microgrid від загальної електромережі.

Отже, через прагнення до енергонезалежності та підвищення енергетичної стійкості об'єктів споживачів актуальним є питання дослідження особливостей впровадження та функціонування microgrid в Україні на основі найкращих практик.

Метою статті є дослідження нормативного та правового забезпечення процесів впровадження та експлуатації microgrid в Україні та в Європейському Союзі (ЄС), а також дослідження можливості імплементації передових моделей управління microgrid на основі сучасного законодавства.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- дослідити поняття, визначити класифікаційні ознаки та диференціювати моделі microgrid;
- виконати порівняльний аналіз законодавчої та регуляторної бази з розробки, впровадження та експлуатації microgrid в ЄС та Україні;
- виконати аналіз і визначити моделі управління microgrid, найбільш придатні для імплементації в Україні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що дослідженням аспектів

побудови та застосування microgrid займаються провідні науковці, зокрема, М.Пашеро, Р.Шридхара, С.Деша, О.В.Кириленко, В.Я. Жуйков, В.П.Розен та ін. Проте, ці дослідження зосереджено здебільшого на технічних аспектах функціонування та управління microgrid, залишаючи поза рамками досліджень особливості маркетингових моделей управління мікромережами. Отже, виникає потреба в подальших дослідженнях особливостей саме нормативно-правового регулювання впровадження та експлуатації microgrid, зокрема моделей управління мікромережами.

Матеріал і результати досліджень. Упродовж останніх років суттєво підвищився інтерес до microgrid, головною метою яких є забезпечення споживачів електричною енергією, зокрема, в разі від'єднання від основної мережі. Також microgrid використовується у регіонах, де неможливо забезпечити приєднання споживачів до основної електромережі (наприклад, морські острови, віддалені населені пункти тощо). Першочерговим завданням дослідження є з'ясування, що являє собою microgrid, адже сьогодні у науково-технічній літературі доступна велика кількість визначень. У європейському та українському законодавстві сьогодні усталене визначення microgrid окреслено не чітко, що призводить до помилкових трактувань цього терміну. Ба більше, немає консенсусу навіть з приводу єдиного написання терміну “microgrid”, як серед науковців, так і серед профільних органів. Зокрема, зустрічаються такі варіанти: “microgrid” [1], “Micro-grid” [2], “MicroGrid” [3], “micro grid” [4] тощо. Для більш детального розуміння розглянемо різні визначення.

Міністерство енергетики Сполучених Штатів Америки (United States Department of Energy) визначає microgrid, як *групу взаємопов'язаних навантажень і розподілених енергетичних ресурсів у межах чітко визначених електричних кордонів, яка діє як єдиний керований об'єкт по відношенню до мережі та може приєднуватись та від'єднуватись від загальної мережі, що дозволяє їй працювати в острівному режимі* [1]. Такої ж думки дотримується і Міжнародна електротехнічна комісія (International Electrotechnical Commission, IEC), яка у Міжнародному електротехнічному словнику (International Electrotechnical Vocabulary, IEV) використовує таке саме визначення, зазначаючи при цьому, що воно охоплює як комунальні мікромережі, так і мікромережі об'єктів, що належать споживачам [5].

Професор Національного технічного університету Афін Нікос Д. Хаціаргіріу, визначає microgrids, як *системи розподілу з розподіленими джерелами енергії, пристроями зберігання та контрольованими навантаженнями, які працюють під'єднаними до основної електромережі або ізольованими в скоординований спосіб* [2].

Громадська організація New York State Energy & Development Authority (NYSERDA), що спеціалізується на аналізі, проведенні технічних експертиз, консультуванні з енергоефективності і використання ВДЕ, визначає microgrids, як *локальні енергетичні мережі, що можуть від'єднуватись від більшої електромережі під час екстремальних погодних умов чи надзвичайних ситуацій, надаючи живлення окремим споживачам та критичним громадським сервісам такі, як лікарні, служби реагування на надзвичайні ситуації та водоочисні комплекси* [3].

Міжнародний Конгрес Великих Енергетичних Систем (International Council on Large Electric Systems, CIGRE) під терміном microgrid розуміє *системи розподілу, що містять навантаження та розосереджені енергетичні ресурси (генератори, накопичувальні пристрої або контрольовані навантаження), які можуть працювати у контрольований, координований спосіб, як під час з'єднання із основною мережею, так і в острівному режимі* [6].

Нідерландський науковець Ромен Могер упродовж 2020 — 2021 років провів

дослідження, частина якого стосувалась визначення поняття “microgrid” [4]. У ході дослідження було опрацьовано понад 30 наукових статей, книг, офіційних доповідей, що здебільшого було опубліковано з 2010 по 2020 рр., які так чи інакше стосуються microgrid. З цих праць було проаналізовано визначення поняття “microgrid”, що пропонують автори і виділено спільні риси:

- локальне розташування (на обмеженій географічній території);
- наявність мікрогенерації на базі традиційних та/або відновлюваних мікроджерел енергії, пристроїв накопичення/зберігання енергії та контрольованих навантажень, що забезпечує енергонезалежність та підвищення надійності електропостачання споживачів;
- здатність microgrid відокремлюватись від загальної мережі і працювати в острівному режимі. При цьому, microgrid може взагалі не мати зв'язку із загальною електромережею [4].

Ще на початку XXI ст., коли активно почали досліджуватися питання розбудови microgrid з метою підвищення надійності електропостачання, передусім у США через стихійні лиха, що часто руйнують енергетичну інфраструктуру, науковці зазначали про важливість обмеження потужностей для таких мікромереж. Управління енергетичних досліджень і розвитку штату Нью-Йорк (NYSERDA) у 2010 році опублікувало звіт “Microgrids: an assessment of the value, opportunities and barriers to development in New York state” [7]. Дослідницькою групою було виявлено, що більшість мікромереж мають генерувальну потужність до 10 МВт, проте більші системи, які призначено, наприклад, для енергозабезпечення кампусів, мали потужність до 40 МВт. Як зазначають автори, розмір microgrid змінюється залежно від поставлених задач, проте на їхню думку прийнятною, хоча й умовною верхньою межею потужності мікромережі є 40 МВт [7]. Відповідно до онлайн сервісу “Microgrids Map of the EU” можна проаналізувати наявні microgrid у ЄС. Більшість мікромереж мають потужність до 1-2 МВт, лише дві мікромережі “Feldheim” (Німеччина) та “Bornholm-Microgrid” (Данія) мають великі генерувальні потужності такі, як 75 МВт та 62,5 МВт відповідно [8].

На основі проведених досліджень з урахуванням аналізу визначень від різних наукових та комерційних організацій запропонуємо наступне визначення: *microgrid* — це локально розташована (на обмеженій географічній території) збалансована мікроенергосистема з єдиним центром управління та обмеженою генерувальною потужністю (зазвичай не більше 40 МВт), що охоплює мікрогенерацію на базі традиційних та/або відновлюваних мікроджерел енергії, пристрої накопичення/зберігання енергії і контрольовані теплові та електричні навантаження і забезпечує енергопостачання споживачів (промислових, комунальних, побутових) та/або підвищує його надійність як в режимі функціонування у складі загальної електромережі, так і за тимчасового або не обмеженого в часі автономного/острівного режиму. Слід зазначити, що обмеження генерувальної потужності мікромережі саме 40 МВт бачиться доцільним сьогодні. Проте, через неухильне вдосконалення генерувальних установок, зростання потужностей струмоприймачів та обсягів споживання електроенергії це обмеження передбачає виключення і в подальшому може бути переглянuto.

Наступним кроком доцільно визначити ключові класифікаційні ознаки, що дозволять відрізнити microgrids. Мікромережа має забезпечувати надійне електропостачання споживачів, зокрема, в острівному режимі за тимчасового чи необмеженого від'єднання від загальної електромережі. Отже, однією з головних класифікаційних ознак microgrid є її автономність і збалансованість за потужностями

навантаження та генерації. Іншою класифікаційною ознакою є обмеження генерувальної потужності microgrid. Якщо мікромережі не обмежувати в потужності, це може стати певною лавіною для не добросовісних підприємців, які будуть будувати мікромережі з великими генерувальними потужностями і користуватись або ж пільговими умовами, що потенційно передбачені у законодавстві щодо microgrid або ж виникатимуть великі монопольні гравці в регіоні, яких буде важко контролювати. Також, будь-яка розподільна мережа має керуватись з єдиного центру управління. Microgrid не є виключенням і важливою класифікаційною ознакою є наявність єдиного центру управління мікромережею. Загальну структуру microgrid наведено на рис. 1.

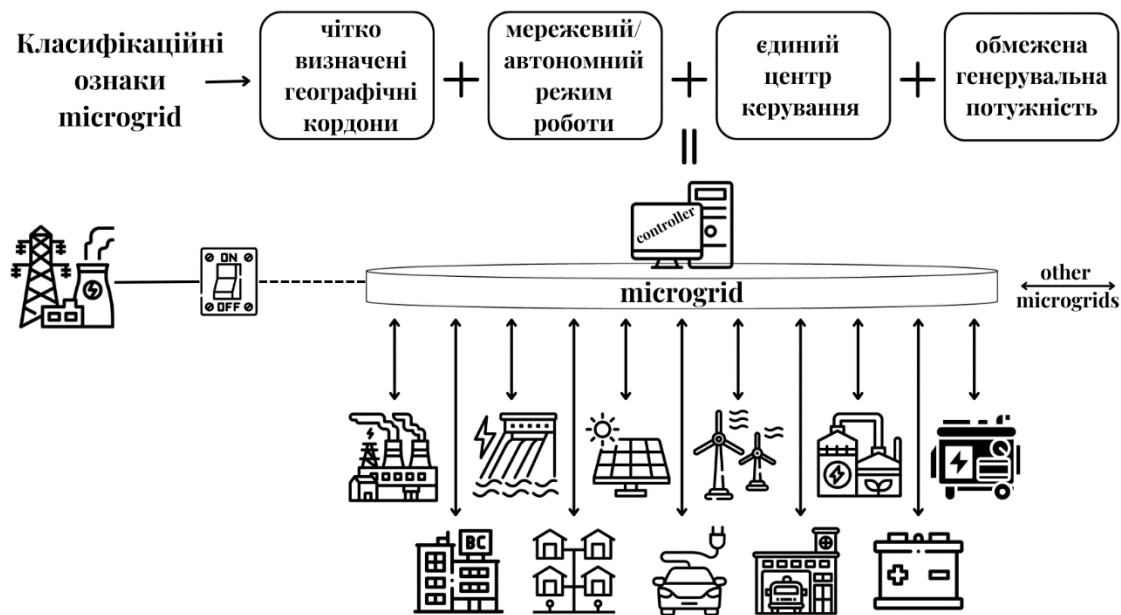


Рисунок 1 – Загальна структура та класифікаційні ознаки microgrid. Створено з використанням ресурсу Flaticon.com [9]

Наступним етапом дослідження є класифікація моделей microgrid в регуляторному полі. Аналізуючи законодавство ЄС у сфері електроенергетики, зокрема, Директиву ЄС 2019/944 про загальні правила внутрішнього ринку електричної енергії [10], Директиву ЄС 2018/2001 про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел [11], а також публікації європейських науковців, нормативно-правове регулювання microgrid в європейському законодавстві бачиться недосконалим.

Сьогодні microgrid в ЄС законодавчо не визначено, тобто не існує офіційного визначення, що можна було б розуміти під таким поняттям [12]. Як зазначає науковець Джеймі Берент у своїй праці “Small Systems: Big Impacts – Examining the Concept of Microgrids from an EU Law Perspective” [12] в ЄС поняття “microgrid” використовується здебільшого у наукових колах та політичних документах і не має офіційного юридичного підкріплення, що стримує розвиток мікромереж. Відсутність офіційного тлумачення призводить до обмеження переваг споживачів, які могли б надати такі мікромережі.

Директива 2019/944 не містить визначення “microgrid”, проте, окремі положення [10] можна все ж таки співставити з певними класами мікромереж (рис. 2), зокрема, закриті системи розподілу (Closed Distribution Systems, CDS), громадські енергетичні спільноти (Citizen Energy Community, CEC), активні споживачі (prosumers), малі

ізолювані системи (Small Isolated System, SIS) і малі приєднані системи (Small Connected System, SCS). Директивою ЄС 2018/2001 визначено спільноти з відновлюваних джерел (Renewable Energy Community, REC), що також можна співставити з окремим класом microgrid [12].

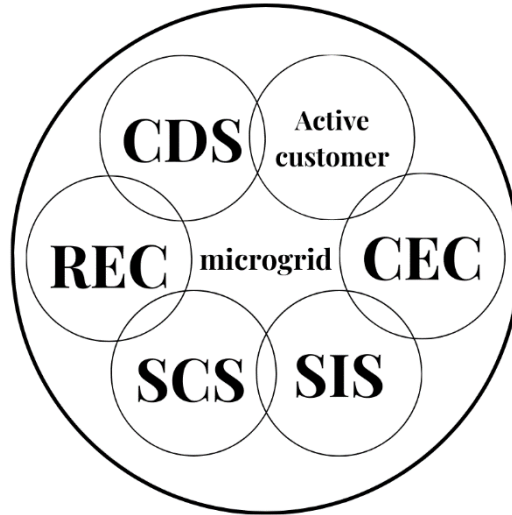


Рисунок 2 – Взаємозв’язок microgrid з визначеннями європейської регуляторної бази

Закриті системи розподілу (CDSs) є системами розподілу, які призначено для розподілу електроенергії на окремо визначеному географічному просторі для промислових та комерційних об’єктів. Отже, CDS є одним із випадків microgrid, що забезпечує електропостачання промислових та комерційних споживачів.

Громадські енергетичні спільноти (CECs) відповідно до свого визначення в п.11 ст.2 Директиви 2019/944 є добровільними організаціями, що спеціалізуються на виробітку (зокрема, на базі ВДЕ), розподілі, постачанні, споживанні, агрегуванні, зберіганні енергії тощо [10]. Головною метою CECs є отримання економічної, екологічної та соціальної вигоди для членів або акціонерів спільноти, а не отримання фінансового прибутку. У п.16 ст.2 Директиви 2018/2001 передбачено визначення ВДЕ-громади (REC), що має практично ідентичне значення, що й CEC, але виробництво електроенергії має здійснюватись виключно на базі ВДЕ на відміну від громадських енергетичних спільнот [11]. Як і в попередньому випадку можна стверджувати, що CEC та REC є окремими класами мікромереж, що передбачають створення юридичної особи з кількістю учасників не менше двох [12].

Також, у п.8 ст.2 Директиви 2019/944 надано визначення поняття “активний споживач” (active customer), яке визначає кінцевого споживача або групу спільно діючих споживачів, що споживає або зберігає електроенергію, вироблену в своїх приміщеннях, розташованих в обмежених межах або в інших приміщеннях (за умови дозволу державами-членами), або який продає електроенергію власного виробництва або бере участь у схемах забезпечення гнучкості або енергоефективності, за умови, що така діяльність не становить його основну комерційну або професійну діяльність [10]. Виробництво електроенергії активним споживачем здебільшого має бути спрямовано на задоволення власних потреб. Відсутня можливість постачати електроенергію іншим користувачам, проте є можливість продавати надлишки виробленої електроенергії в загальну електромережу, що можна класифікувати, як окремий випадок microgrid.

Мала ізолювана система (SIS), являє собою будь-яку систему, яка в 1996 р.

споживала менше ніж 3000 ГВт·год і яка отримує менше ніж 5% річного споживання через пов'язані системи. Мала приєднана система (SCS), являє собою будь-яку систему, яка в 1996 р. споживала менше ніж 3000 ГВт·год і яка отримує більше ніж 5% річного споживання через пов'язані системи [10]. Деякі мікромережі можна віднести до SIS або SCS виходячи з їхнього річного електроспоживання та залежно від взаємозв'язків з іншими системами, проте знову ж таки це буде лише окремим випадком microgrid.

Якщо ж оцінювати загалом сучасне енергетичне законодавство ЄС у сфері microgrid, то варто звернути увагу, що окремі мікромережі можуть складатись лише з декількох домогосподарств, у той час, як інші можуть жити селище в цілому, а в законодавстві ЄС також сформульовано вимоги для мікромереж, що мають кількість приєднань понад 100 тисяч абонентів [12]. Також, у зв'язку з відсутністю регулювання microgrid виникає ще одна проблема з приводу того, хто відповідальний за мікромережу, коли microgrid працює в режимі приєднання до загальної електромережі разом з основною енергосистемою, а хто – коли в острівному і відповідно коли настають повноваження того чи іншого учасника ринку (ОСР або оператора microgrid) [12].

Отже, певні нерегульованості у нормативно-правовому забезпеченні застосування microgrid, починаючи з визначення поняття “microgrid”, зумовлюють невизначеності у розподілі ролей у сфері управління мікромережами між учасниками ринку, їхніми функціями, правами, обов'язками тощо. Звісно, деякі мікромережі можна підвести під діюче законодавство, наприклад мікромережі, що використовуються промисловими споживачами, але це лише окремі класи microgrid.

Сьогодні в Україні відсутня нормативно-правова база, яка б стосувалась безпосередньо класичної microgrid, що було попередньо розглянуто [13]. Як і в європейській нормативно-правовій базі, в Україні також існують певні терміни, що можна віднести до окремих класів мікромереж (рис. 3), а саме:

- мала системи розподілу, МСР (Кодекс системи розподілу, КСР) [14];
- активний споживач (Закон України «Про ринок електричної енергії») [15];
- енергетичний кооператив (Закон України «Про альтернативні джерела енергії») [16].

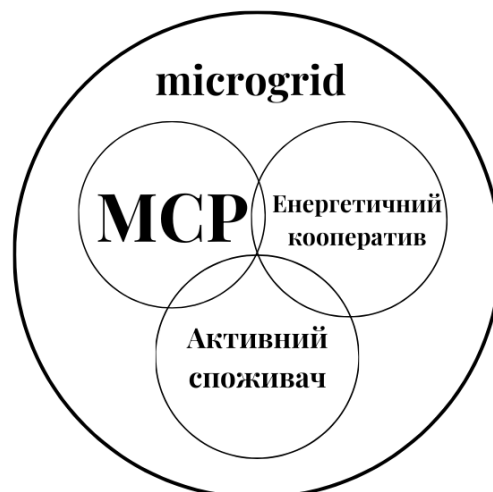


Рисунок 3 — Взаємозв'язок microgrid з визначеннями української регуляторної бази

Під МСР розуміється система ліній, допоміжного обладнання, обладнання для

трансформації та перемикачів від точки приєднання до мереж оператора системи розподілу (ОСР) або оператора системи передачі (ОСП) до точок приєднання електроустановок користувачів, розташованих на обмеженій території об'єктів та/або земельних ділянок, які є власністю оператора МСР і використовуються для розподілу електричної енергії користувачам, що відповідають вимогам, визначеним законом [14].

Пунктом 9.2. КСР [14] передбачено умови визначення МСР, серед них підпунктом 2 встановлено, що розподіл електричної енергії малими системами розподілу не здійснюється побутовим споживачем. Також КСР визначено, що користувачами малої системи розподілу є юридичні особи або фізичні особи-підприємці, які відпускають або приймають електричну енергію до/з мереж малої системи розподілу для задоволення своїх потреб.

Отже, виходячи з цієї умови поняття “мала система розподілу” є лише одним з випадків “microgrid”, адже класичним поняттям “microgrid” не передбачено обмежень щодо постачання електричної енергії побутовим споживачем. Можна стверджувати, що МСР є одним з класів microgrid. Така мережа використовується здебільшого індустріальними парками. Донедавна діяльність МСР провадилась без отримання ліцензії, проте, у липні 2023 року набули чинності зміни до Закону України «Про ринок електричної енергії» [17], де передбачено отримання ліцензій для операторів малих систем розподілу.

Закон України «Про ринок електричної енергії» передбачає визначення поняття “активний споживач”, зокрема, приватне домогосподарство, енергетичний кооператив, споживач, який є замовником енергосервісу, який споживає електричну енергію та виробляє електричну енергію, та/або здійснює діяльність із зберігання енергії, та/або продає надлишки виробленої та/або збереженої електричної енергії, або бере участь у заходах з енергоефективності та управління попиту відповідно до вимог закону, за умови що ці види діяльності не є його основною господарською або професійною діяльністю [15]. Законом передбачено, що генерувальні установки повинні забезпечувати здебільшого самого споживача, і лише надлишки виробленої електроенергії дозволено продавати. У ч.1 ст.58¹ передбачено втрату статусу активного споживача у разі якщо споживач має генерувальні установки понад 1 МВт і при цьому за попередній календарний рік обсяг відпуску електричної енергії, що було вироблено генерувальними установками споживача перевищив 50% загального обсягу споживання електричної енергії (з мережі та генерувальних установок) такого споживача [15]. Також, активний споживач має обмеження у потужностях дозволених генерувальних установок:

- побутові споживачі у приватних домогосподарствах — 50 кВт (виробництво електричної енергії за рахунок сонячного випромінювання та/або енергії вітру і подальший продаж за “зеленим” тарифом);

- інші споживачі, зокрема, енергетичні кооперативи — 150 кВт (виробництво електричної енергії за рахунок сонячного випромінювання та/або енергії вітру, з біомаси, біогазу, гідроенергії, геотермальної енергії та її продаж за “зеленим” тарифом);

- приватні домогосподарства — 30 кВт та продаж виробленої електричної енергії за механізмом самовиробництва;

- малі не побутові споживачі — 50 кВт та продаж виробленої електричної енергії за механізмом самовиробництва;

- не побутові споживачі — договірна потужність [15].

Отже, поняття “активний споживач” є одним з випадків microgrid, що передбачає виробництво електроенергії лише для власного споживання, продаж дозволений лише надлишків, можливість встановлення генерувальних установок для побутових та малих

непобутових споживачів з суттєвими обмеженнями за потужністю.

Варто також дослідити законодавство про енергетичні кооперативи, що мають спільні риси із громадськими енергетичними спільнотами (СЕС) у Європі. Законом України «Про альтернативні джерела енергії» передбачено визначення енергетичного кооперативу, що є юридичною особою, яка створена відповідно до Закону України «Про кооперацію» або Закону України «Про споживчу кооперацію» для здійснення господарської діяльності з виробництва, заготівлі або транспортування паливно-енергетичних ресурсів та зберігання енергії, для надання інших послуг з метою задоволення потреб його членів або територіальної громади, а також з метою отримання прибутку відповідно до законодавства [16]. Відповідно до ст.6 Закону України «Про кооперацію» кооперативи поділяються на три типи: виробничий, обслуговуючий та споживчий. У ст.23 цього ж закону зазначено, що лише виробничий кооператив утворюється з метою отримання прибутку, а інші кооперативи надають послуги своїм членам не маючи на меті отримання прибутку. Оскільки активний споживач здійснює продаж надлишків виробленої електричної енергії, а отже отримує прибуток, то за характером діяльності енергетичний кооператив слід віднести до виробничих кооперативів. Законом передбачено визначення виробничого кооперативу, що являє собою кооператив, який утворюється шляхом об'єднання фізичних осіб для спільної виробничої або іншої господарської діяльності на засадах їхньої обов'язкової трудової участі з метою одержання прибутку [18]. Відповідно до визначення «активного споживача» енергетичний кооператив є одним із можливих випадків такого споживача, а отже – одним із випадків microgrid, у якому передбачена трудова участь всіх його членів. Якщо метою такого кооперативу буде отримання прибутку і він буде утворений відповідно до Закону України «Про кооперацію», то його засновниками можуть бути виключно фізичні особи. Розглянемо можливість функціонування енергетичних кооперативів відповідно до Закону України «Про споживчу кооперацію» [19]. Відповідно до цього закону споживча кооперація в Україні визначається, як *«добровільне об'єднання громадян для спільного ведення господарської діяльності з метою поліпшення свого економічного та соціального стану. Вона здійснює торговельну, заготівельну, виробничу та іншу діяльність, не заборонену чинним законодавством України, сприяє соціальному і культурному розвитку села, народних промислів і ремесел, бере участь у міжнародному кооперативному русі»*. У ст.3 вказано, що кооперація незалежна у своїй діяльності від органів державної влади, політичних партій та громадських організацій. Статтею 6 визначено членство у споживчому товаристві, яке може бути індивідуальним (громадяни, які досягли 16-річного віку) та колективним (фермерські господарства, колективні сільськогосподарські підприємства, господарські товариства, кооперативні, державні та інші підприємства, що поділяють його цілі та інтереси) [19]. Отже, враховуючи це можна стверджувати, що при утворенні енергетичного кооперативу відповідно до Закону України «Про споживчу кооперацію» учасниками можуть бути як фізичні, так і юридичні особи, зокрема ті, що мають державну форму власності, але учасниками не можуть бути державні органи та органи місцевого самоврядування. Варто зазначити, що перший енергетичний кооператив у м. Славутич заснований відповідно до Закону України «Про споживчу кооперацію» (СТ «Сонячне місто»).

Підсумовуючи можна стверджувати, що сьогодні немає загального визначення microgrid в українському нормативно-правовому полі, проте передбачено окремі випадки microgrid як то МСР, енергетичний кооператив, активний споживач. Втім, діяльність таких мікромереж не є чітко регламентованою. Діяльність окремих видів

мереж, які можна б було віднести до microgrid, а також учасників таких мікромереж регулюється низкою нормативно-правових актів. Окрім цього, сьогодні немає розуміння щодо моделі управління такими мікромережами, де було б визначено чіткі ролі, права та обмеження для кожного з учасників, що працюють з microgrid, уникаючи при цьому конфлікту інтересів.

Результати порівняння європейської то української нормативно-правової бази із забезпечення функціонування мікромереж наведено в табл. 1:

Таблиця 1 — Порівняння європейської та української нормативно-правової бази із забезпечення функціонування мікромереж

№	Визначення		Спільне	Відмінне
	ЄС	Україна		
1	Закрита система розподілу (CDS)	Мала система розподілу (MSP)	<ul style="list-style-type: none"> - є системою розподілу; - відсутність постачання електроенергії побутовим споживачам; - територіальна обмеженість. 	В Україні передбачена можливість роботи в острівному режимі
2	Активний споживач	Активний споживач	<ul style="list-style-type: none"> - споживання і виробництво електричної енергії; - першочергове задоволення власних потреб в електричній енергії, а потім можливий продаж надлишків; - можливість накопичення електричної енергії - можлива участь у заходах з енергоефективності та управління попитом; 	В Україні активним споживачем в т. ч. є і замовник енергосервісу (як до, так і після переходу до нього права власності на майно, утворене (встановлене) за енергосервісним договором
3	Громадська енергетична спільнота (СЕС)	Енергетичний кооператив	<ul style="list-style-type: none"> - юридична особа; - добровільне об'єднання; - учасниками можуть бути як фізичні, так і юридичні особи 	Учасниками кооперативу можуть бути фізичні особи та юридичні особи, але не державні органи влади. У ЄС основною метою є отримання економічних, екологічних та соціальних благ членам спільноти, а не отримання фінансового прибутку. Членами можуть бути і органи місцевого самоврядування

Отже, між поняттями “закрита система розподілу” (CDS) у європейському законодавстві та “мала система розподілу” (MCP) в українському законодавстві відмінним є лише те, що в Україні віднедавна передбачено можливість роботи в острівному режимі. Що стосується термінів “громадська енергетична спільнота” (SEC) та “енергетичний кооператив”, то в Україні такі організації створюються, зокрема, з метою отримання прибутку, а в ЄС головною метою є отримання екологічних, економічних або соціальних суспільних благ для учасників та/або акціонерів і територіальних громад, а не отримання фінансового прибутку [10]. Як і в ЄС, в Україні такі організації належать до активних споживачів внаслідок внесення змін 30.06.2023 р. до Закону України «Про ринок електричної енергії». Загалом, в обох законодавчих базах немає чіткого поняття, що є microgrid, що стримує їхній розвиток та породжує значні невизначеності під час функціонування наявних мікромереж. Що стосується розглянутих випадків microgrid як у європейському законодавстві, так і в українському існують рівнозначні визначення, що є природнім на шляху прагнення України до євроінтеграції. Проте, інколи процес імплементації європейських нормативно-правових актів затягується, і до того ж в Україні вони набувають певних національних особливостей.

Висновки. Перспектива розбудови ОЕС України полягає в імплементації концепції активних мереж розподілу, що об'єднують збалансовані microgrids (мікромережі), зокрема, на базі ВДЕ. Разом з тим, продуктивне застосування мікромереж має базуватися на усталеній термінології і класифікації microgrids та вимагає належного нормативно-правового забезпечення. Проведені дослідження свідчать, що чинна законодавча та регуляторна база містить численні прогалини, зокрема, щодо визначення поняття “microgrid”, і не охоплює усіх класів мікромереж та моделей управління ними, що стримує їхній розвиток в Україні. Це вимагає проведення подальших досліджень з метою вдосконалення нормативно-правового забезпечення застосування і розвитку мікромереж в Україні на основі їхньої усталеної класифікації та передових моделей управління.

Список використаних джерел

1. DOE Microgrid Workshop Report by Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, Smart Grid R&D Program // Energy.gov. URL: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/Microgrid%20Workshop%20Report%20August%202011.pdf> (дата звернення: 23.04.2024)
2. Nikos Hatzigiorgiou, Microgrids: Architectures and Control, (Editor), ISBN: 978-1-118-72068-4, Mar 2014, Wiley-IEEE Press. URL: https://web.nit.ac.ir/~shahabi.m/M.Sc%20and%20PhD%20materials/DGs%20and%20MicroGrids%20Course/Books/Microgrids-Architectures%20and%20Control%20by%20Nikos%20Hatzigiorgiou/Microgrids_%20Architectures%20and%20Control-Wiley-IEEE%20Press%202014_by%20Nikos%20Hatzigiorgiou.pdf (дата звернення: 23.04.2024)
3. Red Hook Community MicroGrid // Nyc.gov. URL: <https://www.nyc.gov/site/brooklyncb6/about/special-projects/red-hook-community-microgrid.page> (дата звернення: 23.04.2024)
4. Mauger, R., & Roggenkamp, M. (2021). Deliverable D7.3 – Developing Microgrids in the EU: A deliverable for the SMILE (Smart Island Energy Systems) H2020 project. URL: https://h2020smile.eu/wp-content/uploads/2021/12/D7.3_SMILE_final_rev0.pdf (дата звернення: 01.05.2024)

5. International Electrotechnical Vocabulary by International Electrotechnical Commission, IEC ref 617-04-22 // Electropedia. URL: <https://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=617-04-22> (дата звернення: 23.04.2024)
6. Siad, Sabah. DC MicroGrids Control for renewable energy integration, 2019. URL: <https://hal.science/tel-02173724/> (дата звернення: 23.04.2024)
7. N.Y. STATE ENERGY RES. & DEV. AUTH., Microgrids: an assessment of the value, opportunities and barriers to development in New York state a-32 (2010). URL: https://www.academia.edu/2587581/Microgrids_An_Assessment_of_the_Value_Opportunities_and_Barriers_to_Deployment_in_New_York_State (дата звернення: 01.05.2024)
8. Microgrids Map of the EU // Microgrids-research: веб-сайт. URL: <https://www.microgrids-research.eu/mapping-microgrids> (дата звернення: 01.05.2024)
9. Flaticon // Flaticon. URL: <https://www.flaticon.com/ru/> (дата звернення: 02.05.2024)
10. Про спільні правила внутрішнього ринку електроенергії та внесення змін до Директиви 2012/27/ЄС: Директива Європейського парламенту і Ради (ЄС) 2019/944 від 05 черв. 2019 р. URL: <https://energysecurityua.org/ua/briify/dyrektyva-yes-2019-944-uevropeyskoho-parlamentu-i-rady-vid-05-cherwnia-2019-roku/> (дата звернення: 25.04.2024)
11. Про стимулювання використання енергії з відновлюваних джерел: Директива Європейського парламенту і Ради (ЄС) 2018/2001 від 11 груд. 2018 р. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-GOEEI/direktiva-evropeyskogo-parlamentu-i-radi-es-2018-2001.pdf> (дата звернення: 25.04.2024)
12. Behrendt, J. (2021). Small Systems: Big Impacts - Examining the Concept of Microgrids from an EU Law Perspective. European Energy and Environmental Law Review, 30(3), 74-84. URL: <https://pure.rug.nl/ws/portalfiles/portal/196492283/EELR2021008.pdf> (дата звернення: 25.04.2024)
13. Через великі борги в енергетиці інвестори не прийдуть в галузь для будівництва нових потужностей – експерт // Glavcom. URL: <https://glavcom.ua/economics/finances/chez-veliki-borhi-v-enerhetitsi-investori-ne-prijdut-v-haluz-dlja-budivnitstva-novikh-potuzhnostej-ekspert-984576.html> (дата звернення: 24.04.2024)
14. Про затвердження Кодексу системи розподілу: Постанова НКРЕКП № 310 від 14.03.2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0310874-18#Text> (дата звернення: 24.04.2024)
15. Про ринок електричної енергії: Закон України від 13 квіт. 2017 р. № 2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (дата звернення: 24.04.2024)
16. Про альтернативні джерела енергії: Закон України від 20 лют. 2002 р. № 555. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text> (дата звернення: 24.04.2024)
17. НКРЕКП ліцензуватиме діяльність малих систем розподілу електрики // Ukrinform. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3769767-nkrekp-licenzuvatime-dialnist-malih-sistem-rozpodilu-elektriki.html> (дата звернення: 24.04.2024)
18. Про кооперацію: Закон України від 10 лип. 2003 №1087. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1087-15#Text> (дата звернення: 03.05.2024)
19. Про споживчу кооперацію: Закон України від 10 квіт. 1992 №2265. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2265-12#Text> (дата звернення: 03.05.2024)

Науковий керівник: к.т.н., доцент О. В. Коцар

UDC 621.31

Yehor Kasianenko, master student
Power Supply Department of
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

ANALYSIS OF MICROGRID MODELS IN THE NATIONAL LEGISLATIVE AND REGULATORY SPACE

Abstract. *The article examines the concept of "microgrid", microgrid models and microgrid classification. According to the results of the elaboration of the regulatory legal acts of EU and Ukraine, definitions and classification features of microgrid are proposed, which allow to identify individual models of microgrids. According to the results of the analysis, gaps in the legislation that restrain the development of microgrids have been identified.*

Keywords: *microgrid, microgrid models, microgrid management models, active consumer, prosumer, energy cooperative, MCP, CDS, CEC, DSOMM, PC, FMM.*

References

1. DOE Microgrid Workshop Report by Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, Smart Grid R&D Program // Energy.gov. URL: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/Microgrid%20Workshop%20Report%20August%202011.pdf> (accessed at 04.23.2024)
2. Nikos Hatziargyriou, Microgrids: Architectures and Control, (Editor), ISBN: 978-1-118-72068-4, Mar 2014, Wiley-IEEE Press. URL: https://web.nit.ac.ir/~shahabi.m/M.Sc%20and%20PhD%20materials/DGs%20and%20MicroGrids%20Course/Books/Microgrids-Architectures%20and%20Control%20by%20Nikos%20Hatziargyriou/Microgrids_%20Architectures%20and%20Control-Wiley-IEEE%20Press%202014_by%20Nikos%20Hatziargyriou.pdf (accessed at 04.23.2024)
3. Red Hook Community MicroGrid // Nyc.gov. URL: <https://www.nyc.gov/site/brooklyncb6/about/special-projects/red-hook-community-microgrid.page> (accessed at 04.23.2024)
4. Mauger, R., & Roggenkamp, M. (2021). Deliverable D7.3 – Developing Microgrids in the EU: A deliverable for the SMILE (Smart Island Energy Systems) H2020 project. URL: https://h2020smile.eu/wp-content/uploads/2021/12/D7.3_SMILE_final_rev0.pdf (accessed at 05.01.2024)
5. International Electrotechnical Vocabulary by International Electrotechnical Commission, IEV ref 617-04-22 // Electropedia. URL: <https://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=617-04-22> (accessed at 04.23.2024)
6. Siad, Sabah. DC MicroGrids Control for renewable energy integration, 2019. URL: <https://hal.science/tel-02173724/> (accessed at 04.23.2024)
7. N.Y. STATE ENERGY RES. & DEV. AUTH., Microgrids: an assessment of the value, opportunities and barriers to development in New York state a-32 (2010). URL: https://www.academia.edu/2587581/Microgrids_An_Assessment_of_the_Value_Opportunities_and_Barriers_to_Deployment_in_New_York_State (accessed at 05.01.2024)
8. Microgrids Map of the EU // Microgrids-research: website. URL: <https://www.microgrids-research.eu/mapping-microgrids> (accessed at 05.01.2024)

9. Flaticon // Flaticon. URL: <https://www.flaticon.com/ru/> (accessed at 05.02.2024)
10. On common rules of the internal electricity market and amendments to Directive 2012/27/EU: Directive of the European Parliament and of the Council (EU) 2019/944 of June 5. 2019 URL: <https://energysecurityua.org/ua/brify/dyrektyva-yes-2019-944-yevropeykohe-parlamentu-i-rady-vid-05-cherwnia-2019-roku/> (accessed at 04.25.2024)
11. On encouraging the use of energy from renewable sources: Directive of the European Parliament and the Council (EC) 2018/2001 of December 11. 2018 URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-GOEEI/direktiva-evropeyskogo-parlamentu-i-radi-es-2018-2001.pdf> (accessed at 04.25.2024)
12. Behrendt, J. (2021). Small Systems: Big Impacts – Examining the Concept of Microgrids from an EU Law Perspective. *European Energy and Environmental Law Review*, 30(3), 74-84. URL: <https://pure.rug.nl/ws/portalfiles/portal/196492283/EELR2021008.pdf> (accessed at 04.25.2024)
13. Due to large debts in the energy sector, investors will not come to the industry to build new capacities - an expert // Glavcom. URL: <https://glavcom.ua/economics/finances/chez-veliki-borhi-v-enerhetitsi-investori-ne-prijdut-v-haluz-dlja-budivnitstva-novikh-potuzhnostej-ekspert-984576.html> (accessed at 04.24.2024)
14. On the approval of the Distribution System Code: Resolution of the NEURC No. 310 of 03/14/2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0310874-18#Text> (accessed at 04.24.2024). (Ukr)
15. On the electric energy market: Law of Ukraine dated April 13 2017 No. 2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (accessed at 04.24.2024). (Ukr)
16. On alternative energy sources: Law of Ukraine dated February 20 No. 555 of 2002. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text> (accessed at 04.24.2024). (Ukr)
17. NERCEP will license the activity of small electricity distribution systems // Ukrinform. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3769767-nkrekp-licenzuvatime-dialnist-malih-sistem-rozpodilu-elektriki.html> (accessed at 04.24.2024)
18. On cooperation: Law of Ukraine dated July 10 2003 #1087. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1087-15#Text> (accessed at 05.03.2024). (Ukr)
19. On consumer cooperation: Law of Ukraine dated April 10 1992 #2265. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2265-12#Text> (accessed at 05.03.2024). (Ukr)

Scientific supervisor: Cand.Tech.Sc., Associate Professor Oleg Kotsar

УДК 621.31

Гонгало В.Р., магістрант
Кафедра Електропостачання
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗУМНОЇ СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ В БУДІВЛЯХ

Анотація. Реалізація розумної системи моніторингу потребує уваги до багатьох аспектів, що до її реалізації, тому важко визначити при використанні алгоритмів зі стандартним підходом. Тому удосконалення системи моніторингу потребує використання інноваційних методів, в тому числі на базі штучного інтелекту. Розумна система моніторингу дозволяє налаштувати умови проживання відповідно до індивідуальних вподобань та потреб кожного користувача, що призводить до підвищення загального рівня життя.

Ключові слова: енергетичний менеджмент, енергомоніторинг, штучний інтелект.

Вступ. В сучасному світі, де екологічні проблеми та раціональне використання ресурсів стають все більш актуальними, виникає потреба в інноваційних підходах до управління енергозабезпеченням житлових приміщень. Розумна система моніторингу та управління в будівлях, здатні адаптуватися до потреб користувача, пропонуючи ефективні рішення для оптимізації кліматичних умов перебування в приміщенні.

Цей підхід відкриває нові можливості для побудови та забезпечення комфортних умов та підвищення енергоефективності будівель, які будуть відповідати сучасним вимогам сталого розвитку. Таким чином, розумна система моніторингу в будівлях є не лише актуальним, але й необхідним кроком у напрямку створення здорового, комфортного та екологічно безпечного житла для майбутніх поколінь.

Реалізація. Для розробки системи моніторингу в будівлях, що використовує нейромережі, ми використовуємо передові інструменти та методи штучного інтелекту. Нижче наведено детальний опис кожного етапу реалізації (рис. 1):

1. Збір вхідних даних. Для збору температурних показників та показників якості повітря використовуються датчики, які розташовані у кімнатах та інших зоні приміщення.

2. Побудова моделі нейромережі. Для розробки моделі нейромережі ми використовуємо мову програмування Python з бібліотеками Tensorflow[1] або PyTorch[2]. Ми розглядаємо різні архітектури нейромереж, включаючи згорткові та рекурентні нейронні мережі, щоб забезпечити оптимальну точність та ефективність моделі.

3. Тренування моделі. Після побудови моделі ми тренуємо її на зібраних даних. Для цього ми використовуємо алгоритми оптимізації: Adam, SGD. Функції втрат – середньоквадратичне відхилення. Тренування може відбуватись на графічних процесорах (GPU) для прискорення обчислень, наприклад на відеокартах від Nvidia[3] серії RTX через високу ефективність в нейронних мережах завдяки тензорним ядрам.

4. Інтеграція зі смарт-пристроями. Після успішного тренування, модель інтегрується зі смарт-пристроями у будівлі, такими як система опалення та вентиляції. Це може виконуватись за допомогою спеціалізованих програмних інтерфейсів (API) або мережевих протоколів, таких як MQTT чи CoAP.

Таким чином, за допомогою сучасних інструментів розробки програмного забезпечення та методів штучного інтелекту ми можемо створити ефективну та інтелектуальну систему моніторингу в будівлях, яка забезпечить комфорт та енергоефективність для її мешканців.



Рисунок. 1 – Алгоритм побудови розумної системи моніторингу

Наведемо типовий приклад роботи розумної системи моніторингу яка наведена на Рис.2 та Рис.3:

1. У квартирі встановлені датчики температури та вологості, які постійно моніторять умови в приміщенні. На базі цих даних розроблено систему моніторингу, яка використовує нейромережу для аналізу і прогнозування комфортних умов для користувача.

2. Нейромережа, аналізує вхідні дані та здійснює прогнози, враховуючи вимоги та вподобання користувача. Якщо зафіксовано, що в кімнаті стає прохолодно, нейромережа може автоматично включити систему опалення. При цьому користувач має можливість внести корективи до поведінки системи. Він може вказати, що відчувається прохолодно при температурі нижче 20°C та вологості вище 40%. У такому випадку система буде автоматично реагувати на зміни умов, забезпечуючи комфортніші параметри.

3. Процес керування автоматизовано завдяки використанню нейромережі, яка навчена аналізувати великий обсяг даних та приймати оптимальні рішення. В результаті користувач отримує комфортне та енергоефективне середовище проживання, а система опалення працює більш ефективно, що зменшує споживання енергії та впливає на зниження витрат.

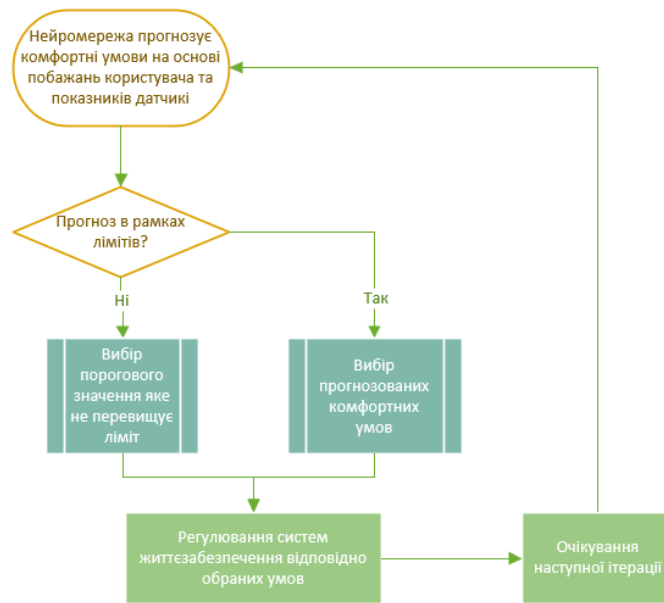


Рисунок 2 – Цикл роботи системи моніторингу

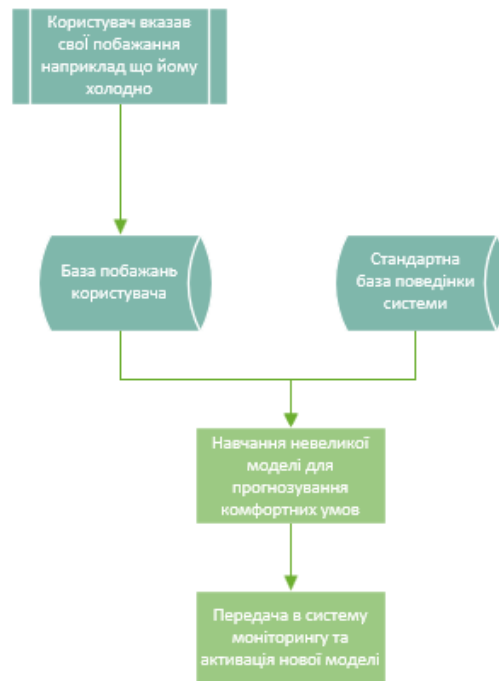


Рисунок 3 – Koreгування навчання моделі III

Висновки. Розглянути концепцію розумної системи моніторингу, яка завдяки автоматичному регулюванню умов в приміщенні забезпечує оптимальний режим споживання енергоресурсів. Інтерфейс користувача дозволяє легко налаштовувати необхідні параметри без глибоких знань системи. Розумна система моніторингу в

будівлях на базі нейромережі може мати значні переваги як з точки зору комфорту користувача, так і з точки зору ефективного використання ресурсів та простоти у використанні.

Список використаних джерел

1. **Tensorflow.** *Tensorflow official site*
URL: <https://www.tensorflow.org/guide> (дата звернення: 26.05.24 р.).
2. **PyTorch.** *PyTorch documentation.*
URL: <https://pytorch.org/docs/stable/index.html> (дата звернення: 26.05.24)
3. **Nvidia.** *Nvidia Deep Learning.*
URL: <https://developer.nvidia.com/deep-learning> (дата звернення: 26.05.24)

Науковий керівник: к.т.н., доцент Веремійчук Ю.А.

UDC 621.31

Honhalo V.R., master student
Department of Electrical Supply
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

ASPECTS OF IMPLEMENTING A SMART MONITORING SYSTEM IN BUILDINGS

Abstract. *The implementation of a smart monitoring system requires attention to many aspects of its realization, making it challenging to use algorithms with a standard approach. Therefore, enhancing the monitoring system necessitates the use of innovative methods, including those based on artificial intelligence. A smart monitoring system allows adjusting living conditions according to the individual preferences and needs of each user, leading to an overall improvement in the quality of life.*

Keywords: *energy management, energy monitoring, artificial intelligence.*

List of References

1. **Tensorflow.** *Tensorflow official site.*
URL: <https://www.tensorflow.org/guide> (date of access: 26.05.24).
2. **PyTorch.** *PyTorch documentation.*
URL: <https://pytorch.org/docs/stable/index.html> (date of access: 26.05.24).
3. **Nvidia.** *Nvidia Deep Learning.*
URL: <https://developer.nvidia.com/deep-learning> (date of access: 26.05.24).

Scientific Supervisor: Cand.Tech.Sc., Associate professor Yurii Veremiichuk

СЕКЦІЯ 2.

ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ТА МЕХАТРОННИХ КОМПЛЕКСІВ

УДК 681.5

Я.З. Сорочинський, магістрант
Кафедра Автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Анотація. В результаті дослідження було визначено важливість електричного транспорту для зменшення викидів та покращення якості повітря. Дослідження методів діагностики акумуляторів та систем управління є ключовим завданням. За допомогою точної оцінки стану заряду акумуляторної батареї користувачі можуть оптимізувати свої методи управління живленням і запобігти таким сценаріям, як надмірний розряд або перезаряд, які можуть пошкодити акумулятор. Запропонована модель діагностування стану акумуляторної батареї включає два ПІ-регулятора та автоматичний режим заряджання/розряджання. Результати показують дієвість запропонованого підходу в діагностиці акумуляторів електромобілів і підкреслюють важливість безпеки та надійності у цьому контексті.

Ключові слова: діагностика несправності, електромобіль, акумулятор, стан заряду, ПІ-регулятор.

Вступ. У контексті зміни клімату та стратегій сталого розвитку, використання електромобілів відіграє важливу роль у зменшенні викидів шкідливих речовин та покращанні якості повітря в містах. Однак, діагностика, обслуговування та ремонт цих транспортних засобів ще не досягли високого рівня розвитку. Для забезпечення безперебійної експлуатації електромобілів необхідно проводити дослідження і розробляти ефективні методи діагностики та обслуговування.

Збір важливої інформації про працездатність компонентів акумуляторної батареї, систем зарядки, контролерів та електричної схеми електромобілів стає основою для розробки ефективних діагностичних методів. Особливу увагу слід приділяти оптимальному використанню сенсорів і систем збору даних, а також розробці алгоритмів для аналізу цих даних і виявлення потенційних несправностей.

Мета та завдання. Метою даної статті є вивчення та систематизація новітніх методів, технологій та підходів, що застосовуються для діагностики акумуляторних систем електромобілів, включаючи різні аспекти їх діагностики, таких як вимірювання параметрів, системи моніторингу, технології аналізу даних, моделювання та передбачення стану акумуляторів.

Матеріал і результати досліджень. Як визначено в [1], основним завданням системи керування батареєю (BMS) є забезпечення оптимального управління енергією батареї EV під час руху та під час операцій заряджання/розряджання. BMS також слід уникати неправильного використання батареї під час її роботи; це досягається шляхом моніторингу та контролю акумуляторної батареї EV під час підключення або під час водіння. BMS працює в рамках архітектури системи керування транспортним засобом (VMS), зображеної на рис. 1.

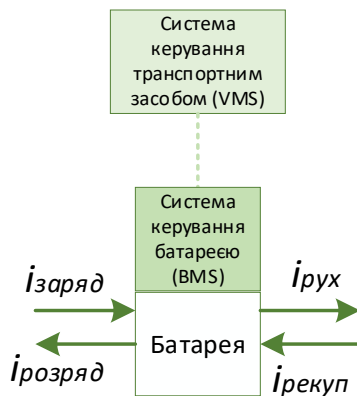


Рисунок 1 – Система керування акумуляторною батареєю

На рис. 1. позначено: $i_{\text{заряд}}$ – струм заряду батареї; $i_{\text{розряд}}$ – струм розряду батареї; $i_{\text{рух}}$ – струм, що використовується для руху; $i_{\text{рекуп}}$ – струм для поточного рекуперативного гальмування.

Щоб переконатися, що акумулятор функціонує в безпечних і добре організованих межах, BMS постійно відстежує різні параметри. BMS контролює основні елементи, які включають:

1. Напругу. Сценарії перезаряду та надмірного розряду можуть погіршити роботу батареї або скоротити термін її служби, тому моніторинг напруги елемента відіграє важливу роль у запобіганні цьому.

2. Струм. Вимірювання струму запобігає перевантаженням по струму, які можуть стати потенційно ризикованими та виробляти надлишок тепла.

3. Температуру. Перевищення як низьких, так і високих температур може мати негативний вплив на продуктивність і термін служби батареї, оскільки батареї чутливі до температури. Тому періодично контролюється температура елементів батареї, щоб переконатися, що вона знаходиться в прийнятному діапазоні.

4. Стан заряду (SOC), отриманий на основі даних про напругу, струм і температуру, є оцінкою залишкової ємності.

5. Стан справності (SOH). Загальний стан акумулятора або порівняння між погіршеною продуктивністю та початковою продуктивністю пропонує SOH. Численні фактори, такі як кількість циклів заряду-розряду, швидкість саморозряду та інші критерії ефективності, допомагають у розрахунку SOH.

Оцінка стану заряду (SOC) батареї автомобіля [2] розраховується як відношення фактичної ємності C батареї до номінальної ємності C_n . SOC можна виразити таким чином:

$$SOC(t) = \frac{Q_{\text{факт}}(t)}{Q_{\text{ном}}(t)} \times 100\%. \quad (1)$$

SOC безпосередньо впливає на функціональну безпеку, ефективність і термін служби батареї, тому важливо розуміти цю концепцію. За допомогою точної оцінки SOC користувачі можуть оптимізувати свої методи управління живленням і запобігти таким сценаріям, як надмірний розряд або перезаряд, які можуть пошкодити акумулятор.

Модель керування заряджанням/розряджанням батареї включає шину постійного струму (з постійною напругою), батарею, загальне навантаження та двонаправлений

перемикач DC-DC перетворювач. Також додано датчик температури для відслідковування змін при заряджанні/розряджанні акумулятора.

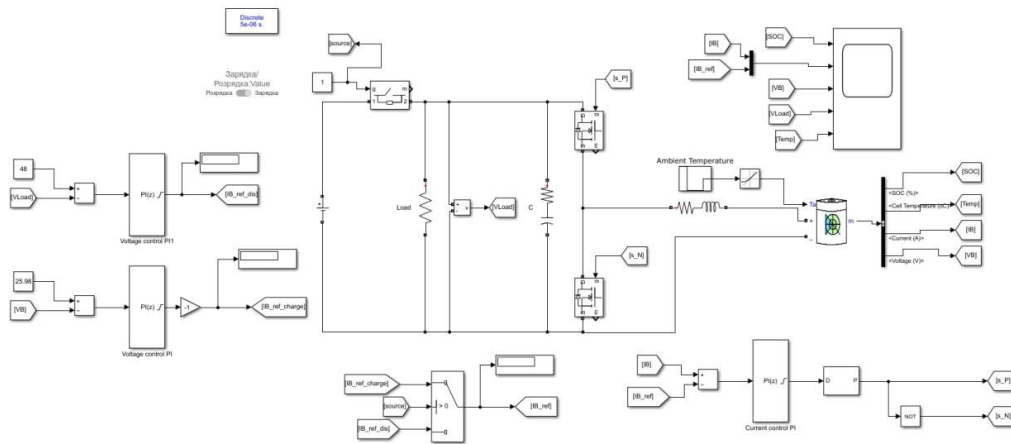


Рисунок 2 – Simulink-модель процесу діагностики заряду/розряду електромобіля

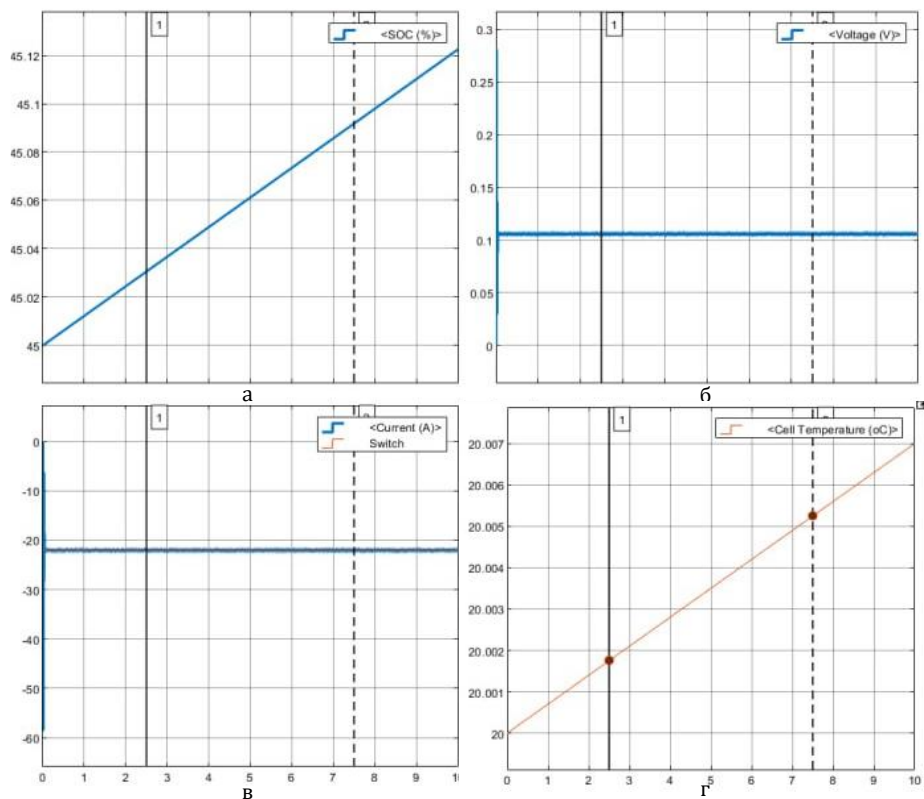


Рисунок 3 – Графіки перехідних процесів:

а – рівень заряду, б – напруги, в – струму, г – температури

Управління зарядом і розрядом акумулятора здійснюється за допомогою двох пропорційно-інтегральних (ПІ) регуляторів: один – для генерації еталонного струму (залежно від режиму роботи: зарядка або розрядка); інший – для поточного контролю батареї.

Представлена система включає два режими роботи, який керується тумблером: 1-режим заряджання: автоматично активується, коли шина постійного струму

підключена, а контрольна ціль, тобто: задане значення (1-го замкнутого контуру ПІ) стає повною напругою батареї; 2-режим розрядки: автоматично активується, коли шина постійного струму не підключена, а метою керування (1-го замкнутого контуру ПІ) стає напруга навантаження, щоб підтримувати постійну напругу навантаження під час розрядки.

Висновки. Збільшення уваги до важливості електрифікації транспорту в останні роки зробило електромобілі майбутнім транспорту. З метою здобуття найбільшої частки на ринку, безпека та надійність електромобілів стають пріоритетними. Тому виявлення несправностей і діагностика стали невід'ємними функціями, на які було спрямовано багато досліджень. Дослідження в цій області мають на меті забезпечити раннє виявлення несправностей, точне визначення їх причин і прийняття відповідних заходів для забезпечення безпеки та ефективності електромобілів. Було виконано моделювання системи діагностування стану акумулятора електромобіля. Управління зарядом і розрядом акумулятора здійснюється за допомогою двох ПІ -регуляторів. Перехідні характеристики підтвердили ефективність запропонованого методу.

Список використаних джерел

1. KWE Cheng, BP Divakar, H. Wu, K. Ding and HF Ho, "Battery-Management System (BMS) and SOC Development for Electrical Vehicles", in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 60, issue 1, p. 76-88, January 2011, doi: 10.1109/TVT.2010.2089647.
2. Costa, N.; Sánchez, L.; Anseán, D.; Dubarry, M. Li-Ion Battery Degradation Modes Diagnosis via Convolutional Neural Networks. *Energy Storage* 2022, 55, 105558.

Науковий керівник: к.т.н., доцент А.В. Босак

UDC 681.5

Y. Sorochnytskyi, master student
Department of Automation of electrical and mechatronic complexes
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

MATHEMATICAL MODEL OF AN OPTIMAL CONTROL SYSTEM FOR THE TECHNICAL CONDITION OF AN ELECTRIC VEHICLE BATTERY

Abstract. *The study identified the importance of electric transport for reducing emissions and improving air quality. The study of battery diagnostic methods and control systems is a key task. By accurately assessing the state of charge of the battery, users can optimize their power management techniques and prevent scenarios such as over-discharge or overcharge that can damage the battery. The proposed battery health diagnosis model includes two PI controllers and an automatic charging/discharging mode. The results show the effectiveness of the proposed approach in diagnosing electric vehicle batteries and emphasize the importance of safety and reliability in this context.*

Keywords: *fault diagnosis, electric vehicle, battery, charge state, PI controller.*

References

1. KWE Cheng, BP Divakar, H. Wu, K. Ding and HF Ho, "Battery-Management System (BMS) and SOC Development for Electrical Vehicles", in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 60, issue 1, p. 76-88, January 2011, doi: 10.1109/TVT.2010.2089647.
2. Costa, N.; Sánchez, L.; Anseán, D.; Dubarry, M. Li-Ion Battery Degradation Modes Diagnosis via Convolutional Neural Networks. *Energy Storage* 2022, 55, 105558.

Scientific supervisor: Cand.Tech.Sc., Associate professor Alla Bosak

УДК 621.316.9

М.Р. Гайко¹, студент
В.І. Курганська¹, студент
¹Кафедра Автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАХИСТ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ В РОБОЧИХ РЕЖИМАХ

Анотація. У статті приведено огляд та аналіз роботи асинхронних електродвигунів в різних робочих режимах та зроблено оцінку можливості їх захисту при порушеннях та змінах значень робочих параметрів. Розвиваються методи діагностики стану асинхронних двигунів, що базуються на контролі споживаного струму з подальшим виконанням спектрального аналізу отриманого сигналу. Це дозволяє з високим ступенем достовірності визначати стан різних елементів двигуна шляхом вимірювання слабкої модуляції споживаного електродвигуном струму.

Ключові слова: асинхронний електродвигун, аварійні режими, захист.

Вступ. Конструктивні параметри асинхронних електродвигунів є практично постійними в процесі використання, а саме:

- струм холостого ходу, залежить від повітряного зазору;
- втрати холостого ходу, які пов'язані з якістю листової сталі і збіркою пакетів;
- опір обмоток статора, який залежить від якості намотки: натяг проводу, коливання його діаметра та ін.;
- опір обмоток ротору, який залежить від якості заливки.

У більшості випадків конструкції АД далекі від дотримання принципу ідентичності параметрів однотипних машин і основне джерело відмов – обмотки статора [1].

Мета та завдання. Аналіз роботи асинхронного двигуна в робочих режимах. Дослідження способу захисту електродвигуна від струмових перевантажень

Матеріали і результати досліджень. Відповідно до ІЕС 60034-1 двигуни з напругою до 1000 В і потужністю до 315 кВт витримують півтораразове перевантаження струмом протягом 2 хвилин. Для контролю температури АД використовуються датчики температурного захисту обмоток. Двигуни, що мають сервіс – фактор 1,15 можуть тривало працювати при відхиленні напруги $\pm 10\%$ і номінального навантаження. Перевищення температури обмоток може бути більше граничного значення на 10°C . Максимальна температура навколишнього повітря не повинна перевищувати 40°C .

Контрольованими параметрами можуть бути струм двигуна, температура обмоток, момент на валу, струм витoku, напруга та ін. Для нестаціонарних теплових режимів, необхідно враховувати температуру в найбільш нагрітій точці обмотки двигуна.

Аналіз статистичних даних свідчить, що основні аномальні режими (перевантаження, зниження напруги, обрив фазного проводу) супроводжуються підвищенням струму електродвигуна, який викликає додаткове нагрівання його обмоток і при використанні температурного захисту необхідно враховувати, що його передаточна характеристика не в повній мірі відповідає перевантажувальній характеристиці електродвигуна.

Вимірювання температури обмоток проводять наступними трьома методами:

- методом опору;
- методом закладених термоперетворювачів;
- методом термометра.

Як правило, для вимірювання температури ізолюваних обмоток машин застосовується метод опору. Для машин змінного струму потужністю більше 500 кВт вимірювання температури обмоток виконується методом закладених термоперетворювачів, а при потужності до 200 кВт вимірювання температури проводиться методом опору безпосередньо після швидкої зупинки машини або накладенням струму на робочий струм.

Датчики вбудовуються в лобові частини обмоток статора зі сторони протилежної вентилятору зовнішнього обдування по одному в кожен фазу, з'єднуються послідовно.

Така система забезпечує захист двигуна як в режимах з повільним нагріванням (перевантаження, робота на двох фазах), так і в режимах зі швидким нагріванням (заклинювання ротора, вихід з ладу підшипників та ін.). Відповідно вимогам ІЕС 60034-11 температура спрацювання захисту повинна відповідати значенням, наведеними в табл. 1. Опір одного позистора $30 \div 140$ Ом при 25°C , опір ланцюга з трьох позисторів складає 250 ± 160 Ом.

Таблиця 1 – Температура спрацювання захисту

Клас нагрівостійкості ізоляції двигуна	Позначення типу позистора	Гранична температура спрацювання
В	СТ14А-2-130	130°C
F	СТ14А-2-145	145°C
Н	СТ14А-2-160	160°

Виконуючий пристрій температурного захисту повинен відключати силовий ланцюг двигуна при досягненні опору ланцюга термодатчиків 210 - 450 Ом.

З точки зору температурних впливів на ізоляцію розрізняють поняття «теплостійкість» і «нагрівостійкість».

Теплостійкість визначає здатність електроізоляційного матеріалу зберігати свої властивості на певному рівні при відносно короткочасному перегріві.

Нагрівостійкість визначає здатність матеріалу без істотного погіршення характеристик витримати вплив гранично допустимої для даного типу ізоляції температури протягом періоду часу, що відповідає терміну служби електродвигуна.

Як видно, з практичної точки зору, нагрівостійкість є більш важливою характеристикою ізоляції і вона закладена в основу класифікації ізоляційних матеріалів.

Розвиваються методи діагностики стану асинхронних двигунів, основані на контролі споживаючого струму з послідовним виконанням спектрального аналізу отриманого сигналу. Це дозволяє з високим рівнем достовірності визначати стан різних елементів двигуна шляхом вимірювання слабкої модуляції споживаючого електродвигуном струму. Наявність в спектрі струму двигуна характерних частот певної величини свідчить про наявність пошкоджень електричної а/або механічної частини електродвигуна. Серйозність пошкоджень визначається порівнянням значень сигналу на характерній частоті пошкодження зі значенням сигналу на частоті живильної мережі [3].

Загальним недоліком методу спектрального аналізу струму статора і спектрального аналізу модулів векторів Парка струму і напруги є необхідність урахування впливу на електричні параметри електродвигуна параметрів живильної мережі, характер навантаження, вплив зовнішніх електромагнітних полів, перехідних процесів у приводі. При використанні регульованого електропривода на основі силових напівпровідникових перетворювачів в спектрах струму з'являються частоти, обумовлені комутацією вентилів, які також необхідно враховувати.

При повторному короткочасному режимі S4 двигунів загальнопромислового призначення відбувається послідовність ідентичних циклів роботи із впливом пускових процесів, кожен із яких включає час пуску Δt_o , час роботи при постійному навантаженні Δt_p , за час якого двигун не нагрівається вище допустимої температури Θ_{max} , і час стоянки Δt_R , за час якого двигун не охолоджується до температури навколишнього середовища.

Допустиме число пусків Z двигуна на годину, який має динамічний момент інерції ротора J_M , кг·м², і працює в режимі S4 із статичним навантаженням на валу, визначуваною потужністю P_2 , кВт, і динамічним навантаженням, що визначається динамічним моментом інерції електродвигуна J_{EXT} , кг·м², орієнтовно можна визначити по формулах:

$$Z = Z_0 \cdot \frac{K_M \cdot K_p}{F_j}, \quad (1)$$

$$K_M = 1 - \frac{m_{ст.ср}}{m_{д.ср}}, \quad (2)$$

$$K_p = 1 - \left(\frac{P_2}{P_{2H}} \right) \cdot \frac{(1 - K_0) \cdot \frac{ПВ}{100}}{(1 - K_0) \cdot \frac{ПВ}{100} + \left(1 - \frac{ПВ}{100} \right) \cdot \beta_0}, \quad (3)$$

$$F_j = \frac{J_M + J_{EXT}}{J_M}, \quad (4)$$

$$m_{д.ср} = \frac{m_n + 2 \cdot m_k + 2 \cdot m_M + 1}{6}, \quad (5)$$

де Z_0 – допустиме число пусків на годину двигуна без статичного і динамічного навантаженням на валу;

$m_{ст.ср}$ – відносне значення статичного середнього моменту за час розгону двигуна;

$m_{д.ср}$ – відносне значення середнього за час розгону моменту обертання двигуна.

При зміні окремих періодів повторно-короткочасного режиму відбувається струмове перевантаження електродвигуна і його температура може перевищувати допустиме значення Θ_{max} . Значення Z_0 для двигунів серії АІІ і 5А наведені в табл. 2..

Таблиця 2 – Значення кількості пусків для деяких типів електродвигунів

Тип двигуна	Z_0 пусків за годину			
	2р = 2	2р = 4	2р = 6	2р = 8
5А80МА	3900	8700	18000	20000
5А112МВ	1600	3700	7000	8000
АМРМ132S	–	2900	3500	5800
5А160S	780	2000	2500	3400
АІР180М	600	1200	1400	2000

Продовження табл. 2.

Тип двигуна	Z_0 пусків за годину			
	$2p = 2$	$2p = 4$	$2p = 6$	$2p = 8$
5A200M	400	1000	1100	1400
5A225M	300	700	800	1200
5AM250S	200	320	440	700
5AM280S	130	220	260	360

Періодичні режими роботи електродвигунів характеризуються типами від S1 до S8. Тривалість одного циклу рівна 10 хв, коефіцієнт циклічної тривалості включення рівний одному із наступних значень: (15, 25, 40, 60)%. Максимально допустиме навантаження всередині одного циклу обмежують з урахуванням його впливу на всі частини машини, наприклад на ізоляційну систему, у відповідності з дією експоненційного закона змінення відносно очікуваного термічного терміну служби.

Аперіодичне змінне навантаження при змінних частотах обертання, включаючи перевантаження вище номінальних значень, характеризує типовий режим S9. В режимі S10 електродвигун може працювати необмежений період часу з дискретними постійними навантаженнями і частотами обертання, включаючи час перевантаження і час холостого ходу [1].

Максимальне навантаження P_{max} в усіх режимах S2 – S10 не повинне перевищувати P_{S1} навантаження типового режиму S1, $P_{max} \leq 1,15 P_{S1}$. Для типових режимів S9, рис. 1 і S10, рис. 2 за номінальну вихідну потужності приймається базове навантаження, що відповідає типовому режиму S1.

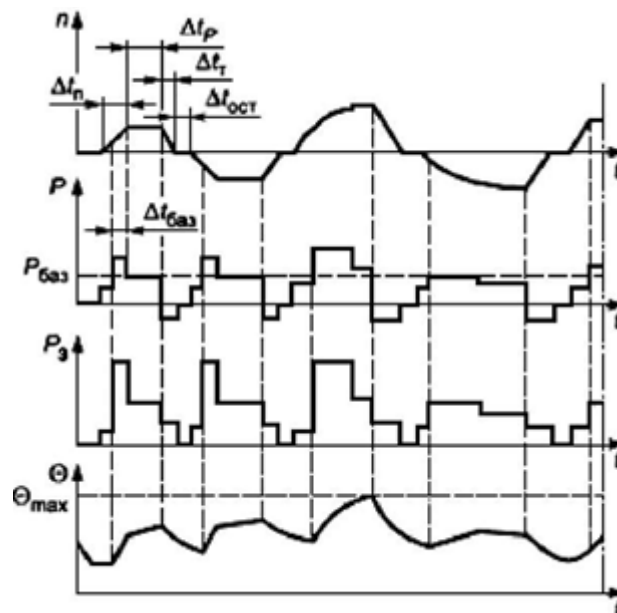


Рисунок 1 – Часові діаграми зміни параметрів режиму S9

На рис. 1 наведені позначення: P – навантаження; $P_{баз}$ – базове навантаження; P_{θ} – електричні втрати; θ – температура; θ_{max} – максимальна досягнута температура; t – час: Δt_p – час роботи з постійним навантаженням, Δt_n – час розгону; Δt_m – час електричного гальмування; $\Delta t_{ост}$ – час зупинки; $\Delta t_{баз}$ – час роботи з базовим навантаженням, n – частота обертання.

У типовому режимі S10, що складається з обмеженого числа дискретних навантажень та, якщо можливо, частот обертання, кожна комбінація навантаження/частоти обертання зберігається достатній час для того, щоб машина досягла встановленого теплового стану, рис. 2. Мінімальне навантаження протягом робочого циклу може мати і нульове значення (холостий хід, знеструмлений стан).

Режим S10 оцінюється значеннями величин $P/\Delta t$ і T_{CC} . Навантаження P враховується в частках базового навантаження і Δt її тривалість у частках тривалості повного циклу навантаження. Відносна величина очікуваного термічного терміну служби (T_{CC}) ізоляційної системи визначається з урахуванням номінальної потужності та допустимої межі перевищення температури, що відповідають тривалому типовому режиму S1.

Дискретні навантаження є, як правило, еквівалентним навантаженням, інтегрованим за певний період часу. Немає необхідності, щоб кожен цикл навантаження точно повторював попередній, проте кожне навантаження всередині циклу повинно підтримуватися достатній час для досягнення встановленого теплового стану, і кожен навантажувальний цикл повинен інтегровано представляти ту ж імовірність відносного очікуваного термічного терміну служби ізоляції електродвигуна T_{CC} .

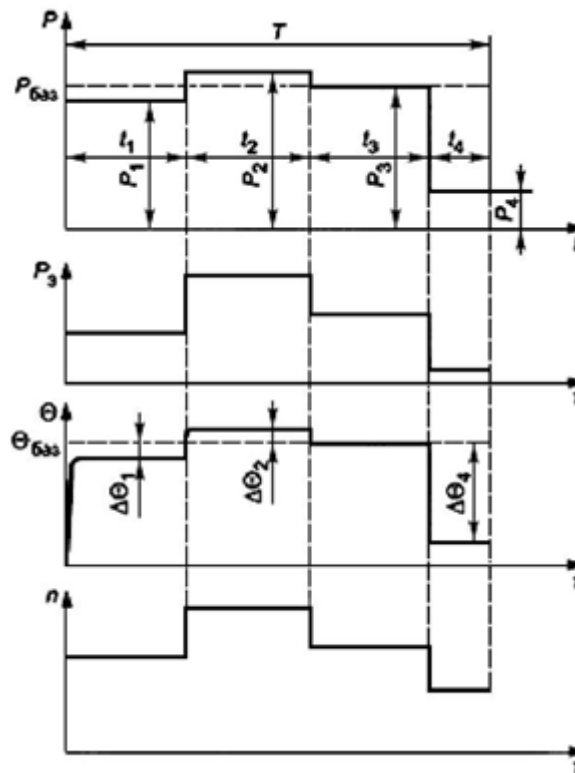


Рисунок 2 – Часові діаграми зміни параметрів режиму S10

На рис. 2 наведені позначення: P – навантаження; $P_{баз}$ – базове навантаження відповідно до типового режиму S1; $P_{1,2,i}$ – постійна частина навантаження всередині одного циклу навантаження; $P_{э}$ – електричні втрати; θ – температура; $\theta_{баз}$ – температура при базовому навантаженні $P_{баз}$; t – час; $t_{1,2,3,4}$ – час роботи з постійним навантаженням усередині циклу навантаження; T – час одного циклу навантаження; $\Delta\theta_{1,2,i}$ – різниця між перевищенням температури обмоток при кожному з навантажень всередині одного циклу і перевищенням температури при базовому навантаженні в режимі S1; n – частота обертання.

Однак цикл може містити навантаження, які відрізняються від номінальних, що відповідають типовому режиму S1. В залежності від значення та тривалості різних навантажень у межах одного циклу відносний очікуваний термічний термін служби машини, що визначається термічним старінням ізоляційної системи, може бути розрахований за рівнянням:

$$\frac{1}{T_{CC}} = \sum_{i=1}^n \Delta t_i 2^{\Delta \theta_i / k}, \quad (6)$$

де T_{CC} - очікуваний відносний термічний термін служби у разі роботи з номінальною (базовою) потужністю в типовому режимі;

n – число дискретних значень навантаження;

Δt_i – тривалість окремих постійних навантажень усередині робочого циклу, віднесена до тривалості всього робочого циклу;

$\Delta \theta_i$ – різниця між перевищенням температури обмотки при кожному з різних навантажень всередині одного циклу і перевищенням температури при базовому навантаженні в режимі;

k – коефіцієнт збільшення перевищення температури, що веде до скорочення термічного терміну служби ізоляційної системи на 50%.

Очікуваний відносний термін T_{CC} може розглядатися тільки як відносна величина. Вона може бути використана для наближеної оцінки дійсної зміни очікуваного термічно терміну служби ізоляції машини в порівнянні з типовим режимом S1 при роботі з номінальною потужністю.

Для АД, що ремонтуються, проблема довговічності пов'язана зі старінням матеріалів і зношуванням механічних вузлів, швидко збільшуються витрати на ремонт і збитки від простоїв. З іншого боку, відносна величина амортизаційних відрахувань зменшується зі збільшенням терміну служби. Таким чином, виникає поняття оптимальної довговічності, яка визначається мінімумом питомих, наприклад, річних витрат споживача.

Якщо загальні витрати споживача становлять

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (7)$$

де $C_1 = A$, A – вартість електродвигуна;

C_2 – поточні експлуатаційні витрати, пропорційні часу роботи та враховують витрати електроенергії, витрати на обслуговування, плану профілактику та ін, тобто $C_2 = B \cdot t$;

C_3 - витрати на ремонт та збитки від простоїв, які залежать від загальної кількості відмов n за час t , $C_3 = D^n$.

Щоб визначити оптимальний час довговічності T_{opt} роботи електродвигуна аналітично, можна замінити початкову ділянку кривої нормального розподілу степеневу функцією, тоді $C = A + Bt + D^n$.

Питомі витрати

$$\frac{C}{t} = \frac{A}{t} + B + Dt^{n-1}, \quad (8)$$

будуть мінімальними при

$$t = T_{omn} = \sqrt{\frac{A}{(n-1)D}}, \quad (9)$$

З рівняння видно, що час довговічності T_{omn} зростає зі збільшенням вартості машини і з підвищенням її надійності.

Запропоновано спосіб захисту електродвигуна від струмових перевантажень, який включає в себе вимірювання струмів електродвигуна, визначення значень їх квадратів, формування часового ряду часткових сум квадратів струмів, видалення останнього значення цього часового ряду при надходженні чергового значення квадрата струму електродвигуна, зміщення на крок вперед складових всіх елементів часового ряду, встановлення на перше місце ряду нового вимірюваного значення квадрата струму та підсумовування його до складових інших елементів часового ряду, формування сигналу на відключення електродвигуна від мережі при перевищенні заданого рівня сум квадратів струму в будь-якому елементі ряду. Крім того формують першу ланку з інформаційних точок часового ряду з часом усереднення кратним часу дискретизації датчиків струмів фаз електродвигуна, а кожен наступну ланку формують з інформаційних точок з часом усереднення кратним часу усереднення інформаційних точок першої ланки, також продовжують формувати часовий ряд на період з моменту формування сигналу на відключення електродвигуна до моменту обнуління всіх складових елементів часового ряду, або протягом 3÷4 постійних часу нагрівання електродвигуна після його фактичного відключення від мережі живлення [2].

Вимірюються еквівалентні струми з часом усереднення від Δt до $n \cdot \Delta t$, де Δt – крок дискретизації контрольованого часового інтервалу;

n – кількість кроків;

$n \cdot \Delta t = (3 \div 4) T_n$; T_n – постійна теплова часу нагріву електродвигуна.

Довжину часового ряду вибирають рівною значенню 3..4 постійних теплових часу нагрівання електродвигуна. Щоб скоротити кількість елементів n , часовий ряд формують з ланок з наростаючою кратністю часу усереднення інформаційних точок $n_1 < n_2 < n_n$. Наприклад, першу ланку формують з інформаційних точок тривалістю в секунди, а другу - хвилини. Таким чином, кількість елементів часового ряду із двох ланок скорочується приблизно в 50...60 разів.

Гранично допустиме значення сум квадратів струмів n - ного елемента пам'яті часового ряду становить

$$\sum_1^n \frac{I_{екв}^2}{n} = I_{ном}^2 \left(\frac{K}{n \Delta t} + 1 \right), \quad (10)$$

де n – порядковий номер комірки пам'яті часового ряду;

$I_{ном}$ – номінальний струм електродвигуна;

K – постійна величина;

Δt – період дискретизації.

Далі порівнюють значення часткових сум квадратів струму в елементах часового ряду з їх гранично допустимими значеннями. При виході за допустимі межі хоча б в

одному з елементів часового ряду значень часткових сум квадратів струму формується сигнал на відключення електродвигуна від мережі [2].

Висновки. Запропоновано спосіб захисту електродвигуна від струмових перевантажень, що включає в себе вимірювання струмів, формування часового ряду частинних сум квадратів струмів та автоматичне відключення при перевищенні заданого рівня. Для оптимізації довговічності важливо враховувати експлуатаційні витрати та підвищення надійності, включаючи оптимізацію формування часового ряду.

Список використаної літератури

1. Спосіб захисту електродвигуна : пат. 42964 Україна : МПК H02H 7/08. № u 2009 02348 ; заявл. 16.03.2009 ; опубл. 27.07.2009, Бюл. № 14.
2. Спосіб захисту електродвигуна від струмових перевантажень : пат. 101074 Україна : МПК H02H 7/08. № u 2015 01981 ; заявл. 05.03.15; опубл. 25.08.2015, Бюл. №16.

Науковий керівник: ст. викл. Дубовик В.Г.

UDC 621.316.9

**M.R. Haiko¹, student,
V.I. Kurganska¹, student**

**¹Department of Automation of electrical and mechatronic complexes
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute**

PROTECTION OF INDUCTION MOTORS IN OPERATING MODES

Abstract. *The article reviews and analyzes the operation of asynchronous electric motors in various operating modes and evaluates the possibility of their protection in the event of violations and changes in the values of operating parameters. Methods of diagnosing the state of asynchronous motors are being developed, based on the control of the consumed current followed by the spectral analysis of the received signal. This makes it possible to determine with a high degree of reliability the condition of various engine elements by measuring the weak modulation of the current consumed by the electric motor.*

Keywords: *asynchronous electric motor, emergency modes, protection.*

References

1. The method of protecting the electric motor: pat. 42964 Ukraine: IPC H02H 7/08. No. u 2009 02348; statement 16.03.2009; published 27.07.2009, Bull. No. 14.
2. The method of protecting the electric motor from current overloads: pat. 101074 Ukraine: IPC H02H 7/08. No. u 2015 01981; statement 05.03.15; published 25.08.2015, Bul. No. 16.

Academic supervisor: senior lecturer Volodymyr Dubovik

УДК 681.5

М.Ю. Колесніков, студент
Кафедра Автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ КОНВЕЄРНОЇ УСТАНОВКИ ЗМІННОЇ ДОВЖИНИ

Анотація. В результаті досліджень було визначено важливість використання регульованого електроприводу конвеєрної установки яке дозволило отримати принципово нову транспортну установку. Встановлено, що при здійсненні оптимального керування електроприводом конвеєрної установки виникає можливість змінювати довжину транспортування конвеєра без зупинки обладнання. Запропонована система автоматичного керування електроприводом лебідки телескопічного пристрою який підтримує постійне натягнення стрічки. Отримано залежності, що дозволили розрахувати очікувану швидкість проведення тунелю при застосуванні стрічкового конвеєра працюючого під час зміни довжини транспортування.

Ключові слова оптимальне керування, електропривод конвеєра, довжина транспортування, очікувана швидкість проведення тунелю.

Вступ. Сучасна тенденція розвитку світового машинобудування характеризується постійним підвищенням технічного рівня новостворюваних машин й устаткування, що забезпечує їхню конкурентоспроможність в умовах зростаючих вимог ринку. В значній мірі це відноситься до підйомно-транспортної техніки, яка широко використовується в різних галузях народного господарства.

У великому класі підйомно-транспортної техніки чільне місце займають стрічкові конвеєри, розвиток конструкцій яких має іти по шляху підвищення продуктивності, зменшення енергоємності транспортування вантажу.

Одним з таких конструктивних рішень є використання стрічкового конвеєра зі змінною довжиною транспортування [1]. Він являє собою напівстаціонарну установку, здатну подовжуватись під час роботи (рис. 1).

На цьому конвеєрі кінцевий або виносний барабан встановлюють на пересувній станції. Завдяки руху пересувної станції від керованого електроприводу відбувається зміна довжини транспортування. Наявність телескопічного пристрою з системою автоматичного контролю натягнення стрічки дозволяє подовжувати конвеєр при працюючому приводі.

Його застосування дозволяє підвищити продуктивність праці і зменшити енергоємність транспортування, при потоковій технології виконання робіт:

- за рахунок виключення непродуктивних робочих операцій, пов'язаних із переносом кінцевої станції конвеєра;
- завдяки можливості подовження або скорочення довжини конвеєра під час його роботи;
- завдяки виключення з традиційної технологічної схеми, а саме з транспортного ланцюжка перевантажувальних пристроїв (рис. 1).

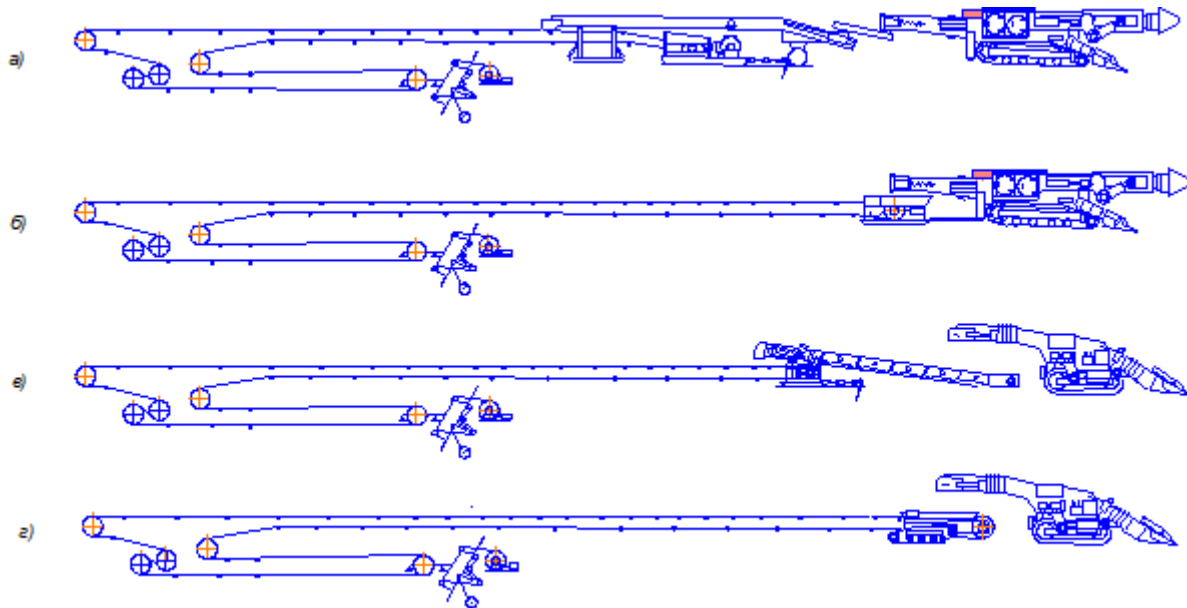


Рисунок 1 – Схеми роботи транспортуючих пристроїв спільно з прохідницькою технікою під час проведення тунелю:

- а) традиційна схема з використанням стрічкового конвеєра, мостового та причіпного перевантажувачів при комбайновому способі проведення тунелю;
- б) не традиційна з використанням стрічкового конвеєра працюючого при довжині, що змінюється, при комбайновому способі проведення тунелю;
- в) традиційна схема з використанням стрічкового конвеєра та скребкового конвеєра при буропідривному способі проведення тунелю;
- г) не традиційна з використанням стрічкового конвеєра працюючого при довжині, що змінюється, при буропідривному способі проведення тунелю.

Мета та завдання. Метою даної статті є розробка методики щодо визначення оптимального завдання для керованого електроприводу конвеєра при змінній довжині стрічки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

– врахувати основні фактори, що визначають можливість забезпечення роботи конвеєра при змінній довжині та сформувані вимоги до системи автоматичного керування.

– отримання аналітичну залежність або номограму, що дозволить розрахувати очікувану швидкість проведення тунелю при застосуванні стрічкового конвеєра працюючого під час зміни довжини транспортування.

Матеріал і результати досліджень. Встановлено, що зміна довжини транспортування передбачає наявність телескопічного пристрою обладнаного системою автоматичного керування натягненням стрічки [1]. Система автоматичного керування лебідкою телескопічного пристрою дозволяє забезпечує реагування електромеханічної системи на зміну натягнення стрічки під час зміни довжини транспортування.

Система автоматичного керування натягненням стрічки конвеєра зі змінною довжиною (рис.2) працює наступним чином.

Натяг стрічки контролюється датчиком 4 на який через блоки 3 впливає натяжний канат натяжної лебідки пов'язаної з рухомою кареткою телескопічного пристрою 5. При переміщенні пересувної кінцевої станції виникає зміна натягнення стрічки, що збільшує або зменшує натяг канату лебідки 2. Датчик 4 приєднаний до одного з блоків 3 надсилає сигнал на пристрій 11, що перетворює силовий сигнал в аналоговий (електричний) і який

впливає на пускову апаратуру привода лебідки 2. При збільшенні натягнення стрічки (натягу канату) лебідки 2 відпускає канат до моменту встановлення заданого натягу стрічки і навпаки при зменшенні натягу стрічки підтягує канат.

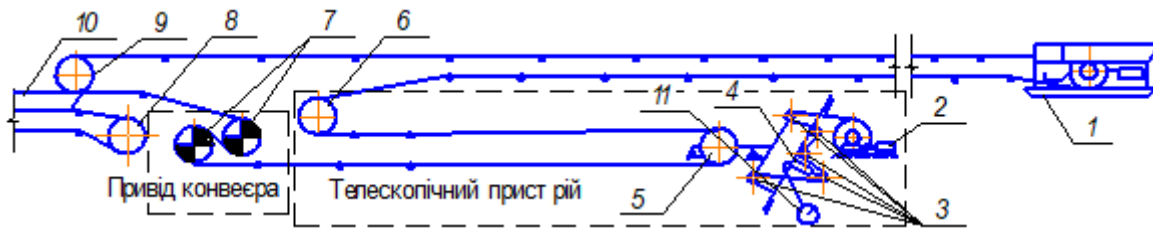


Рисунок 2 – Схема стрічкового конвеєра зі змінною довжиною транспортування: 1 – пересувна станція; 2 – натяжна лебідка; 3 – обвідні блоки для канату; 4 – датчик натягнення канату; 5 – рухома каретка з барабаном; 6 – нерухомий барабан; 7 – приводні барабани конвеєра; 8 – кінцевий барабан наступного конвеєра; 9 – виносний барабан; 10 – тічка пересипу; 11 – пристрій, що перетворює силовий сигнал в аналоговий (електричний).

Конструктивна схема приводу із натяжним телескопічним пристроєм наведена на рисунку 3.

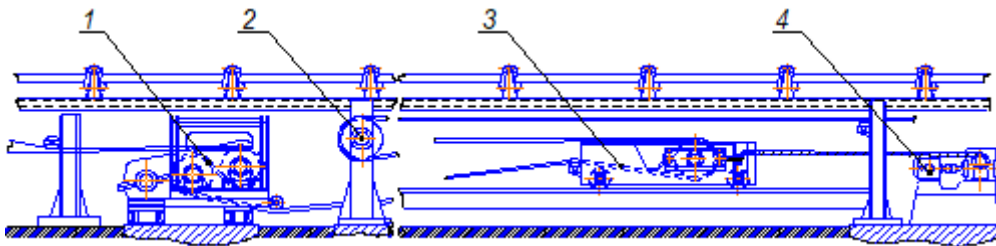


Рисунок 3 – Привід із натяжним телескопічним пристроєм: 1 – привід стрічкового конвеєра; 2 – нерухомий барабан телескопічного пристрою; 3 – рухлива каретка телескопа; 4 – натяжна лебідка телескопічного пристрою

В роботі [2] наведено дослідження в якому встановлено, що при зміні довжини транспортування працюючого конвеєра збільшення натягнення стрічки на барабані пересувної станції дорівнює не більше ніж 10% від натягнення до початку подовження конвеєра. Тому подовжувати конвеєр доцільно при працюючому приводі.

Отримаємо залежність по якій можна визначити технологічну ефективність застосування нової техніки.

Як що припустити, що використання нової техніки дозволить виключити підготовчо-заклучні операції, то збережений час підготовчо-заклучних операцій протягом місяця можна представити як зміни за рахунок яких збільшується продуктивність

$$C_{П.з.} = E_{зуп.} \cdot B_{зуп.}, \text{ зм/міс.} \quad (1)$$

де $B_{зуп.} = P_{міс} / q$ – кількість зупинок протягом одного місяця пов'язаних з виконанням підготовчо-заклучних операцій; $P_{міс}$ – місячна продуктивність при використанні базової техніки, м/міс або т/міс.; q – об'єм продукції отриманої базовою технікою до моменту

підготовчо-заключних операцій, метрів або тон; $E_{зуп.} = t_{п.з.} / t_{зМ}$ – кількість зупинок протягом однієї зміни пов'язаних з виконанням підготовчо-заключних операцій; $t_{зМ}$ – тривалість зміни, год; $t_{п.з.}$ – тривалість підготовчо-заключних операцій, год.

З закону пропорційності: кількість робочих змін в місяці пов'язаних з отриманням продукції пропорційна змінам збереженого часу так само як місячна продуктивність пропорційна величині продуктивності збереженого часу. Враховуючи закон пропорційності визначимо передбачуване збільшення продуктивності

$$P_{зБ} = \frac{C_{п.з.} \cdot P_{мес}}{C_{раб}}, \text{ м/міс або т/міс.}; \quad (2)$$

$$P_{зБ} = \frac{C_{п.з.} \cdot P_{мес}}{C_{раб}}, \text{ м/міс або т/міс.}; \quad (3)$$

де $C_{роб.}$ – кількість змін в місяці пов'язаних з отриманням продукції, зм/міс.; $C_{рем}$ – кількість ремонтних змін в місяці, зм/міс.; $C_{міс}$ – кількість змін в місяці, зм/міс.

Передбачувана продуктивність за відсутністю підготовчо-заключних операцій складе

$$P_0 = P_{міс} + P_{з.п.}, \text{ м/міс або т/міс.} \quad (4)$$

Підставивши рівняння (1), (2), (3) у рівняння (4), отримаємо

$$P_0 = \frac{P_{мес} \cdot K_{Т.Е.}}{K_{Т.Е.} - P_{міс}}, \text{ м/міс або т/міс.} \quad (5)$$

де $K_{Т.Е.}$ – коефіцієнт технологічної ефективності застосування нової техніки.

$$K_{Т.Е.} = \frac{(C_{міс} - C_{рем}) \cdot q \cdot t_{зМ}}{t_{п.з.}}, \text{ м/міс або т/міс.} \quad (6)$$

Використання в прохідницькому вибої стрічкового конвеєра, що працює при довжині, що змінюється, передбачає скорочення технологічних операцій пов'язаних з монтажно-демонтажними роботами (підготовчо-заключних операцій) при пересуванні кінцевої станції.

Будемо вважати, що монтажно-демонтажні роботи необхідні для збільшення довжини транспортування конвеєра по традиційній схемі (рис. 1а, в) виконуються в робочі зміни.

Технологічні операції, пов'язані з монтажно-демонтажними роботами тривалістю $t_{мон.}$ (підготовчо-заключні операції тривалістю $t_{п.з.}$) кінцевої станції по традиційній схемі складаються з: розкріпленні і пересуванні станції, буріння шпурів під анкери для кріплення станції, кріплення станції анкерами, переноски перевантажувачів.

Передбачувана швидкість (продуктивність) проведення тунелю за відсутністю монтажно-демонтажних робіт (підготовчо-заключних операцій) складе

$$V_0 = \frac{V_{мес} \cdot K_{Т.Е.}}{K_{Т.Е.} - V_{міс}}, \text{ м/міс}, \quad (7)$$

$$K_{Т.Е.} = \frac{(C_{міс} - C_{рем}) \cdot l \cdot t_{ЗМ}}{t_{мон.}}, \text{ м/міс}, \quad (8)$$

де $V_{міс}$ – місячна швидкість проведення тунелю при використанні базової техніки по традиційній технології м/міс, .

В даному випадку підготовчо-заклучні операції $t_{П.З.} = t_{мон.}$, продуктивність, що отримується базовою технікою за час між підготовчо-заклучними операціями $П_{З.П.} = l$, де l – крок перенесення кінцевої станції стрічкового конвеєра. Ефективна довжина стрічкового перевантажувача при використанні стрічкових перевантажувачів, або загальна довжина рештаків, що нарощуються під час монтажно-демонтажних робіт при використанні скребкових перевантажувачів, m .

За допомогою отриманих залежностей складена номограма, що дозволяє визначити збільшення швидкість проведення тунелю при використанні стрічкового конвеєра зі змінною довжиною транспортування (рис.4).

Порядок користування номограмою показано стрілками. У тих випадках, коли досліджувана швидкість проведення, довжина перевантажувального пристрою, час монтажно-демонтажних операцій або кількість ремонтних змін відсутня в одному з квадратів номограми, розрахунок слід проводити за допомогою інтерполяції або за формулою (6).

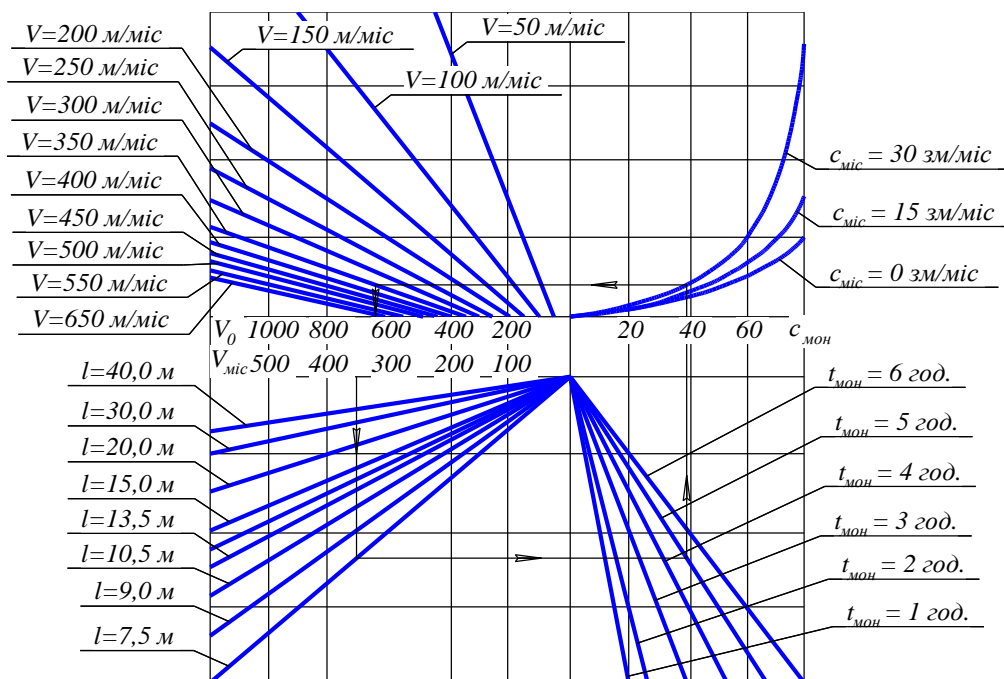


Рисунок 4 – Номограма визначення очікуваної швидкості проведення тунелю

Висновки. При використанні номограми визначення очікуваної швидкості можна сформулювати оптимальне завдання швидкості роботи електроприводу конвеєрної установки при зміні довжину транспортування. При цьому відпрацювання завдання швидкості електроприводом конвеєрної установки забезпечується при зміні довжини транспортування конвеєра за умови автоматичного керування електроприводом лебідки

телескопічного пристрою. При працюючому приводі конвеєра виникає збільшення або зменшення натягнення стрічки не більше 10% від початкового. Автоматична система керування електроприводом лебідки телескопічного пристрою контролює заданий натяг стрічки. Застосування системи автоматичного керування електроприводом конвеєрної установки дозволило підвищити продуктивність праці і зменшити енергоємність транспортування за рахунок: виключення робочих операцій, пов'язаних з переносом кінцевої станції конвеєра; збільшення машинного часу прохідницької машини; виключення з традиційної технологічної схеми перевантажувальних пристроїв.

Список використаних джерел

- 1. Гаврюков О.В. Теорія і практика використання стрічкових конвеєрів, що працюють при змінній довжині: монографія / О.В. Гаврюков - Макіївка: ДонНАБА, 2007. - 119с.*
- 2. О.В. Гаврюков, М.Ю. Колесніков, А.В. Запривода, В.Ю. Луценко О.В. Бондарчук. Визначення механізму розрахунку натягнень стрічки конвеєра працюючого під час зміни довжини транспортування. Східно-Європейського журналу передових технологій № 2/7 (128) 2024. - Харків: ПП "Технологічний Центр", 2023. С.56 – 66. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.300648*

Науковий керівник: к.т.н., доцент А.В. Торопов

UDC 681.5

M. Kolesnikov,¹, student
Department of Automation of electrical and mechatronic complexes
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

OPTIMAL ELECTRIC DRIVE OF VARIABLE LENGTH CONVEYOR UNIT

Abstract. *As a result of the research, the importance of using the adjustable electric drive of the conveyor installation was determined, which made it possible to obtain a fundamentally new transport installation. It was established that when optimal control of the electric drive of the conveyor installation is carried out, it is possible to change the length of the conveyor transportation without stop. The proposed system of automatic control of the electric drive of the winch of the telescopic device, which supports the constant tension of the tape. Dependencies were obtained that made it possible to calculate the expected speed of tunneling when using a belt conveyor operating during a change in the length of transportation.*

Keywords *optimal control, conveyor electric drive, transportation length, expected speed of tunneling.*

References

1. Gavryukov A.V. *Theory and practice of using belt conveyors operating with varying lengths: monograph* / A.V. Gavryukov – Makeevka: DonNASA, 2007. – 119 p.
2. Gavryukov A., Kolesnikov M., Zapryvoda A., Lutsenko V., Bondarchuk O. *determination of the Mechanism for Calculating the Tensions of a Working Conveyor Belt During a change in the Transportation Length. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, № 2/7 (128) 2024., P. 56 – 66. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.300648*

Scientific supervisor: Cand.Tech.Sc., Associate professor Anton Toropov

УДК 681.5

Є.О. Кузь, студент
Кафедра Автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ЗМІННОГО СТРУМУ ДЛЯ КОНВЕЄРНИХ УСТАНОВОК ПРИ НЕПОВНОМУ ЗАВАНТАЖЕННІ

Анотація. Досліджено метод керування двигуном змінного струму за допомогою перетворювача частоти Altivar від компанії Schneider Electric з метою зменшення енергоспоживання конвеєрної установки при малому навантаженні. В результаті дослідження запропонована система автоматичного налаштування вольт-частотної характеристики з використанням контролера серії M241 Schneider Electric.

Ключові слова: оптимізація енергоспоживання, перетворювач частоти, конвеєрна установка, вольт-частотна характеристика.

Вступ. Сьогодні людство стикається з різноманітними екологічними проблемами, що, в свою чергу, змушує суспільство шукати нові рішення для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Одним з методів боротьби зі шкідливим впливом на екологію є підвищення енергоефективності енергоємних виробництв та будь-яких інших систем, що споживають енергію. Енергоефективність також є ефективним засобом економії фінансових ресурсів, що робить цей метод більш привабливим для інвестицій.

Одним з найбільших споживачів електричної енергії є електричний двигун. Згідно з загальновідомими законами збереження енергії та термодинаміки, двигун не може працювати зі 100% ККД, що є показником існування втрат енергії при роботі таких електричних машин. До таких втрат можна віднести магнітні втрати в сталі магнітопроводу та електричні втрати в провідниках обмоток. Також при обертанні двигуна виникають механічні втрати, викликані тертям та додаткові втрати в обмотках і в сталі магнітопроводу.

При роботі двигуна на холостому ходу, споживання струму може досягати 0,25-0,4 від номінального. Зі збільшенням навантаження, споживання струму повільно збільшується до номінального і при цьому відбувається зменшення реактивної складової, внаслідок чого енергоефективність двигуна зростає. З цього випливає, що зі зменшенням споживання реактивної енергії (струм намагнічування) при роботі двигуна з малим навантаженням, можна досягти зменшення споживання енергії двигуна в цілому.

Для покращення енергоефективності роботи електричного двигуна існує багато методів, зокрема використання перетворювачів частоти. Перетворювачі частоти деяких відомих виробників мають вбудовану функцію зменшення потоку при зниженні навантаження двигуна, але принцип дії такої технології не розкривається.

Теоретично, такого ефекту можна досягнути шляхом автоматичної зміни відношення напруги до частоти (U/f) відповідно до навантаження двигуна.

Мета та завдання. Метою даної статті є дослідження способу автоматичного регулювання вольт – частотної характеристики в залежності від навантаження конвеєрної установки за допомогою перетворювача частоти Altivar та контролера M241 від компанії Schneider Electric.

Матеріал і результати досліджень. Використання перетворювачів частоти Altivar від компанії Schneider Electric дозволяє оптимізувати роботу електродвигунів. При

цьому це стосується як забезпечення підвищених пускових характеристик за рахунок векторного керування, так і зниження електроспоживання за рахунок прямого керування потоком. При цьому використовується підхід щодо налаштування параметрів вольт – частотної характеристики. Для цього інженером – налаштувальником можуть бути вибрані 5 точок налаштування характеристики, як це представлено на рисунку 1 [1].



U1 : Volt point 1 on 5pt V/F:	<input type="text" value="0 V"/>	F1 : Freq point 1on 5pt V/F:	<input type="text" value="0 Hz"/>
U2 : Volt point 2 on 5pt V/F:	<input type="text" value="0 V"/>	F2 : Freq point 2 on 5pt V/F:	<input type="text" value="0 Hz"/>
U3 : Volt point 3 on 5pt V/F:	<input type="text" value="0 V"/>	F3 : Freq point 3 on 5pt V/F:	<input type="text" value="0 Hz"/>
U4 : Volt point 4 on 5pt V/F:	<input type="text" value="0 V"/>	F4 : Freq point 4 on 5pt V/F:	<input type="text" value="0 Hz"/>
U5 : Volt point 5 on 5pt V/F:	<input type="text" value="0 V"/>	F5 : Freq point 5 on 5pt V/F:	<input type="text" value="0 Hz"/>

Рисунок 1 – Налаштування вольт – частотної характеристики для керування потоком збудження

Особливо велику перевагу використання цього режиму надає для конвеєрних установок. Справа в тому, що такі установки часто працюють не з номінальним навантаженням, відповідно формують крутий момент, що є надлишковим для більшості режимів. Відповідно питання зменшення потоку при наявності недовантаження саме для конвеєрних установок, що працюють із перетворювачами частоти [2].

Недоліком такого підходу є те, що послаблення потоку не працює при близьких до номінальних швидкостей роботи двигуна. Відповідно, при якісних показниках послаблення потоку при низьких швидкостях, на номінальній швидкості роботи енергозбереження не відбувається.

Одним із підходів до реалізації оптимізації енергоспоживання є забезпечення динамічної зміни параметрів налаштування вольт - частотної від зовнішньої системи керування. Така система керування може бути реалізована на основі програмованого логічного контролера від Schneider Electric серії M241.

Передача даних від перетворювача частоти Altivar до контролера і в зворотному напрямку може бути реалізована з використанням високошвидкісного протоколу передачі даних Modbus TCP/IP. Схема керування параметрами налаштування в такому випадку приймає вигляд, представлений на рисунку 2.



Рисунок 2 – Схема керування потоком з використанням перетворювач частоти Altivar

Вимірювання струмів здійснюється за допомогою перетворювача частоти Altivar. Поточні значення струму передаються за допомогою Modbus TCP/IP в контролер. В залежності від струму, що визначає поточне навантаження контролер перемикає вольт – частотну характеристику таким чином, щоб забезпечити зниження струму намагнічування.

Висновки.

1. Використання динамічного перемикачів налаштувань вольт – частотної характеристики дозволить підвищити енергоефективність конвеєрів при номінальних швидкостях роботи.

2. Застосування зовнішнього програмованого логічного контролера серії M241 від Schneider Electric дозволить просто реалізувати запропонований алгоритм керування.

Список використаних джерел

1. Altivar Process Variable Speed Drives ATV930, ATV950. *Schneider-electric*. URL: https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=NHA80932&p_enDocType=User+guide&p_File_Name=ATV930_950_Installation_manual_EN_NHA80932_10.pdf (дата звернення: 15.04.24 р.).

2. Голодний І.М. Нелінійне квазіоптимальне управління стрічковим конвеєром комплексу зберігання зерна для підлоги./ І.М. Голодний, А.В. Торопов, Л.В. Торопова // *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. - №283. - 2018. - С.230-239.

Науковий керівник: к.т.н., доцент А.В. Торопов

UDC 681.5

Ye. Kuz, student
Department of Automation of electrical and mechatronic complexes
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

OPTIMIZATION OF AC MOTOR POWER CONSUMPTION FOR CONVEYOR SYSTEMS AT PARTIAL LOAD

Abstract. *The method of controlling an AC motor using an Altivar frequency converter from Schneider Electric is investigated to reduce the energy consumption of a conveyor installation at low load. As a result of the study, a system of automatic adjustment of the volt-frequency characteristic using the M241 series controller of Schneider Electric is proposed.*

Keywords: *optimization of energy consumption, frequency converter, conveyor installation, volt-frequency characteristic.*

References

1. Altivar Process Variable Speed Drives ATV930, ATV950. *Schneider-electric*. URL: https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=NHA80932&p_enDocType=User+guide&p_File_Name=ATV930_950_Installation_manual_EN_NHA80932_10.pdf (access date: 15.04.24).

2. Hungry I.M. Non-linear quasi-optimal control of the belt conveyor of the grain storage complex for the floor./ I.M. Holodnyi, A.V. Toropov, L.V. Toropova // *Scientific Bulletin of NUBiP of Ukraine. Series: Technology and energy of agricultural industry*. - #283. - 2018. - P.230-239.

Scientific supervisor: Cand.Tech.Sc., Associate professor Anton Toropov

УДК 620.92, 662.769.2

А.О. Салогуб, магістрант
Кафедра Автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТОГО ВОДНЮ

Анотація. У статті розглянуто актуальну проблематику використання відновлюваних джерел енергії для виробництва екологічно чистого водню. Представлено огляд літератури щодо сучасних технологій та методів, які дозволяють ефективно використовувати енергію відновлюваних джерел для перетворення води на водень. Аналізуються переваги та виклики, пов'язані з цим підходом, а також висвітлюються потенційні можливості для подальшого вдосконалення систем виробництва водню з урахуванням екологічних та сталого розвитку.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, водень, енергетика, екологія, сталий розвиток.

Вступ. В умовах зростаючих екологічних проблем та необхідності стрімкого переходу до сталої енергетики, питання використання відновлюваних джерел енергії для виробництва екологічно чистого водню стає більш нагальним та актуальним. Водень вважається одним з потенційно важливих векторів енергетичного майбутнього, оскільки він може виступати у ролі чистого та безвідходного джерела енергії для автомобільного транспорту, промисловості, та будівництва.

Виділення водню шляхом використання відновлюваних джерел енергії не лише допомагає зменшити викиди парникових газів та залежність від нестабільних джерел енергії, але й відкриває шлях до створення карбон-нейтральних енергетичних систем, що є одним з ключових завдань для подолання кліматичних викликів.

Мета та завдання. Метою даної статті є вивчення та систематизація новітніх методів та технологій, використання відновлюваних джерел енергії для створення екологічно чистого водню.

Матеріал і результати досліджень.

Використання екологічно чистого водню як палива має багато переваг, але для покращення технологій його виробництва, зберігання, транспортування та переробки потрібні великі зусилля. Важливо також враховувати вартість виготовлення та розвиток інфраструктури, щоб повністю використати його переваги. Незважаючи на це, зелений водень все більше розглядається як стійке та чисте рішення для задоволення майбутніх потреб у електроенергії, що привертає значну увагу на сучасному етапі розвитку відповідних технологій.

Різні типи водню класифікуються за кольором, включаючи синій, сірий, коричневий, чорний і зелений, на основі технології виробництва водню, джерела енергії та їх впливу на навколишнє середовище. Таблиця 1 показує відмінності між різними типами водню [1].

Таблиця 1 – Типи водню та їх технологія, вартість та викиди CO₂

Колір водню	Технологія виробництва	Вартість	Викиди CO ₂
Синій	Паровий риформінг природного газу з уловлюванням і зберіганням вуглецю	Помірна	9–12 кг CO ₂ /кг H ₂
Сірий	Паровий риформінг природного газу без уловлювання та зберігання вуглецю	Низька	16–18 кг CO ₂ /кг H ₂
Коричневий	Газифікація вугілля або іншої багатой на вуглеводні сировини	Помірна	19–25 кг CO ₂ /кг H ₂
Чорний	Газифікація вугілля з виділенням водню та інших газів, що викидаються в атмосферу	Висока	24–28 кг CO ₂ /кг H ₂
Зелений	Електроліз води з використанням відновлюваних джерел енергії	Висока	Нульові викиди CO ₂

Для виробництва екологічно чистого водню використовуються різноманітні методи та технології, серед яких електроліз води, сонячне випромінювання, біохімічний процес та інші. Електроліз води є одним з найпоширеніших методів, який дозволяє розділити воду на водень та кисень за допомогою електричного струму. При цьому важливою умовою є використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна (рис. 1), вітрова (рис. 2) чи гідроенергія, для живлення цього процесу з метою зменшення викидів парникових газів.



Рисунок 1 – Виробництво водню за допомогою сонячної енергії



Рисунок 2 – Виробництво водню за допомогою вітрової енергії

Системи накопичення енергії зберігають надлишок електроенергії, виробленої відновлюваними джерелами в періоди високої генерації, і подають її до електролізерів, коли виробництво відновлюваної енергії є низьким або періодичним [2].

Зберігання енергії в батареях: системи накопичення енергії в батареях зберігають надлишкову електроенергію, вироблену з відновлюваних джерел, і розряджають її, коли потреба в електроенергії на заводі з виробництва екологічно чистого водню перевищує поточну потужність виробництва.

Зберігання водню: окрім зберігання надлишкової електроенергії, вироблений зелений водень також можна зберігати для використання в майбутньому. Системи зберігання водню, такі як резервуари зі стисненим воднем або підземні каверни, забезпечують засоби для зберігання великих кількостей зеленого водню.

Виробництво водню та кисню шляхом електролізу води – найвідоміша технологія виробництва хімічних речовин з електрики. Проходження електричного струму через воду розщеплює молекули, в результаті чого утворюються чистий водень і кисень (рис. 3). Цей процес має мінімальний вплив на викиди парникових газів [3].

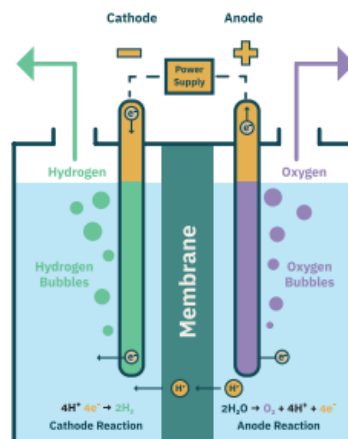


Рисунок 3 – Електролізна комірка для виробництва газоподібного водню

Наступна реакція являє собою розщеплення молекул води з утворенням водню і кисню. (Розщеплення води є ендотермічною реакцією (потребує енергії)):



Мінімальна енергія, необхідна для реакції з утворення одного кілограма водню, становить близько 40 кВт/год за стандартної температури 25°C.

Висновки. Використання відновлюваних джерел енергії для створення екологічно чистого водню відкриває нові можливості для розвитку сталої енергетики. Дослідження у цій області базується на пошуку ефективних інноваційних рішень, які сприятимуть зменшенню викидів та покращенню якості довкілля. Додаткові дослідження та розвиток технологій у цьому напрямку є ключовими завданнями для досягнення екологічно чистого майбутнього.

Список використаних джерел

1. Marouani, I., Guesmi, T., Alshammari, B. M., Alqunun, K., Alzamil, A., Alturki, M., & Hadj Abdallah, H. *Integration of Renewable-Energy-Based Green Hydrogen into the Energy Future. Processes*, 2023, 11(9), 2685. <https://doi.org/10.3390/pr11092685>
2. Qusay Hassan, Ammar M. Abdulateef, Saadoon Abdul Hafedh, Ahmed Al-samari, Jasim Abdulateef, Aws Zuhair Sameen, Hayder M. Salman, Ali Khudhair Al-Jiboory, Szymon Wieteska, Marek Jaszczur, Renewable energy-to-green hydrogen: A review of main resources routes, processes and evaluation, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 48, Issue 46, 2023, Pages 17383-17408, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.01.175>.
3. Reda, B., Elzamar, A.A., AlFazzani, S. *et al.* Green hydrogen as a source of renewable energy: a step towards sustainability, an overview. *Environ Dev Sustain*, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04892-z>.

Науковий керівник: к.т.н., доцент А.В. Босак

UDC 620.92, 662.769.2

Artem Salogub, master student
Department of Automation of electrical and mechatronix complexes
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR THE CREATION OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY HYDROGEN

Abstract. *The article deals with the actual problem of using renewable energy sources to produce environmentally friendly hydrogen. A literature review of modern technologies and methods that allow efficient use of renewable energy for the conversion of water into hydrogen is presented. The advantages and challenges associated with this approach are analyzed, and potential opportunities for further improvement of hydrogen production systems regarding environmental and sustainable development are highlighted.*

Keywords: *renewable energy sources, hydrogen, energy, ecology, sustainable development.*

References

1. Marouani, I., Guesmi, T., Alshammari, B. M., Alqunun, K., Alzamil, A., Alturki, M., & Hadj Abdallah, H. *Integration of Renewable-Energy-Based Green Hydrogen into the Energy Future. Processes*, 2023, 11(9), 2685. <https://doi.org/10.3390/pr11092685>
2. Qusay Hassan, Ammar M. Abdulateef, Saadoon Abdul Hafedh, Ahmed Al-samari, Jasim Abdulateef, Aws Zuhair Sameen, Hayder M. Salman, Ali Khudhair Al-Jiboory, Szymon Wieteska, Marek Jaszczur, Renewable energy-to-green hydrogen: A review of main resources routes, processes and evaluation, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 48, Issue 46, 2023, Pages 17383-17408, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.01.175>.
3. Reda, B., Elzamar, A.A., AlFazzani, S. *et al.* Green hydrogen as a source of renewable energy: a step towards sustainability, an overview. *Environ Dev Sustain*, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04892-z>.

Scientific supervisor: Cand.Tech.Sc., Associate professor Alla Bosak

УДК 620.9

К.С. Швець, магістрант
Кафедра Автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОГЛЯД ВОДНЕВИХ ДЖЕРЕЛ

Анотація. У цій статті розглядаються парадигми водневої енергетики з акцентом на методах синтезу та проблемах зберігання. Воднева енергетика провіщає трансформаційні зрушення в транспортному та енергетичному секторах, пропонуючи значний потенціал декарбонізації. Електромобілі на паливних елементах використовують водень, реагуючи з киснем для виробництва електроенергії та води. Незважаючи на свою багатообіцяючу перспективу, воднева технологія стикається з проблемами розвитку інфраструктури для транспортування, зберігання та заправки, а також ефективності виробництва. Методи виробництва включають реформування природного газу, електроліз води та газифікацію біомаси. Подолання технічних та інфраструктурних бар'єрів має важливе значення для повної реалізації потенціалу водневої енергетики.

Ключові слова. Методи синтезу водню, Проблеми зберігання водню, Транспортні засоби на водневих паливних елементах, Потенціал водневої декарбонізації, Ефективність виробництва водню, Перехід до водневої енергетики, Виробництво та розподіл водню.

Вступ. Хоча водень існує у великій кількості на Землі як елемент, він переважно зустрічається у складі інших сполук, таких як вода (H_2O) або метан (CH_4), що зумовлює необхідність видобутку чистого водню (H_2) для використання в електромобілях, що працюють на паливних елементах. Використання водню як джерела енергії означає фундаментальний зсув як для транспортного, так і для енергетичного секторів, надаючи можливість прискорити зусилля з декарбонізації цих галузей шляхом їхньої інтеграції. Незважаючи на поточну мінімальну частку відновлюваної енергетики в транспортному секторі, відбуваються значні трансформації, особливо в сегменті комерційних автомобілів, зумовлені появою транспортних засобів на водневих двигунах. Однак розвиток водневої енергетики стикається з проблемами у розробці та розгортанні транспортної інфраструктури, сховищ та заправних станцій, що перешкоджає її широкому впровадженню як альтернативного джерела енергії.

Мета роботи. Запропонувати вичерпні визначення та детальні пояснення відповідних аспектів водневої енергетики.

Матеріал і результати дослідження.

Водень можна виробляти з різних вітчизняних ресурсів, включаючи викопне паливо, біомасу та електроліз води з отриманням електроенергії. Вплив на довкілля та енергоефективність водню залежить від способу його виробництва. Наразі реалізується кілька проектів, спрямованих на зменшення витрат, пов'язаних з виробництвом водню.

Існує кілька способів виробництва водню:

- Реформування/газифікація природного газу: Синтез-газ - суміш водню, монооксиду вуглецю та невеликої кількості вуглекислого газу - утворюється в результаті реакції природного газу з високотемпературною парою. Чадний газ реагує з водою, утворюючи додатковий водень. Цей метод є найдешевшим, найефективнішим і найпоширенішим. Реформування природного газу за допомогою пари забезпечує більшу

частину водню, що виробляється в США щорічно. Включення в процес уловлювання та зберігання вуглецю дозволяє виробляти водень з меншими викидами вуглекислого газу.

- Синтез-газ також може бути створений шляхом реакції вугілля або біомаси з високотемпературною парою і киснем у газифікаторі під тиском. Це перетворює вугілля або біомасу на газоподібні компоненти - процес, який називається газифікацією. Отриманий синтез-газ містить водень і монооксид вуглецю, який реагує з парою для відокремлення водню.

- Електроліз: Електричний струм розщеплює воду на водень і кисень. Якщо електроенергія виробляється з відновлюваних джерел, таких як сонячна або вітрова енергія, то водень, що утворюється, також вважається відновлюваним і має численні переваги щодо викидів. Проекти з виробництва водню з електроенергії набирають обертів, використовуючи надлишок відновлюваної електроенергії, коли вона доступна, для виробництва водню шляхом електролізу.

- Реформування рідини, отриманої з біомаси: Відновлюване рідке паливо, таке як етанол, реагує з високотемпературною парою для отримання водню поблизу місця кінцевого використання.

- Мікробна конверсія біомаси: Біомаса перетворюється на багату на цукор сировину, яку можна ферментувати для отримання водню.

Кілька методів виробництва водню знаходяться в стадії розробки:

- Термохімічне розщеплення води: Високі температури, що генеруються сонячними концентраторами або ядерними реакторами, спричиняють хімічні реакції, які розщеплюють воду з утворенням водню.

- Фотобіологічне розщеплення води: Мікроби, такі як зелені водорості, споживають воду в присутності сонячного світла і виробляють водень як побічний продукт.

- Фотоелектрохімічне розділення води: Фотоелектрохімічні системи виробляють водень з води за допомогою спеціальних напівпровідників та енергії сонячного світла.

Розглянувши висвітлені вище способи виробництва водню, можна отримати систему класифікації водню за кольорами по способу його виробництва, таблиця 1.

Таблиця 1. Кольорова класифікація водню за методом його отримання (виробництва)

Колір водню	Метод виробництва
Білий	Природний водень
Чорний	Використання кам'яного вугілля
Сірий	Використання природного газу без уловлювання CO ₂
Жовтий	Вказують на водень, вироблений електролізом за допомогою електроенергії, яка надходить із змішаних джерел залежно від доступності.
Червоний	Виробляється шляхом високотемпературного каталітичного розщеплення води з використанням ядерної енергії як джерела енергії.
Рожевий	Отримують з використанням ядерної енергії та тепла шляхом комбінованого хімічного термічного електролізу розщеплення води
Зелений	Виробництво за допомогою електролізу, з використанням відновлюваної електроенергії
Фіолетовий	Отримують з використанням ядерної енергії та тепла шляхом комбінованого хімічного термічного електролізу розщеплення води
Блакитний	Викиди, що утворюються в процесі парового риформінгу, вловлюються та зберігаються під землею за допомогою

Колір водню	Метод виробництва
	промислового уловлювання та зберігання вуглецю (CSS), щоб він не розсівався в атмосфері.
Бірюзовий	Термічне розщеплення метану шляхом піролізу метану.
Коричневий	Використання бурого вугілля

Зберігання та розподіл водню. Після того, як водень виробляється та очищується, він потребує безпечних методів розподілу та зберігання. Водень можна зберігати як у газоподібному, так і в рідкому стані, залежно від його застосування. Рідкий водень з температурою кипіння $-252,9^{\circ}\text{C}$ вимагає наднизьких температурних умов для безпечного зберігання або органічного зв'язування. І навпаки, зберігання газоподібного водню при температурі навколишнього середовища вимагає систем високого тиску для досягнення щільності енергії, порівнянної з криогенним зберіганням. Слід зазначити, що газоподібний водень можна зберігати протягом тривалих періодів без погіршення якості, а існуючу газову інфраструктуру можна перефільювати. Однак його об'ємна щільність енергії при атмосферному тиску залишається відносно низькою порівняно з традиційними джерелами енергії, такими як природний газ або нафта. Резервуари або трубопроводи високого тиску полегшують розподіл газоподібного водню до кінцевих споживачів, пропонуючи гнучкість у транспортуванні автомобільними, залізничними або морськими шляхами без необхідності створення нової інфраструктури. Крім того, змішування водню з природним газом дозволяє транспортувати його існуючими трубопроводами з мінімальними модифікаціями, хоча при перевищенні 40% частки водню може виникнути потреба в заміні компонентів. Зберігання та розподіл водню на місці вимагає суворих протоколів безпеки та випробувань, особливо щодо резервуарів високого тиску та систем заправних станцій. Забезпечення цілісності компонентів і навчання працівників поводженню з воднем ще більше посилюють заходи безпеки.

Висновок. У цій статті було розглянуто парадигми водневої енергетики, декілька методів синтезу водню, проблематику зберігання. Використання водневої енергетики представляє собою перехід до нової парадигми для транспортного та енергетичного секторів з потенціалом для декарбонізації. Процес використання водню в електромобілях на паливних елементах передбачає його відокремлення з інших сполук та реакцію з киснем, створюючи електроенергію та воду. Хоча технологія водневої енергетики має великий потенціал, її впровадження стикається з декількома викликами, такими як розробка інфраструктури для транспортування, зберігання та заправки водню, а також підвищення ефективності виробництва. Проте, існують різні методи виробництва водню, включаючи реформування природного газу, електроліз води та газифікацію біомаси. Для реалізації повного потенціалу водневої енергетики необхідно подолати технічні та інфраструктурні перешкоди, а також забезпечити ефективне виробництво та дистрибуцію.

Список використаної літератури.

1. Al-Baghdadi, Maher. "An Overview of Hydrogen as an Alternative Fuel." Encyclopedia, 2020, URL: <https://encyclopedia.pub/1574> (Дата звернення 22.04.2023).
2. Jankowski, Antoni, and Mirosław Kowalski. "Alternative fuel in the combustion process of combustion engines." Journal of KONBiN, vol. 48, no. 1, 2018, pp. 55-81.
3. Hydrogen services for clear future. TUV SUD. URL: <https://www.tuvsud.com/en/themes/hydrogen> (Дата звернення 22.04.2023).

4. Pandey, Bhoopendra, et al. "Recent progress in thermochemical techniques to produce hydrogen gas from biomass: A state of the art review." International Journal of Hydrogen Energy, vol. 44, no. 47, 2019, pp. 384-415.

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

UDC 620.9

K. Shvets, master student
Department of Automation of electrical and mechatronic complexes
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

REVIEW OF HYDROGEN SOURCES

Abstract. *This article discusses hydrogen energy paradigms with a focus on synthesis methods and storage issues. Hydrogen energy heralds transformational shifts in the transportation and energy sectors, offering significant decarbonization potential. Fuel cell electric vehicles use hydrogen to react with oxygen to produce electricity and water. Despite its promising prospects, hydrogen technology faces challenges in developing infrastructure for transportation, storage and refueling, as well as production efficiency. Production methods include natural gas reforming, water electrolysis, and biomass gasification. Overcoming technical and infrastructural barriers is essential to fully realize the potential of hydrogen energy.*

Keywords. *Hydrogen synthesis methods, Hydrogen storage problems, Hydrogen fuel cell vehicles, Hydrogen decarbonization potential, Hydrogen production efficiency, Transition to hydrogen energy, Hydrogen production and distribution.*

References

1. Al-Baghdadi, Maher. "Overview of hydrogen as an alternative fuel". Encyclopedia, 2020, URL: <https://encyclopedia.pub/1574> (date of access:12.04.2024)
2. Jankowski, Antoni, and Mirosław Kowalski. "Alternative fuel in the combustion process of internal combustion engines". KONBiN Journal, vol. 48, no. 1, 2018, pp. 55-81.
3. Hydrogen services for a clear future. TUV SUD. [Online]. URL: <https://www.tuvsud.com/en/themes/hydrogen> (date of access:12.04.2024)
4. Pandey, Bhupendra, et al. "Recent Progress in Thermochemical Methods for the Production of Hydrogen Gas from Biomass: A review of the current state of the art". International Journal of Hydrogen Energy, vol. 44, no. 47, 2019, pp. 384-415.

Scientific supervisor: Doctor of Technical Sciences, prof. Sergii Boichenko

UDC 621.867

Andrii Trachuk¹, PhD student**Ivan Anisimov**¹, student**Danylo Tkachenko**¹, student**Sofiiia Malaman**¹, student**Vitalii Kovalchuk**¹, student¹**Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute**

IN-DEPTH EXAMINATION OF RECENT PROGRESS IN UTILIZING RENEWABLE ENERGY SOURCES

Abstract. *This study focuses on a thorough review and analysis of advanced renewable energy technologies. It considers a wide range of innovative solutions aimed at ensuring sustainable and efficient energy production from environmentally friendly sources. Among the researched technologies are solar panels, wind turbines, hydropower plants and biofuel systems, where their advantages, limitations and potential for future development are analyzed.*

In addition, it is examined important aspects related to the efficiency, cost-effectiveness and environmental impact of these technologies. It is highlighted issues of sustainable development and the role of renewable energy in reducing greenhouse gas emissions and ensuring energy security.

Keywords: *renewable energy sources, technological solutions, solar energy, wind power, hydropower, biofuels, sustainable growth, environmental aspects, energy security.*

Introduction. In the light of the growth of world demand for energy and increasing awareness of environmental problems associated with the consumption of traditional energy sources, there is a need to search for alternative, environmentally friendly energy sources. One of the powerful areas that are becoming increasingly important is the use of renewable energy sources (RES), such as the sun, wind, water and organic materials.

The research will consider a wide range of innovative solutions in the field of RES, including the development of solar panels, wind turbines, hydropower and biofuels. Attention will be paid to the efficiency, environmental friendliness and economic feasibility of using these technologies. [1-5].

Analysis of recent research and publications. In foreign and domestic literature, there are works devoted to various aspects of the state and development of renewable energy sources. The main emphasis in these works is on: technological innovations, efficiency and economy, reducing the negative impact on the environment and increasing the level of environmental awareness, research and development of the latest strategies, and proposals for development trends and forecasts, etc. [6-8].

The purpose and tasks of the research. The research aims to analyze and summarize the latest technological solutions in renewable energy, assessing their potential, benefits, and limitations. Tasks included reviewing scientific literature, categorizing renewable energy sources, examining their conversion technologies, analyzing advancements in solar, wind, hydro, and biofuels, comparing their effectiveness and cost to traditional sources, evaluating environmental impact and greenhouse gas reduction, and forecasting future development and implementation of renewable energy technologies.

Material and research results. In the light of the growth of world demand for energy and increasing awareness of environmental problems associated with the consumption of traditional energy sources, there is a need to search for alternative, environmentally friendly

energy sources. One of the powerful areas that are becoming increasingly important is the use of renewable energy sources (RES), such as the sun, wind, water and organic materials.

Modern technologies related to the use of RES are actively developing and becoming an object of great interest for scientific research and development of innovations. They not only open up new opportunities for obtaining energy, but also contribute to reducing dependence on traditional energy sources, which have their limitations and negative impact on the environment [9-10].

The analysis and review of the latest technologies in the field of RES is important for the further development of the energy industry and ensuring the sustainable development of society. The policy of decarbonization of the economy consists in increasing energy efficiency and the development of renewable energy sources. In order to implement the policy, it is necessary to determine the main factors of forming the energy efficiency of the production of electric energy of the enterprises included in the industrial parks.

Effective use of renewable energy sources (RES) in the energy balance system of Ukraine significantly depends on the use of renewable energy conversion technologies. The high cost of these technologies, and thus the energy obtained, is due to the low density of energy flows, their variability in time and the need for significant costs for equipment for energy collection, storage and conversion. Therefore, the use of advanced energy conversion technologies can significantly reduce the cost of energy obtained from RES and contribute to their introduction into the energy system of the region [5].

Based on the analysis of various sources of information, the most promising technologies for the transformation of the main types of renewable energy, such as solar, wind, biomass, tidal and wave, have been determined, which are presented in the table below [6-10].

Table 1 – Research of the latest prospective technologies of renewable energy conversion

Type of renewable energy source	Disadvantages of the RES type and its conversion technology	Promising technologies of energy conversion
Solar energy	<ul style="list-style-type: none"> - instability (impermanence) and unpredictability of the main source of energy, which depends on weather and climatic conditions - the need to use energy storage or additional sources - high costs for photovoltaic systems (PHS) due to the need for storage devices and reverse AC converters - low efficiency - the limited energy capacity of FES leads to the need for large areas for their installation. 	<ul style="list-style-type: none"> • advanced inorganic thin film photovoltaic modules (PEM) • - Spherical FEMs based on copper-indium selenide (CIS) and thin-film polycrystalline silicon FEMs; • organic FEMs (including dye-sensitized FEMs based on organic polymers); • thermo-photoelectric (TPV) cells with a narrow gap band (lowgap-band).
Wind energy	Irregularity of wind conditions as a source of energy, loss of landscape aesthetics, difficulties in connecting to	<ul style="list-style-type: none"> • increase in generating potential (increase in the size of turbines, height of turbine towers, use of offshore winds and winds at high altitudes);

Type of renewable energy source	Disadvantages of the RES type and its conversion technology	Promising technologies of energy conversion
	existing networks (due to the remoteness of the most favorable places), and the cost of installing wind turbines.	<ul style="list-style-type: none"> • improving materials (reducing the dependence of tower structures on steel elements, reducing the weight of propellers (use of carbon fibers and high-intensity carbon plastic)); • improvement of the drive system (reducer, generator, electronics) (development of superconductor technology for lighter and more efficient generators; use of permanent electromagnets in generators); • use of new types of wind turbines: flying and vertical axis turbines; • generation in low-speed winds
Bioenergy	The need for land and water resources for cultivation (competing with food production); negative emissions, such as NO _x , soot, ash, CO, CO ₂ , during combustion; the seasonal nature of the growth of some crops; difficulties with scaling generating powers.	<ul style="list-style-type: none"> • co-combustion of biomass mixtures with traditional types of fuel; • use of new types of fuel from biomass, including various household and industrial wastes; • conversion of existing generating capacities on hydrocarbon fuel to the use of biomass; • increasing the heat output of biomass pellets due to drying; <p>integrated biomass gasification with fuel cells.</p>
Tidal and wave energy	<ul style="list-style-type: none"> - large capital costs for construction; - binding to the geographical position of the coastline and distance from existing electrical networks; - negative impact on the 	<ul style="list-style-type: none"> • use of bridges as tidal power stations; • oscillating underwater wing (uses fins (wings) that are set in motion by the current instead of rotating elements);

Type of renewable energy source	Disadvantages of the RES type and its conversion technology	Promising technologies of energy conversion
	environment; - dependence on natural conditions; - high costs and complexity of maintenance; rapid wear and tear of generating equipment due to water exposure.	<ul style="list-style-type: none"> • systems using a venturi tube; • magnetohydrodynamic (MHD) systems (use a cryogenically cooled superconducting electromagnetic coil placed on the seabed where tidal waves pass); • use of wave attenuators - wave energy converters in the form of snake-like devices, half submerged in water; • wave generators based on the reverse pendulum principle, generators with a liquid/gaseous working medium.
Geothermal energy	- Large capital costs and high energy intensity are explained by the need to manufacture expensive pumping wells and significant energy costs for pumping water.	<ul style="list-style-type: none"> • the use of the technology of geothermal circulation systems (GCS) makes it possible to intensify the extraction process, increase the level of extraction of thermal resources from the subsurface, and solve the problem of environmentally safe spent coolants.

As a result of the analysis, it was established that the main research in the field of RES development is aimed at reducing the costs of the production of converters by increasing their efficiency, saving materials, increasing energy intensity and using organic materials instead of scarce raw materials.

Conclusions. The study highlights the considerable potential for enhancing solar energy, as modern technologies offer greater utilization of this eco-friendly power source. It also stresses the importance of deeper exploration into wind energy due to its proven efficiency in generating electricity. Additionally, it underscores the promising contributions of hydropower and biofuels as supplementary renewable energy sources, emphasizing their significance for sustainable energy development.

In summary, the research indicates a bright outlook for renewable energy sources, including solar, wind, hydropower, and biofuels, in fostering sustainable energy development.

References

1. Olabi A. G., Abdelkareem M. A. Renewable energy and climate change //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2022. – Т. 158. – С. 112111.
2. Zhang B. et al. Dynamic energy conversion and management strategy for an integrated electricity and natural gas system with renewable energy: Deep reinforcement learning approach //Energy conversion and management. – 2020. – Т. 220. – С. 113063. 3. "Journal of Renewable and Sustainable Energy" - American Institute of Physics. 2020
3. Pan Y., Dong F. Design of energy use rights trading policy from the perspective of energy vulnerability //Energy Policy. – 2022. – Т. 160. – С. 112668.
4. Zhong S. et al. Machine learning: new ideas and tools in environmental science and engineering //Environmental Science & Technology. – 2021. – Т. 55. – №. 19. – С. 12741-12754.
5. Zaichenko, S., Trachuk, A., Shevchuk, N., Pochka, K., & Shalenko, V. (2024, November). Forecasting the development of renewable national energy in the tourism sector of Ukraine. In E3S Web of Conferences (Vol. 508, p. 02006). EDP Sciences.
6. Alekseenko V. A. et al. Determination of energy characteristics of two-rotor wind power installation //19th International Scientific Conference: Engineering for rural development Proceedings. – 2020. – Т. 19. – С. 860-866.
7. Cheban IV, Dibrova AD Current state of formation and development of the liquid biofuel market in Ukraine // Bulletin of Odessa National University. Series: Economy. – 2017. – no. 22, Issue 6. - P. 83-88.
8. Holub, H., Kulbovskiy, I., Skok, P., Bambura, O., Melnychenko, O., Kharuta, V., & Tretynychenko, Y. (2020). System model of information flows in networks of the electric supply system in transport infrastructure projects. In Transport Means-Proceedings of the International Conference (pp. 132-135).
9. Zaichenko, S., & Derevianko, D. (2023). Comparison of the Energy Efficiency of Synchronous Power Generator with Spark Ignition Engine Using Different Types of Fuels. In Systems, Decision and Control in Energy V (pp. 155-177). Cham: Springer Nature Switzerland.
10. Zaichenko, S., Shevchuk, S., Kulish, R., Denysiuk, S., Derevianko, D., & Opryshko, V. (2021, September). Identification of the least reliable elements of autonomous power plant based on internal combustion and diesel engines by the method of the lowest residual entropy. In 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek) (pp. 549-552). IEEE.

Scientific supervisor: Doct.Tech.Sc., Professor Stefan Zaichenko

UDC 621.867

Андрій Трачук¹, аспірант
Іван Анісімов¹, студент
Данило Ткаченко¹, студент
Софія Маламан¹, студентка
Віталій Ковальчук¹, студент

¹Кафедра Автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПОГЛИБЛЕНИЙ АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЯГНЕНЬ У СФЕРІ ВИКОРИСТАННІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Анотація. Дане дослідження зосереджується на ретельному огляді та аналізі передових технологій на основі відновлювальних джерел енергії. Розглядається широкий спектр інноваційних рішень, спрямованих на забезпечення сталого та ефективного виробництва енергії з екологічно чистих джерел. Серед досліджуваних технологій – сонячні батареї, вітрові турбіни, гідроенергетичні установки та біопаливні системи, де проаналізовано їх переваги, обмеження та потенціал для майбутнього розвитку.

Крім того, розглядаються важливі аспекти, пов'язані з ефективністю, економічністю та впливом на довкілля цих технологій. Висвітлено питання сталого розвитку та роль відновлювальної енергетики у зменшенні викидів парникових газів та забезпеченні енергетичної безпеки.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, технологічні рішення, сонячна енергія, вітроенергетика, гідроенергетика, біопаливо, стале зростання, екологічні аспекти, енергетична безпека.

Список використаних джерел

1. Olabi A. G., Abdelkareem M. A. Renewable energy and climate change // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2022. p. 112
2. Zhang B. et al. Dynamic energy conversion and management strategy for an integrated electricity and natural gas system with renewable energy: Deep reinforcement learning approach // *Energy conversion and management*, 2020.
3. Pan Y., Dong F. Design of energy use rights trading policy from the perspective of energy vulnerability // *Energy Policy*, 2022.
4. Zhong S. et al. Machine learning: new ideas and tools in environmental science and engineering // *Environmental Science & Technology*, 2021, №. 19.
5. Zaichenko S., Trachuk A., Shevchuk N., Pochka K., & Shalenko V. (2024, November). Forecasting the development of renewable national energy in the tourism sector of Ukraine. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 508, p. 02006). *EDP Sciences*.
6. Alekseenko V. A. et al. Determination of energy characteristics of two-rotor wind power installation // *19th International Scientific Conference: Engineering for rural development Proceedings*, 2020. p. 860
7. Чебан І.В., Діброва А.Д. «Сучасний стан становлення та розвитку ринку рідкого біопалива в Україні» // *Вісник Одеського національного університету. Серія: Економіка.*, 2017, Вип. 6. .с. 88.
8. Holub H., Kulbovskiy I., Skok P., Bambura O., Melnychenko O., Kharuta V., & Tretynychenko, Y. System model of information flows in networks of the electric supply

system in transport infrastructure projects. *In Transport Means-Proceedings of the International Conference*, 2020. p.135.

9. Zaichenko S., & Derevianko D. Comparison of the Energy Efficiency of Synchronous Power Generator with Spark Ignition Engine Using Different Types of Fuels. In *Systems, Decision and Control in Energy V.*, 2023. (pp. 155-177). Cham: *Springer Nature Switzerland*.

10. Zaichenko S., Shevchuk S., Kulish R., Denysiuk S., Derevianko D., & Opryshko, V. Identification of the least reliable elements of autonomous power plant based on internal combustion and diesel engines by the method of the lowest residual entropy, 2021, September, *In 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)* (pp. 549-552). IEEE.

Науковий керівник: д.т.н., проф. С.В. Зайченко

СЕКЦІЯ 3.

ГЕОІНЖЕНЕРІЯ, ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 624.1

Колпаков М.С., студент
Кафедра Геоінженерії
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОСОБЛИВОСТІ СПОРУДЖЕННЯ ФУНДАМЕНТІВ ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ

Анотація. В результаті аналізу будівництва вітрогенераторних станцій України було визначено важливість ретельного проектування фундаментів. Виокремлено найбільш трудомісткі етапи будівництва, а саме влаштування фундаментів та їх бетонування. Наведені основні типи фундаментів для вітрогенераторних станцій.

Ключові слова: фундаменти вітрогенераторів, палі, ґрунтові основи.

Вступ. Сьогодні альтернативна енергетика стрімко розвивається, і вітрогенератори відіграють ключову роль у цьому процесі. В Україні вітрогенератори стали значним джерелом виробництва електроенергії, особливо з огляду на потенціал розвитку вітрової енергетики та зобов'язання перед ООН щодо зменшення викидів парникових газів. Тому уряд України приділяє увагу розвитку вітроенергетики, а стратегія розвитку до 2035 року передбачає значне збільшення обсягів виробництва електроенергії з вітроенергетики.

Найбільші вітрові електростанції в Україні генерують 34 вітрові електростанції (включно з тими, що знаходяться на території ОРДЛО). Найбільшими з них є Ботієвська (рис.1), Приморська, Мирненська, Орлівська, Овер'янівська та Новоазовська ВЕС.

Для великих вітрогенераторів можуть використовуватися різні типи фундаментів, такі як фундаменти на основі опорних кіл, монопільні фундаменти, глибокі закладні тощо (рис. 2). Вибір технології залежить від розмірів та масштабів проекту, характеристик ґрунту та місцевих умов.

Мета та завдання. Метою будівництва фундаментів для вітрогенераторів є забезпечення міцності та стійкості конструкцій, ефективної передачі навантажень на ґрунтові основи та мінімізація впливу на навколишнє середовище. Для досягнення цих цілей необхідно проводити ретельне проектування та відповідні технології та методи будівництва.

Матеріал і результати досліджень. Вітрогенератори мають значну вагу та великі моменти, які потрібно передавати в ґрунт через фундамент. Тому фундаменти повинні бути достатньо міцними та стійкими, щоб витримувати ці навантаження.

Фундамент вітрогенератора є гарантією його стабільності та довговічності. При його будівництві використовується велика кількість арматури великих діаметрів і високоякісного бетону.

Етапи будівництва включають викопування котловану, укладання щебеню і піску, встановлення щогли і заливку бетоном. Важливо переконатися, що використані матеріали відповідають високим стандартам якості, щоб забезпечити довговічність конструкції.



Рисунок 1 – Ботівська вітрова електростанція. Розташована у селі Ботієве, Запорізька область (потужність: 200 МВт, рік запуску 2012)

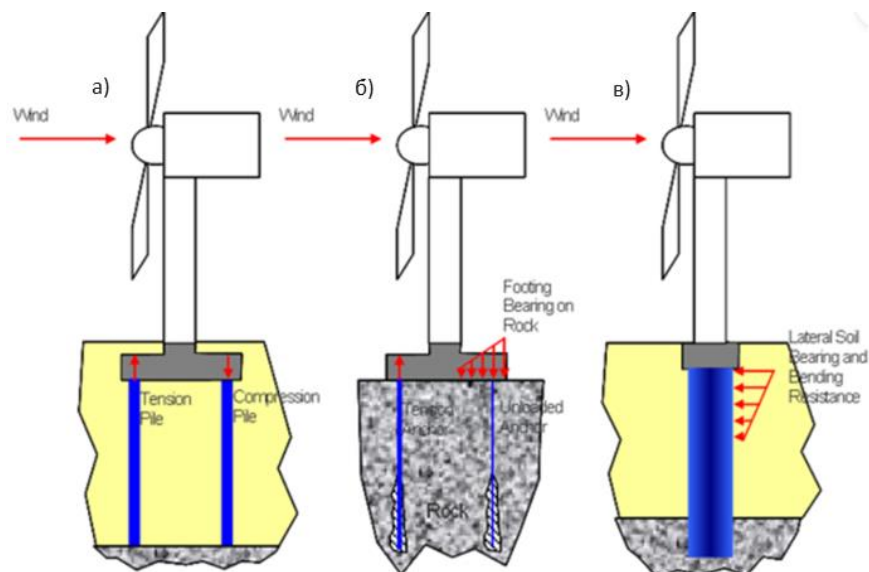


Рисунок 2 – Типи фундаментів:

а) група палей, б) анкерне кріплення, в) одиночна паля

Будівництво вітрогенераторів вимагає великих трудовитрат і підготовчих робіт. Одним із найбільш трудомістких етапів будівництва вітряної електростанції є влаштування фундаментів.

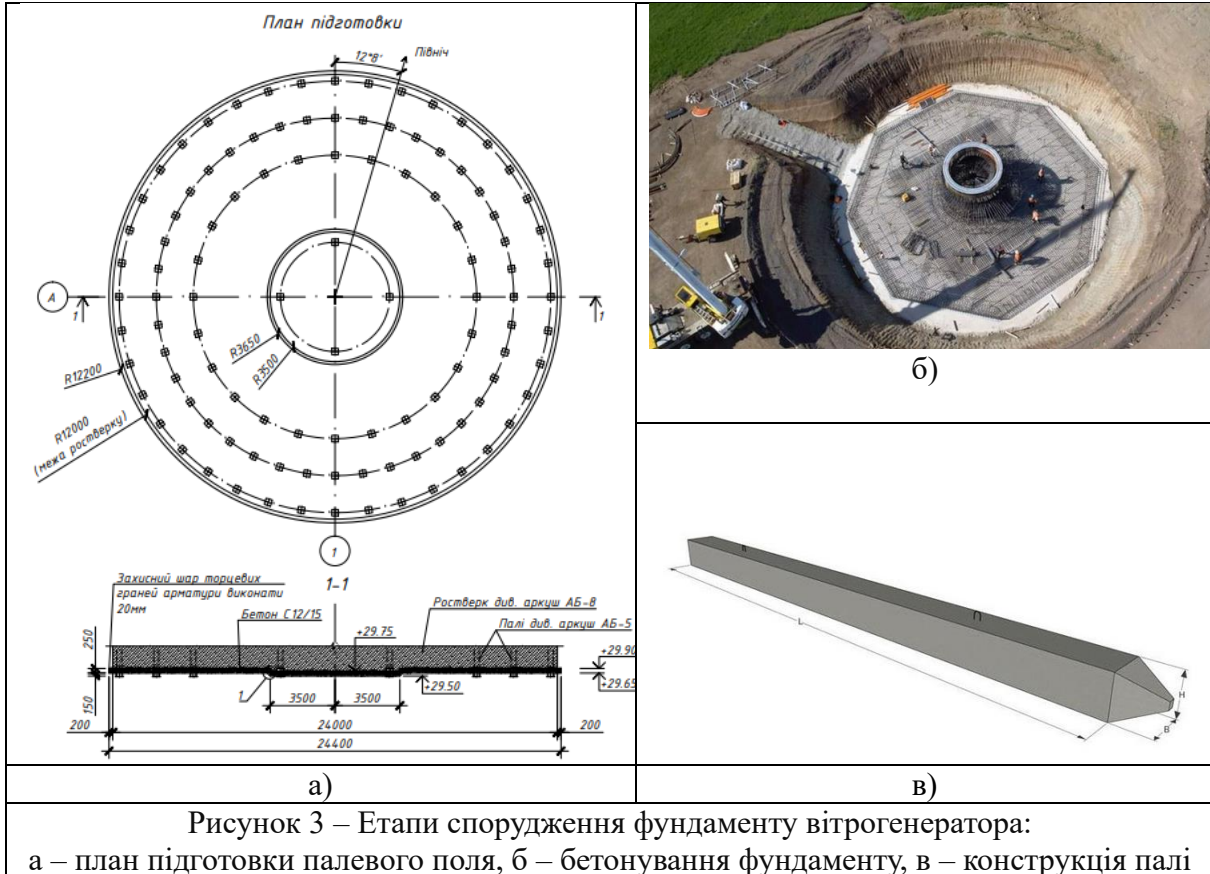


Рисунок 3 – Етапи спорудження фундаменту вітрогенератора:
а – план підготовки палевого поля, б – бетонування фундаменту, в – конструкція палі

Спочатку облаштовують пальові поля, план підготовки наведено на рис.3.а. На місці установлення кожного вітрогенератора встановлюють 108 палей серії С-100.35 (рис. 3.в) довжиною 10 м. Основа під башту вітрогенератора складає $R = 3500$ мм, палі по центральній вісі розташовуються на відстані 2000 мм, а по радіальній для зовнішнього кола через 9° , для внутрішнього 15° . Наступний етап – заливка залізобетонного фундаменту. Кожен фундамент – це 450-500 куб. м бетону (рис. 3.б). Все це дозволяє утримувати масу наземної частини вітрогенератора як під час рутинної роботи, так і природних катаклізмів – шквального вітру, бур і буревіїв.

Наприклад, для будівництва Ботієвської вітрової електростанції використовувалися фундаменти посилені залізобетонними палями діаметром 1,2 метри, забитими на глибину 28 метрів. Фундамент містив понад 100 т арматури. Башта вітряка проектувалася порожньою всередині для розташування сходів та ліфта.

Висновки. Фундаменти є невід’ємним елементом вітроенергетичного проекту. Тип і вартість фундаментів можуть значно відрізнятись в залежності від геології та ділянки. Доступні різноманітні системи глибокого та неглибокого фундаменту, які можуть бути оптимізовані відповідно до конкретних вимог проекту.

Дослідження інженерно-геологічних питань на ранніх стадіях проекту може заощадити час і витрати на подальшу розробку проекту. Інтеграція досліджень, проектування та будівництва може створити економічні та ефективні проекти фундаментів, які зменшують загальну вартість проекту та скорочують час, необхідний від початку до завершення для графіка проекту.

Список використаних джерел

1. Вітряні електростанції (ВЕС). URL: <https://structum.ua/services/renewable-energy/wind-power/> (дата звернення: 11.04.2024)
2. Вітрова енергетика в Україні та світі. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2022/01/18/vitrova-energetyka-v-ukrayini-ta-sviti/> (дата звернення: 11.04.2024)
3. Основи будівництва під вітрогенератори. URL: <https://enco.com.ua/stati/osnovi-budivnitstva-pid-vitrogeneratori/> (дата звернення: 12.04.2024)

Науковий керівник: к.т.н., доцент Л.В. Шайдецька

UDC 624.1

Kolpakov M.S., student
Department of Geoengineering
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

FEATURES OF THE CONSTRUCTION OF WIND TURBINE FOUNDATIONS

Abstract. *As a result of the analysis of the construction of wind turbines in Ukraine, the importance of careful design of foundations was determined. The most tender-intensive stages of construction, namely the arrangement of foundations and their concreting, are allocated. The main types of foundations for wind turbine stations are given.*

Key words: *wind turbine foundations, piles, soil foundations.*

References

1. Wind power plants (WPP). URL: <https://structum.ua/services/renewable-energy/wind-power/> (date of access: 11.04.2024)
2. Wind energy in Ukraine and the world. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2022/01/18/vitrova-energetyka-v-ukrayini-ta-sviti/> (date of access: 11.04.2024)
3. Fundamentals of construction for wind turbines. URL: <https://enco.com.ua/stati/osnovi-budivnitstva-pid-vitrogeneratori/> (date of access: 12.04.2024)

Scientific supervisor: Cand.Tech.Sc., Associate professor Liubov Shaidetska

UDC 622.271

M.V. Dzoba¹, Phd student**D.D. Chmilenko**¹, student¹Department of Geoengineering
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute**STUDY OF THE INFLUENCE OF THE SLOPE ANGLE OF A QUARTZ SAND LEDGE ON ITS STABILITY COEFFICIENT**

Abstract. *Graphical dependences of the change in the stability coefficient of quartz sand scarp from the angle of working scarp were obtained using the normative method of graphical constructions and limit equilibrium methods in Rocscience Slide. It has been established that the character of change of graphical dependences of the working scarp stability coefficient on the slope angle is the same for both the methods of analysis in Rocscience Slide and for the normative method of graphical constructions (by G.L. Fisenko).*

Differences in the numerical values of the slope stability coefficient calculated by the method of graphical constructions with the values obtained by Bishop, Janbu and Spencer analysis methods in the Slide program have been established.

The numerical values of the stability coefficient calculated by the graphical plotting method are higher than the analysis methods in Slide. In particular, the values of stability coefficients are larger by 6...11% compared to their values obtained by Bishop and Spencer analysis methods and by 9...14% compared to Janbu values when the slope angle is changed from 25 to 50 degrees.

Key words: *quarry; quartz sand; working scarp; sliding surface; slope stability coefficient; graphical method.*

Introduction. In many cases, open-pit mining is accompanied by deformation processes in the sides and benches of quarries [1]. These processes can be both long-lasting and short-term or even instantaneous. In any case, deformations of quarry slopes reduce mining efficiency and cause material damage to the company. In particular, the proper and safe conduct of mining operations is disrupted, and mineral losses increase.

The main causes of deformations (landslides, cave-ins, landslides, etc.) include insufficient study of mining and geological conditions (structural features of the rock mass and its physical and mechanical properties); non-compliance of the angles of slopes of quarry slopes with regulatory requirements; misconception of the nature of deformations (underestimation); improper mining operations; lack of engineering landslide protection measures at the quarry; application of incorrect methods of assessment and analysis of safe slope stability parameters [2]. In this regard, slope stability should be assessed on an ongoing basis using available (engineering or computer) control methods based on reliable data on the condition of the rock mass and mining technology.

To ensure the stability of quarry slopes, it is also necessary to take into account several factors that may cause landslides. In addition, it is necessary to ensure constant monitoring of compliance while the established parameters of mining technology with forecasting the state of stability of the rock mass in case of possible violations. Therefore, establishing the dependence of the stability coefficient of the quartz sand bench on the angle of its slope in the conditions of the Sykhivske deposit is relevant.

Purpose and objectives. The purpose of research of the scientific article is to study the influence of the angle of slope of the working ledge of quartz sands on its stability coefficient for the conditions of Sikhovsky quarry.

The task of research is to establish the relationship between the value of the stability coefficient of the scarp slope and the angle of its inclination for different methods of analysis.

Material and research results. According to the working draft of the development of this deposit, the slope angle of the working bench should be $\alpha = 30^\circ$. This angle meets the necessary conditions to ensure the stability of the slope. However, in some cases, the value of the slope angle is temporarily not observed due to certain technological reasons (in particular, failure of mining equipment, significant intensity of mining operations, etc.) Such a violation of mining technology and occupational safety rules can lead to the formation of landslides, cave-ins, and landslides. To prevent the occurrence of landslides and avoid their negative consequences, it is necessary to know the safety factor of the bench and the possible collapse surface of the massif.

At present, the normative method for determining the parameters of rock mass stability is the method of graphical constructions (according to G.L. Fisenko) [3]. This method of calculation is based on the Coulomb's equation of limiting equilibrium. After the sliding surface is constructed, the total length of its surface L , and the width of the shear wedge B are determined. Next, the stability is checked by calculating the slope stability coefficient. To do this, a shear wedge is constructed to scale and divided by vertical lines into a certain number of prisms of approximately equal width. At the intersection of the vertical lines with the sliding surface, the weight force of the rock in the block is decomposed into two components: normal N_i and tangential T_i of the block mass. Then, for each prism of possible collapse, the angle δ_i between Q_i and N_i is measured [4].

The normal (retaining) component N_i and the tangential (shear) component T_i of the block mass, tons, are defined as

$$N_i = Q_i \cos \delta_i; \quad T_i = Q_i \sin \delta_i. \quad (1)$$

After that, the area of each S_i block is determined and the mass of rock in each block per 1 running meter along the length of the slope is calculated (b):

$$Q_i = S_i \gamma b, \text{ т.} \quad (2)$$

The stability coefficient of the slope of the bench is calculated by the expression:

$$K_{st} = \frac{\operatorname{tg} \varphi \sum_{i=1}^n N_i + C \cdot L}{\sum_{i=1}^n T_i}, \quad (3)$$

where φ is the angle of internal friction, degree; C is the coefficient of rock adhesion, MPa; L is the total length of the sliding surface, m.

According to the working design of the development, quartz sands of the Sykhivske deposit have the following physical and mechanical properties: bulk density – $\gamma = 1,66 \text{ t/m}^3$; cohesion – $C = 2 \text{ kPa}$; coefficient of loosening – $K_r = 1,32$; natural humidity – $W = 2,83\%$; angle of internal friction – $\varphi = 33^\circ$; porosity coefficient – $e = 0,65$. The height of the working bench is $H = 20 \text{ m}$.

To determine the effect of the slope angle of the working bench on the stability factor, the sliding surfaces of a possible massif collapse for slope angles from 25° to 50° were depicted

in AutoCAD using graphical constructions, and all the necessary parameters were determined. For the given properties of sand, the depth of the sliding surface was $H_{90}=0,44$ m, and the angle between the direction of the main stress and the elementary sliding surfaces was $\mu=28^{\circ}30'$.

According to formula (3), the stability coefficients of the working slope K_{st} were calculated for all studied values of the slope angles of quartz sands (according to the method of G.L. Fisenko).

Similar studies of the influence of the slope angle on the value of the stability coefficient were carried out in the Rocscience Slide software package using the method of limiting equilibrium. For each value of the slope angle, the critical sliding surfaces with the lowest value of the stability coefficient were obtained. The most commonly used analysis methods are Bishop, Janbu, and Spencer.

Based on the results of the calculations in Rocscience Slide and the method of graphical constructions (Table 1), graphical dependences of the change in the stability coefficient of the working bench on the angle of slope of quartz sands at the Sykhivske field were constructed (Figure 1).

Table 1 – Values of the stability coefficient K_{st} for different methods of analysis depending on the angle of slope of the bench α

Escarpment slope angle α , deg	Values of the minimum stability factor K_{st} for different analysis methods			
	Fisenko	Bishop	Janbu	Spencer
25	1,686	1,576	1,540	1,575
30	1,383	1,300	1,267	1,297
35	1,16	1,098	1,066	1,093
40	1,001	0,938	0,908	0,933
45	0,88	0,813	0,783	0,809
50	0,786	0,708	0,678	0,702

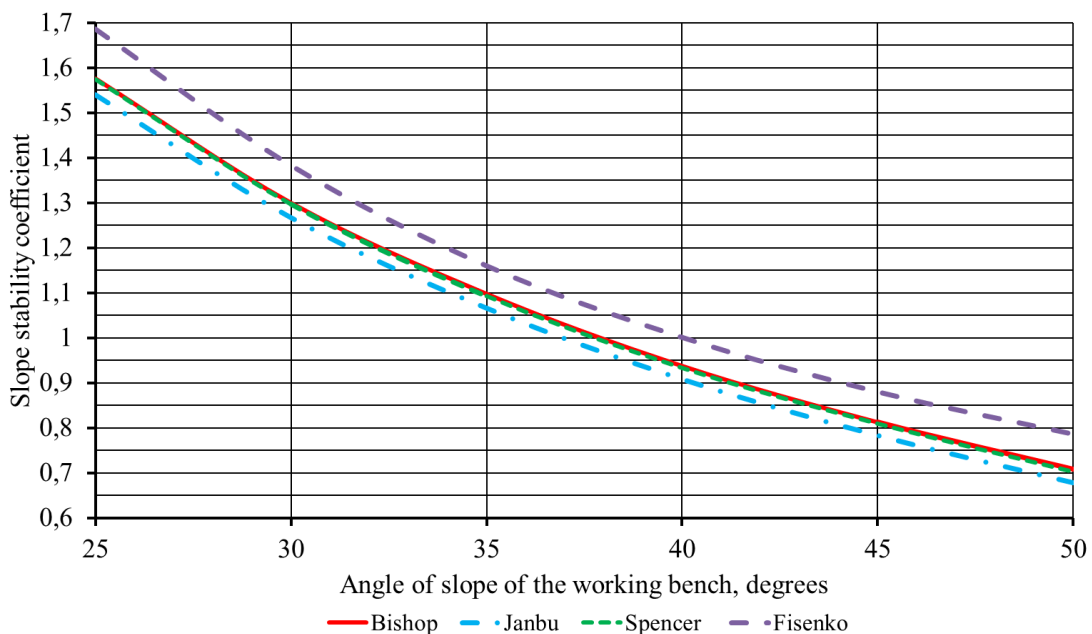


Figure 1 – Values of the slope stability coefficient K_{st} depending on the slope angle of the bench for different analysis methods

Conclusions. The analysis of graphical dependencies shows that the nature of their change is the same for both Slide analysis methods and the normative method of graphical constructions (according to G.L. Fisenko). However, the method of graphical construction provides higher values of the slope stability coefficient than the Slide analysis methods. Compared to the Bishop and Spencer methods, the value of K_{st} is 6...11% higher, compared to Janbu – 9...14% when the slope angle changes from 25° to 50°, respectively. At the same time, according to Bishop and Spencer, the graphs almost coincide, and the Janbu method provides lower results of the stability coefficient values within 2...4%.

References

1. Dzoba M.V., Lytvynchuk I.D., Frolov O. O. Study of the stability of the working bench of quartz sands. *Innovative development of re-source-saving technologies and sustainable use of natural resources: book of Abstracts*. 6nd International Scientific and Technical Internet Conference. Petroșani, 16 November 2023. Petroșani: UNIVERSITAS Publishing 2023. P. 151-154.
2. Dzoba M.V., Fastovshchuk V.M. Analysis of the causes of deformation of slopes in open-pit mine. *Enerhetyka. Ekolohiia. Liudyna: materialy KhV naukovo-tekhnichnoi konferentsii navchalno-naukovoho instytutu enerhozberezhennia ta enerhomenedzhmentu*, m. Kyiv, 16-18 travnia 2023 r. Kyiv: NN IEE, 2023. S. 11-118.
3. Frolov O.O., Dzoba M.V. Vstanovlennia stiikosti ustupu kvartsovykh piskiv na karieri Sykhivskoho rodovyshcha. *Nauk. vydannia derzhavnoho un-tu «Zhytomyrska politekhnikha»*. Tekhnichna inzheneriia. 2023. №2(92). S. 258-267.
4. Dzoba M.V. Chmilenko D.D., Frolov O.O. Vstanovlennia stupeniu stiikosti ustupu kvartsovykh piskiv. *Suchasni problemy hirnytstva ta budivnytstva: tezy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii*, m. Zhytomyr, 23 lystopada 2023 roku. Zhytomyr: Zhytomyrska politekhnikha, 2023. S.22-24.

Scientific advisor: Dr. of Engineering, Prof. Oleksandr Frolov

УДК 622.271

М.В. Дзьоба¹, аспірант
Д.Д. Чміленко¹, студентка
¹Кафедра Геоінженерії
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КУТА УКОСУ УСТУПУ КВАРЦОВОГО ПІСКУ НА КОЕФІЦІЄНТ ЙОГО СТІЙКОСТІ

Анотація: Отримано графічні залежності зміни коефіцієнта стійкості уступу кварцових пісків від кута робочого уступу з використанням нормативного методу графічних побудов і методів граничної рівноваги в Rocscience Slide. Встановлено, що характер зміни графічних залежностей коефіцієнта стійкості робочого уступу від кута укосу однаковий як для методів аналізу в Rocscience Slide, так і для нормативного методу графічних побудов (за Г.Л. Фісенком).

Встановлено відмінності в чисельних значеннях коефіцієнта стійкості укосу, що розраховані методом графічних побудов, зі значеннями, що отримані методами аналізу Bishop, Janbu і Spencer у програмі Slide.

Чисельні значення коефіцієнта стійкості, розраховані за методом графічних побудов, є вищими за методи аналізу в Slide. Зокрема, значення коефіцієнтів стійкості більші на 6...11% порівняно з їхніми значеннями, отриманими методами аналізу Bishop і Spencer і на 9...14% порівняно зі значеннями Janbu за зміни кута укосу з 25 до 50 градусів.

Ключові слова: кар'єр; кварцовий пісок; робочий уступ; поверхня ковзання; коефіцієнт стійкості укосу; метод графічних побудов.

Список використаних джерел

1. Dzoba M.V., Lytvynchuk I.D., Frolov O. O. Study of the stability of the working bench of quartz sands. *Innovative development of re-source-saving technologies and sustainable use of natural resources: book of Abstracts. 6nd International Scientific and Technical Internet Conference. Petroșani, 16 November 2023. Petroșani: UNIVERSITAS Publishing 2023. P. 151-154.*

2. Dzoba M.V., Fastovshchuk V.M. Analysis of the causes of deformation of slopes in open-pit mine. *Енергетика. Екологія. Людина: матеріали XV науково-технічної конференції навчально-наукового інституту енергозбереження та енергоменеджменту, м. Київ, 16-18 травня 2023 р. Київ: НН ІЕЕ, 2023. С. 11-118.*

3. Фролов О.О., Дзьоба М.В. Встановлення стійкості уступу кварцових пісків на кар'єрі Сихівського родовища. *Наук. видання державного ун-ту «Житомирська політехніка». Технічна інженерія. 2023. №2(92). С. 258-267.*

4. Дзьоба М.В., Чміленко Д.Д., Фролов О.О. Встановлення ступеню стійкості уступу кварцових пісків. *Сучасні проблеми гірництва та будівництва: тези Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Житомир, 23 листопада 2023 року. Житомир: Житомирська політехніка, 2023. С.22-24.*

Науковий керівник: докт. техн. наук, професор Фролов О.О.

УДК 624.1

Савченко А.С., студентка
Хімінчук О.М., студентка
Кафедра Геоінженерії
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЛЬ ШТУЧНОГО ЗАМОРОЖУВАННЯ ҐРУНТУ В ЦИВІЛЬНОМУ БУДІВНИЦТВІ

Анотація. Інтеграція технології заморожування ґрунту в сучасні інженерні проекти забезпечує надійність і безпеку при реалізації складних інфраструктурних проектів, особливо у районах з високим рівнем ґрунтових вод або нестабільними ґрунтовими умовами. Використання техніки заморожування ґрунту дозволяє контролювати рух ґрунтових вод, забезпечуючи сухість та стабільність, що є критично важливим для безпеки і ефективності будівельних робіт. Актуальність цього методу в сучасному освоєнні території підкреслюється його екологічною сумісністю і здатністю адаптуватися до складних умов, що робить його незамінним у вирішенні інженерних завдань в умовах підвищеної урбанізації.

Ключові слова: заморожування, стабілізація, екологічні технології, спеціальні методи будівництва, урбанізм, підземний простір.

Вступ. У сучасному цивільному будівництві вирішення проблем, пов'язаних зі стабілізацією ґрунту і контролем рівня ґрунтових вод, стає дедалі важливішим, особливо в умовах підвищеної урбанізації та ускладнених ґрунтових умов. Техніка штучного заморожування ґрунту набуває актуальності завдяки своїй здатності забезпечити надійність і безпеку будівельних проектів, де традиційні методи можуть бути недостатньо ефективними або екологічно небезпечними. Цей метод особливо корисний в районах з високим рівнем ґрунтових вод та нестабільними ґрунтовими умовами, що робить його незамінним у вирішенні інженерних завдань в сучасних містах.

Мета та завдання. Метою є дослідження ролі штучного заморожування ґрунту у цивільному будівництві, аналіз його історичного розвитку, технологічних аспектів та переваг, а також обґрунтування його застосування як ефективного та екологічного методу стабілізації ґрунтів. Дослідження підкреслює важливість цього методу в сучасних інфраструктурних проектах і показує, як він може бути використаний для підвищення безпеки та ефективності будівельних робіт в умовах складної геологічної обстановки. Наукова новизна полягає у комплексному підході до аналізу штучного заморожування ґрунту як сучасного методу в цивільному будівництві. Досліджуються новітні технологічні розробки та їх вплив на ефективність і безпеку будівельних робіт. Крім того, зроблено аналіз різних методів заморожування ґрунту, їхніх переваг та недоліків, а також розглядаються екологічні аспекти застосування цієї технології. Це дозволяє сформулювати цілісне уявлення про можливості та перспективи штучного заморожування ґрунту у вирішенні сучасних інженерних завдань. Завдання дослідження включають:

- оцінку ефективності техніки заморожування ґрунту в умовах різних геологічних обстановок;
- аналіз історичних випадків застосування цієї технології у будівництві;
- розробку рекомендацій щодо оптимальних методів та умов застосування заморожування ґрунту;

– дослідження екологічних аспектів застосування технології заморожування ґрунту.

– порівняння економічної ефективності різних методів стабілізації ґрунтів, включаючи заморожування.

Матеріал і результати досліджень. Техніка заморожування ґрунту – це метод, який використовується в цивільному будівництві для стабілізації ґрунту та запобігання проникненню води в землю під час будівництва. Ця техніка передбачає зниження температури ґрунту нижче точки замерзання води, що призводить до утворення непроникної крижаної стіни навколо ділянки, що викопується. Цей метод в основному використовується в районах, де звичайні методи зневоднення не є ефективними або здійсненними.

Вперше схожі технології були застосовані в Сибірі та Китаї. Природним способом виморожували ґрунти для відкопування колодязів і котлованів, цей метод носив назву «поморожування». У будівельній сфері цей метод почав застосовуватися лише в 18 столітті коли французький інженер Анрі Дюбуа використав замерзання ґрунту для будівництва тунелю під річку Сена в Парижі [1-2], в той час як в гірничій сфері цей метод набув популярності коли німецький маркшейдер Г.Петш уперше використав спосіб штучного замороження ґрунтів для кріплення стовбура шахти який заходився в водонасиченому ґрунті. На початку 20-го століття заморожування ґрунту також використовувалося при будівництві системи метро Нью-Йорка. Відтоді та дотепер цей спосіб є невід’ємною частиною розвитку будівельних технологій людства, оскільки за допомогою нього побудовані: шахти, кар’єри, тунелі, резервуари для зберігання. Зважаючи на виклики нашого часу актуальним прикладом є будівництво бомбосховищ, за цією технологією. Проводячи паралель з історією, а конкретно з Другою світовою війною можна згадати та додати до цього списку будівництво сховищ артилерійських снарядів та інших військових об’єктів. Його також використовують як тимчасовий засіб для створення стін навколо глибоких інженерних виробок в складних умовах. Попри всю тяжкість та об’єм роботи який необхідний аби реалізувати цей метод, в своїй технології він являється досить простим. Для цього навколо контуру майбутньої виробки в один або декілька рядів буряться свердловини і обладнують їх заморожувальними колонками якими циркулює холодоносій [3]. Це приводить до утворення стовпчиків які постійно розширюються (вода змінюючи свій агрегатний стан з рідкого в твердий стан і розширюється приблизно на 9% [2]) поки не утворять собою стінку з льоду, яка захищає виробку від водяних проривів протягом виконання робіт. У загальному випадку штучне заморожування ґрунтів передбачає такі роботи:

- буріння свердловин,
- монтаж заморожувальної станції й мережі,
- створення кригоґрунтової стінки (активне заморожування),
- підтримання цієї стінки в мерзломому стані в період виконання будівельних робіт (пасивне заморожування),
- період заморожених ґрунтів.

Прикладом холодоносіїв можна взяти дві сполуки CaCl_2 (кальцій хлорид)- його типова температура циркуляції від -15 до -27 °C, час заморожування від тижня до місяця, повільна швидкість замерзання та з спеціалізованого обладнання йому необхідна мобільна холодильна установка. LN_2 (рідинний азот)- його точка кипіння -196 °C, час заморожування від кількох днів до кількох тижнів, велика швидкість замерзання ґрунтових вод, з обладнання спеціальні резервуари для рідкого азоту або резервуари Дьюара [4].

Заморожування ґрунту — це техніка, яка використовується для створення твердого і непроникного бар'єру навколо будівельних майданчиків шляхом контрольованого заморожування ґрунту. Найефективніше цей метод застосовується в районах вічної мерзлоти- полярних і субполярних регіонах світу, де ґрунт промерзає на значну глибину, стандартні методи будівництва стають неможливими. Заморожування ґрунту стає практичним та економічно ефективним рішенням для виїмки мерзлої землі, запобігаючи при цьому шкоді природному середовищу. Ділянки з високим рівнем ґрунтових вод- колодязі та системи колодязів, коли земля заморожена, вода в ній замерзає утворюючи суху ділянку яка являється безпечною для проведення будівельних робіт. Дрібнозернисті ґрунти- такі як глина та мул, мають низьку проникність і можуть бути складними для зневоднення. В таких умовах можна використовувати промерзання ґрунту для зменшення проникності ґрунту та створення непроникного бар'єру. Також найефективніше цей метод застосовується для: потоків ґрунтових вод під високим тиском, глибоких виїмок, зберігання небезпечних матеріалів. Заморожування ґрунту дозволяє створити замерзлий бар'єр, який ізолює шкідливі речовини від навколишнього середовища, запобігаючи їхньому поширенню і впливу на екосистему. Такий підхід мінімізує потребу в хімічних агентах для очищення або інших потенційно шкідливих технологіях, знижуючи екологічний відбиток будівельних проектів. Застосування цієї техніки може значно підвищити безпеку і знизити витрати на будівництво, особливо в складних умовах та в умовах щільної забудови.

Висновок. Заморожування ґрунту виступає як ефективний і багатофункціональний спосіб стабілізації ґрунту у різноманітних будівельних і інженерних проектах. Заснований на принципах термодинаміки, цей метод надає багато переваг, включаючи збільшення міцності ґрунту, зменшення його проникності та зниження витрат на земляні роботи. Він застосовується у таких сферах, як тунельне будівництво, стабілізація фундаментів, освоєння підземного простору міст. З розвитком технологій, метод заморожування ґрунту продовжує удосконалюватись, стаючи все більш цінним варіантом для проектів, які вимагають стабілізації ґрунту. Все це робить заморожування ґрунту надійним і ефективним рішенням для будь-яких проектних потреб.

Список використаних джерел

1. Бойко В. В., Ган А. Л., Ган О. В. Спеціальні вибухові технології в геоінженерії: монографія. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022, 316 с. ISSN 978-617-518-542-7 URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49097> (дата звернення: 13.05.2024).
2. Andersland, O. and Ladanyi, B. Frozen Ground Engineering, 2nd ed., Wiley and Sons, Hoboken, NJ. 2004.
3. Заморожування ґрунтів – Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Заморожування_ґрунтів (дата звернення: 13.05.2024).
4. Klein, J. FAQs for Brine Freezing of Shafts. <https://mail.geoengineer.org/education/ground-improvement/ground-freezing/brine-freezing-of-shafts-faqs> (дата звернення: 13.05.2024).

Науковий керівник: к.т.н., ст.викл. О.В. Ган

UDC 624.1

Savchenko A.S., student
Khiminchuk O.M., student
Department of Geoengineering
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

THE ROLE OF ARTIFICIAL SOIL FREEZING IN CIVIL ENGINEERING

Abstract. *The integration of soil freezing technology into modern engineering projects ensures reliability and safety in the implementation of complex infrastructure projects, especially in areas with high groundwater levels or unstable soil conditions. The use of soil freezing techniques allows you to control the movement of groundwater, ensuring dryness and stability, which is critical for the safety and efficiency of construction work. The relevance of this method in the modern development of the territory is emphasized by its environmental compatibility and ability to adapt to difficult conditions, which makes it indispensable in solving engineering problems in conditions of increased urbanization.*

Keywords: *freezing, stabilization, environmental technologies, special construction methods, urbanism, underground space.*

References

1. Boyko V.V., Han A.L., Han O.V. Special Explosive Technologies in Geoengineering: Monograph. Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2022. 316 p. ISBN 978-617-518-542-7. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49097> (date of access: 13.05.2024).
2. Andersland, O. and Ladanyi, B. Frozen Ground Engineering, 2nd ed., Wiley and Sons, Hoboken, NJ. 2004.
3. Ground freezing – Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Ground_freezing (date of access: 13.05.2024).
4. Klein, J. FAQs for Brine Freezing of Shafts. <https://mail.geoengineer.org/education/ground-improvement/ground-freezing/brine-freezing-of-shafts-faqs> (date of access: 13.05.2024).

Scientific supervisor: Ph.D., Senior Lecturer Olena Han

УДК 624.15

Болотюк Н.С., студентка
Кафедра Геоінженерії
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВПЛИВ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПЕРЕКРИТТЯ ПІДЗЕМНОЇ СПОРУДИ

Анотація. Під час повномасштабного вторгнення на територію України для всіх громадян постало питання безпеки. Звісно, що надійним та доступним місцем для збереження людського життя та здоров'я є станції метрополітену глибокого закладання. В програмі SCAD змодельовано деформування перекриття підземної захисної споруди в залежності від глибини її занурення, що складає один метр.

Ключові слова: Динамічні навантаження, вплив, перекриття, захисна підземна споруда, комбінація навантажень, плита.

Вступ. Вплив динамічних навантажень на перекриття підземних споруд є важливим, оскільки підземні конструкції піддаються впливу різних типів динамічних навантажень, значення яких, напрям або місце прикладання швидко змінюються з часом.

Навантаження і впливи на будівлі і споруди, що відрізняються від традиційних (об'єкти атомної енергетики, мости, гідротехнічні споруди, опори ПЛ високої напруги і портали ОРП, теплиці та оранжереї тощо), а також ті, що мають спеціальне походження (сейсмічні, хвильові, від транспортних засобів тощо) треба визначати за спеціальними технічними умовами і нормами, які доповнюють та уточнюють положення цих норм [1].

Навантаження та впливи поділяються на механічні та немеханічної природи, які призводять до зниження несучої здатності і експлуатаційної придатності конструкцій.

Прийнята класифікація навантажень забезпечує можливість розрахунку будівельних конструкцій з урахуванням необхідних розрахункових ситуацій та граничних станів [1-2].

Залежно від причин виникнення навантаження і впливи поділяються на основні та епізодичні; від змінюваності у часі: на постійні та змінні; від тривалості неперервної дії: на тривалі, короткочасні та епізодичні.

До постійних навантажень відносять вагу частин споруд, у тому числі вагу несучих та огорожувальних конструкцій; вагу та тиск ґрунтів (насіпів, засипок), гірничий тиск.

Розглянемо епізодичні навантаження:

- а) сейсмічні впливи;
- б) вибухові впливи;
- в) навантаження, викликані різкими порушеннями технологічного процесу, тимчасовою несправністю чи руйнуванням обладнання;
- г) впливи, обумовлені деформаціями основи, які супроводжуються докорінною зміною структури ґрунту (при замочуванні просадкових ґрунтів) або його осіданням у районах гірничих виробок і в карстових районах [1-2].

Характеристичні і розрахункові значення епізодичних навантажень визначаються спеціальними нормативними документами.

Динамічні навантаження можуть значно впливати на стан і надійність підземних споруд. Ретельний аналіз та відповідні інженерні заходи є ключовими для забезпечення їхньої безпеки та довговічності.

Мета і завдання досліджень. Дослідити та проаналізувати вплив динамічних навантажень на перекриття захисної підземної споруди.

Матеріал і результати досліджень. В [3] отримали показник комбінації заданих навантажень (рис. 1), а саме, що для плити товщиною 450 мм краща буде марка бетону В45 й переміщення при заданій комбінації навантажень найменше і складає 0,007 мм, а для плити перекриття товщиною 1200 мм маркою бетону В15 переміщення при заданій комбінації навантажень складе 0,001 мм.

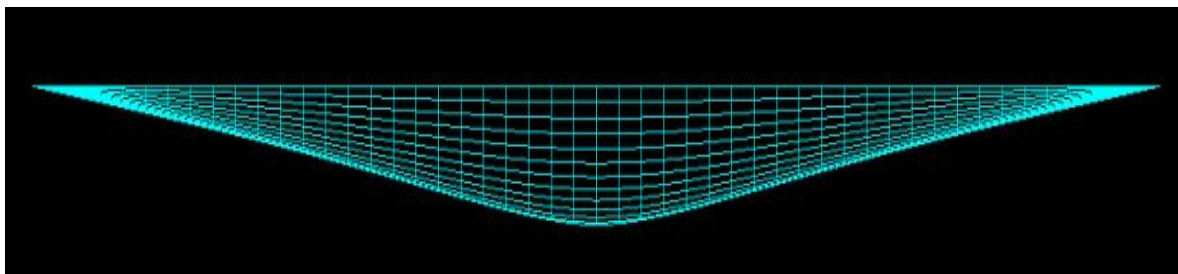


Рисунок 1 – Деформаційна схема при комбінації заданих навантажень

У програмі SCAD ми спроектували плиту перекриття підземної захисної споруди площею 11,6 м², товщиною 450 мм та маркою бетону В45. Навантажували перекриття власною вагою плити, вагою ґрунту та особливим навантаженням. Опускаючи плиту під поверхню землі на один, три та п'ять метрів отримали такі результати (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати переміщень від комбінацій заданих навантажень

Глибина залягання плити, м	Навантаження від ґрунту, кН/м ²	Переміщення, мм
1	20,9	0,109
3	62,7	0,312
5	103,03	0,51

За результатами дослідження можемо зазначити, що найкраща глибина залягання плити буде один метр. Оскільки переміщення від комбінації заданих навантажень 0,109 мм.

Висновки. Для покращення результатів дослідження можемо використати арматуру, оскільки бетон добре працює на стискання, але слабкий на розтягнення. Арматура, розташована в зонах розтягнення, бере на себе ці навантаження, запобігаючи появі та поширенню тріщини. Завдяки її використанню, залізобетонна конструкція матиме більшу міцність. За будівельними та економічними показниками плита товщиною 450 мм буде дешевшою та швидкою у встановленні, через менший об'єм бетону та арматури, а плита товщиною 1200 мм – менш економічною, через більшу кількість матеріалів, роботи та додатковий час на набір міцності.

Список використаних джерел

1. ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи. Норми проектування.
2. Бучок Ю. Ф. Будівельні конструкції. Основи розрахунку : підручник. Київ : Вища школа, 1994. 447 с.
3. Болотюк Н. С., Вапнічна В. В. Модель впливу особливих навантажень на перекриття підземної споруди. *Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні проблеми гірництва та будівництва»*. Житомир : Житомирська політехніка,

2023. С. 82-84. <https://conf.ztu.edu.ua/suchasni-problemy-hirnytstva-ta-budivnytstva-tezy-vseukrayinskoyi-naukovo-praktychnoyi-konferentsiyi-23-lystopada-2023-roku/> (дата звернення 21.05.2024)

Науковий керівник: канд. техн. наук, доцент Вапнічна В.В.

UDC 624.15

Bolotyuk N.S., student
Department of Geoengineering
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

INFLUENCE OF DYNAMIC LOADS ON THE FLOOR OF AN UNDERGROUND STRUCTURE

Abstract. *During the full-scale invasion of the territory of Ukraine, the question of security arose for all citizens. Of course, underground subway stations are a reliable and affordable place to save human life and health. In the SCAD program, the deformation of the floor of the underground protective structure is simulated depending on the depth of its immersion, which is one meter.*

Keywords: *Dynamic loads, impact, overlap, protective underground structure, combination of loads, slab.*

References

1. DBN V.1.2-2:2006 Navantazhennya i vplyvy. Normy proektuvannya.
2. Buchok YU. F. Budivel'ni konstruktsiyi. Osnovy rozrakhunku : pidruchnyk. Kyiv : Vyshcha shkola, 1994. 447 s.
3. N. S. Bolotyuk, V. V. Vapnichna. Model of the influence of special loads on the floor of an underground structure. *Abstracts of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Modern Problems of Mining and Construction"*. Zhytomyr : Zhytomyr Polytechnic, 2023. P. 82-84. <https://conf.ztu.edu.ua/suchasni-problemy-hirnyctva-ta-budivnytstva-tezy-vseukrayinskoyi-naukovo-praktychnoyi-konferentsiyi-23-lystopada-2023-roku/> (date of access: 21.05.2024)

Scientific supervisor: Cand.Tech.Sc., Associate professor Viktoriia Vapnichna

UDC 622.271

I.D. Lytvynchuk¹, PhD StudentN.S. Sagalo¹, student¹Department of Geoengineering
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

THE IMPACT OF THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF GRAVEL-SAND MASS OF FLUVIOGLACIAL DEPOSITS ON THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF THE RIPPER

Abstract: *The results of scientific research to establish the influence of the granulometric composition of fluvioglacial sediments on the productivity of bulldozer loosener for the conditions of the quarry are presented.*

It is noted that it is impossible to take into account the granulometric composition of rocks in the natural state when calculating the loosening productivity.

It is offered, at definition of productivity of ripping equipment, to take into account granulometric composition of sand-gravel mass in its natural state through certain components of already existing formulas.

For the existing natural and technological conditions of fluvioglacial deposits development at Sosnovsky quarry and characteristics of the applied working equipment the productivity of ripping for different values of the average weighted size of a piece of rock was determined. It is established that at changing the piece size from 5 to 400 mm the productivity of bulldozer loosener decreases from 583,33 to 308,54 m³/h, i.e. 1,9 times.

Key words: *mechanical loosening of rocks, bulldozer loosener, gravel-sand mass, fluvioglacial deposits.*

Introduction. At the Sosnivske granite deposit quarry, fluvioglacial deposits are located on the overburden bench, and the rock mass in certain areas of the overburden contains 40-80% gravel and boulders [1, 2]. The excavation and loading equipment of the quarry is technically unable to handle the development of the sand-gravel-boulder mass. During preparation for extraction using drilling and blasting methods, the drill rods become jammed in the rock mass, making it impossible to drill blast holes. Based on the analysis of the current state of mining operations, the technical characteristics of the existing equipment, and the existing technological schemes for developing gravel-sand deposits, a technology for developing fluvioglacial deposits using a bulldozer-excavator-truck equipment complex with preliminary mechanical loosening of the rock by a bulldozer-ripper has been proposed [3]. Therefore, determining the productivity of loosening fluvioglacial deposits depending on their granulometric composition is a relevant scientific and technical task. Solving this task will allow for identifying the effective application area of the proposed equipment complex.

Purpose and objectives. The purpose of the research is to study the influence of the granulometric composition of fluvioglacial deposits on the productivity of the bulldozer-excavator.

The task of the research is to establish the regularities of change in the productivity of the bulldozer-excavator from the granulometric composition of sand and gravel mass at the open-pit mine.

Material and results of the research. The advantages of mechanical loosening include: high cost-effectiveness; safety in execution of works; absence of seismic impact on the rock mass and structures; the ability to adjust the fragmentation of the rock mass; high maneuverability and mobility of the loosening equipment in restricted working conditions.

Among the disadvantages of their use, it should be noted the impossibility and/or inefficiency of their application for preparing weakly fractured and massive rocky formations for extraction.

The analysis of existing formulas for determining the productivity of a ripper shows that, in most cases, they are identical and take into account the main parameters of the loosening process. However, when loosening such a rock mass as fluvioglacial deposits, it is also necessary to consider their granulometric composition, which can significantly affect the productivity of the ripper.

The most comprehensive consideration of the rock mass condition is reflected in the following formula:

$$Q_p = \frac{3600C_o h_e k_B}{\frac{1}{v_p} + \frac{\tau}{L}}, \text{ m}^3/\text{hr}, \quad (1)$$

where C_o – optimal distance between adjacent ripper passes, m; h_e – depth of effective, m; k_B – ripper using coefficient ($k_B=0,7\dots0,8$); v_p – technical speed of the ripper ($v_p=0,9\dots1,5$), m/s; τ – time for the ripper to move to the next furrow (for turn-based operation $\tau = 30-60$), s; L – length of the parallel loosening run, m.

According to the recommendations of prof. Korobiyshchuk V.V. et al. [4], the optimal distance between adjacent ripper passes can be determined by the formula:

$$C_o = \frac{k_1 h_z}{\text{tg}\alpha} + \frac{b}{2}, \text{ m}, \quad (2)$$

where k_1 – coefficient that considers the shape of the cross-section of the furrow ($k_1 = h_{ch}/h_z$, де h_{ch} – height of the formed fissure, m); h_z – maximum depth of the ripper tooth penetration, m; α – angle of inclination of the lateral walls of the cut, in degs; b – width of the cut base, m.

Effective loosening depth at optimum distance between bulldozer loosener passes

$$h_e = \frac{C_o \text{tg}\alpha}{2k_2}, \text{ m}, \quad (3)$$

where k_2 – coefficient that considers the condition of the rock formation regarding the size of the undisturbed ridges during parallel passes.

Considering the scientific and practical experience in studying and developing fluvioglacial deposits, as well as the recommendations of renowned scientists, it is proposed to take into account the granulometric composition of the gravel-sand mass through numerical values of k_2 . In this case, the numerical values of k_2 will not depend on the values of the coefficient k_1 , as it was before, but will characterize the average weighted size of the fractions of the fluvioglacial deposit massif. The table provides the proposed values of k_2 and the width of the cut base b , depending on the predominant fraction and the average weighted size of the rock fragment.

Considering the rock formation conditions and the parameters of the working area of the Sosnivske granite deposit quarry, the DP-22C ripper with the T-180KS tractor as its base has been selected, with the following characteristics: engine power – 132,4 (180) kW (hp); maximum traction force – 164 kN; speed in km/h: forward – 12,0, reverse – 7,5; tooth mounting: hinged; distance between tooth axes – 800 mm; number of teeth – 1-3 (selected 1);

maximum tooth penetration – 550 mm; width of the ripper tip – $b_1=0,1$ m; ripper utilization coefficient assumed as $k_B=0,8$.

Table 1 – Values of k_2 coefficient depending on the granulometric composition of the gravel-sand mass

Pregominant fractions of fluvioglacial deposits	Average weighted size of rock fragment, mm	k_2	b , m
Cemented fine-, medium-, and coarse-grained sands	0,005...5	0,80	$3b_1$
Крупнозернистий пісок з мілким та середнім гравієм	5...40	0,85	$2,5b_1$
Sands including all fractions of gravel	40...100	0,90	$2b_1$
Gravelly-sandy mass with inclusion of small boulders	100...200	0,95	$1,5b_1$
Gravel-sand mass containing all types of boulders	200...400 and more	1,00	b_1

According to the classification based on the degree of loosening, fluvioglacial deposits belong to easily loosened materials. Therefore, we assume an average angle of inclination of the furrow walls $\alpha = 55^\circ$, a technical speed of $v_p = 1,2$ m/s (70-80% of the tractor's speed in first gear), and a possible tooth penetration according to the technical characteristics of the ripper $h_3 = 0,55$ m.

Taking into account the dimensions of the working area of the open-pit overburden bench, we assume a length of the parallel loosening run to be $L = 140$ m. The time for the ripper to move to the next furrow is $\tau = 60$ s.

Given that fluvioglacial deposits belong to easily loosened rock formations, they can be tentatively classified as moderately fractured, and the value of k_1 , which takes into account the shape of the furrow, is equal to $k_1 = 1$

For the above parameters of fluvioglacial deposits at the Sosnivske quarry and the characteristics of the working equipment, the productivity of the ripper has been calculated for various values of the fractional composition of the gravel-sand mass. According to the obtained data, a graphical representation of the change in ripper productivity as a function of the average weighted size of the gravel-sand mass fragment has been constructed (fig. 1).

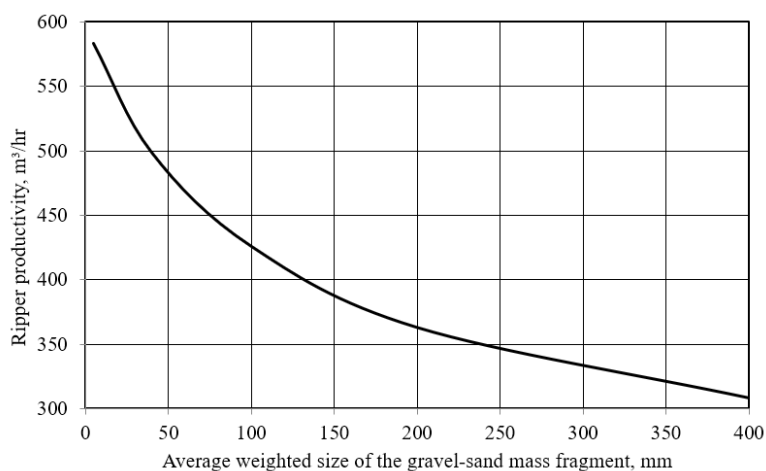


Figure 1 – Dependence of the ripper productivity on the fractional composition of the gravel-sand mass of fluvioglacial deposits

Conclusions. The analysis of the obtained data shows that, with a change in the fragment size from 5 to 400 mm (from cemented fine-, medium-, and coarse-grained sands to boulders), the ripper productivity decreases from 583,33 to 308,54 m³/hr, which is 1,9 times less. For the investigated area of the Sosnivske quarry, where the average weighted size of the gravel-sand-boulder mass fragment is 171 mm, the ripper productivity, according to the figure, will approximately be 370 m³/hour.

References

1. Lytvynchuk I.D., Frolov O.O. Problemy vyimannia fliuviohliatsialnykh vidkladiv na rozkryvnykh ustupakh rodovyshch skelnykh budivelnykh porid. *Perspektyvy rozvytku hirnychoi spravy ta ratsionalnoho vykorystannia pryrodnykh resursiv: tezy VIII Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh.* m. Zhytomyr, 21-22 zhovtnia 2021 r. Zhytomyr: Zhytomyrska politekhnik, 2021. S. 65-69.
2. Frolov A. A. Establishment of regularities of fluvio-glacial deposits and problems of their extraction in the development of rock deposits of building materials. *Prospects for developing resource-saving technologies in mineral mining and processing: multi-authored monograph* / A.A. Frolov, N.I. Zhukova, I.D. Lytvynchuk, M.I. Beltek, V.R. Lukomskyi. Petrosani, Romania: Universitas Publishing, 2022, pp. 606-63.
3. Lytvynchuk I.D., Frolov O.O. Obhruntuvannia buldozerno-ekskavatorno-avtomobilnoho kompleksu dlia zniattia rozkryvnoho sharu fliuviohliatsialnykh vidkladiv v umovakh Sosnivskoho rodovyshcha hranitiv. *Naukovo-tekhnichnyi zhurnal «HEOINZhENERIIa».* 2022. Vyp.7. S. 83-93.
4. Vyimalno-navantazhuvalni roboty na karierakh: navchalnyi posibnyk / V.V. Korobiichuk ta in. Zhytomyr: ZhDTU, 2017. 440 s..

Scientific advisor: Dr. of Engineering, Prof. Oleksandr Frolov

УДК 622.271

І.Д. Литвинчук¹, аспірант
Н.С. Сагало¹, студентка III курсу
¹Кафедра Геоінженерії
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВПЛИВ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ГРАВІЙНО-ПІЩАНОЇ МАСИ ФЛЮВІОГЛЯЦІАЛЬНИХ ВІДКЛАДІВ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОЗПУШУВАЧА

Анотація: Наведено результати наукових досліджень зі встановлення впливу гранулометричного складу флювіогляціалних відкладів на продуктивність бульдозер-розпушувача для умов кар'єру.

Відзначено, що при розрахунку продуктивності розпушування неможливо врахувати гранулометричний склад порід в природному стані.

Запропоновано, при визначенні продуктивності розпушувального обладнання, враховувати гранулометричний склад піщано-гравійної маси в її природньому стані через певні складові вже існуючих формул.

Для існуючих природних і технологічних умов розробки флювіогляціалних відкладів на Соснівському кар'єрі та характеристик застосовуваного робочого обладнання визначено продуктивність розпушення для різних значень середньозваженого розміру шматка породи. Встановлено, що при зміні розміру середньозваженого шматка з 5 до 400 мм продуктивність розпушувача зменшується з 583,33 до 308,54 м³/год, тобто у 1,9 рази.

Ключові слова: механічне розпушування гірських порід, бульдозер-розпушувач, гравійно-піщана маса, флювіогляціалні відклади.

Список використаних джерел

1. Литвинчук І.Д., Фролов О.О. Проблеми виймання флювіогляціалних відкладів на розкривних уступах родовищ скельних будівельних порід. *Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів: тези VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених.* м. Житомир, 21-22 жовтня 2021 року. Житомир: Житомирська політехніка, 2021. С. 65-69.

2. Frolov A. A. Establishment of regularities of fluvioglacial deposits and problems of their extraction in the development of rock deposits of building materials. *Prospects for developing resource-saving technologies in mineral mining and processing: multi-authored monograph* / A.A. Frolov, N.I. Zhukova, I.D. Lytvynchuk, M.I. Beltek, V.R. Lukomskyi. Petrosani, Romania: Universitas Publishing, 2022, pp. 606-63.

3. Литвинчук І.Д., Фролов О.О. Обґрунтування бульдозерно-екскаваторно-автомобільного комплексу для зняття розкривного шару флювіогляціалних відкладів в умовах Соснівського родовища гранітів. *Науково-технічний журнал «ГЕОІНЖЕНЕРІЯ».* 2022. Вип.7. С. 83-93.

4. Виймально-навантажувальні роботи на кар'єрах: навчальний посібник / В.В. Коробійчук та ін. Житомир: ЖДТУ, 2017. 440 с.

Науковий керівник: докт. техн. наук, професор Фролов О.О.

УДК 624.012.4:693

Іванюк В.В., студентка
Кафедра Геоінженерії
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СПОРУДИ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. У сучасних умовах зростання урбанізації та підвищеної техногенної небезпеки питання забезпечення надійного захисту населення набуває особливої актуальності. Споруди подвійного призначення, які можуть використовуватися як за основним функціональним призначенням, так і для укриття населення у випадках надзвичайних ситуацій, стають важливим елементом інфраструктури безпеки. Їхня здатність забезпечувати захист під час військових конфліктів, природних катастроф або техногенних аварій робить такі споруди незамінними у містобудівному плануванні та цивільному захисті.

Ключові слова: споруди подвійного призначення, безпека, захист населення, надзвичайні ситуації, ефективність використання ресурсів, сталий розвиток, мультифункціональність, цивільне та військове призначення, ефективне використання простору

Вступ. Вчені прогнозують, що у найближчі десятиліття роль споруд подвійного призначення лише зростатиме. Вони стануть ключовими елементами в стратегіях урядів для адаптації до кліматичних змін, технологічного розвитку та зростання міського населення. Завдяки інтеграції новітніх технологій, таких як штучний інтелект та "розумні" матеріали, ці споруди будуть ще більш ефективними і багатофункціональними, забезпечуючи високий рівень безпеки та комфорту для населення.

Мета і завдання досліджень. Метою є дослідження ролі споруд подвійного призначення в сучасному містобудуванні та цивільному захисті, аналіз функціонального призначення, методів будівництва та експлуатації, а також обґрунтування необхідності інтеграції таких споруд у проєктування та розвиток міської інфраструктури. Дослідження має на меті показати, як споруди подвійного призначення можуть підвищити рівень безпеки населення в умовах різних загроз і надзвичайних ситуацій. Завданням досліджень споруд подвійного призначення є розробка та впровадження ефективних, безпечних і стійких будівельних рішень, здатних виконувати кілька функцій одночасно. Основні напрямки цих досліджень включають: підвищення безпеки та захисту населення під час надзвичайних ситуацій, таких як природні катастрофи, терористичні атаки та військові конфлікти, зокрема шляхом розробки конструкцій, які можна швидко перетворити на захисні споруди; оптимізацію використання фінансових та матеріальних ресурсів через створення багатофункціональних будівель і аналіз витрат і вигод від їх впровадження; розробку екологічно дружніх технологій і матеріалів, що знижують вплив на навколишнє середовище, та інтеграцію відновлюваних джерел енергії; підвищення соціальної стійкості через вивчення впливу таких споруд на соціальну динаміку та розробку стратегій для підвищення готовності населення до їх використання в надзвичайних ситуаціях; впровадження новітніх технологій, таких як штучний інтелект, "розумні" матеріали та системи моніторингу для підвищення ефективності і безпеки споруд, а також інноваційних методів будівництва; інтеграцію споруд подвійного призначення у міське планування, враховуючи естетичні, функціональні та безпекові аспекти. Загалом, ці дослідження спрямовані на створення

більш стійких, ефективних і безпечних будівель, які можуть адаптуватися до викликів сучасного світу.

Результати досліджень. Результати досліджень включають розробку нових багатофункціональних конструкцій, покращення нормативної бази, економічні та екологічні вигоди, підвищення соціальної готовності та міжнародне співробітництво. Нові стандарти і нормативи інтегруються у державну політику та міське планування. Впроваджуються енергоефективні та екологічно дружні технології. Підвищується готовність громад до надзвичайних ситуацій, проводяться інформаційні кампанії для підвищення обізнаності населення. Міжнародне співробітництво сприяє обміну досвідом і технологіями, залученню фінансової та технічної допомоги для реалізації проектів. Загалом, ці дослідження сприяють створенню стійких, ефективних і безпечних будівель, адаптованих до викликів сучасного світу.

Споруда подвійного призначення - це наземна або підземна споруда, що може бути використана за основним функціональним призначенням і для захисту населення. Це можуть бути підземний простір метрополітену, підземні паркінги, підземні переходи, об'єкти будівництва. **Потреби в захисних спорудах:** Під час визначення потреб враховується радіус пішохідної доступності та технічний стан наявних захисних споруд (споруд подвійного призначення), а також в особливий період наявність найпростіших укриттів. Місця розміщення об'єктів фонду захисних споруд повинні забезпечувати можливість швидкого доступу до них населення (працівників) з найвіддаленішого місця їх розташування з урахуванням радіуса пішохідної доступності до таких об'єктів, який приймається не більше ніж: 300 метрів - для багатоповерхової забудови, забудови підвищеної поверховості та висотної забудови, а також для суб'єктів господарювання, віднесених до відповідних категорій цивільного захисту; 500 метрів - для середньоповерхової та малоповерхової забудови. **Створення фонду захисних споруд здійснюється шляхом:** Реалізації положень розділів (схем) інженерно-технічних заходів цивільного захисту містобудівної та проектної документації об'єктів будівництва у частині будівництва (приспособлення) захисних споруд та споруд подвійного призначення з обов'язковим взяттям на облік завершених будівництвом сховищ, протирадіаційних укриттів, споруд подвійного призначення; Комплексного освоєння підземного простору міст та інших населених пунктів для розміщення в ньому споруд соціально-побутового, виробничого та господарського призначення, що можуть бути використані для укриття населення як споруди подвійного призначення та найпростіші укриття; Взяття на облік як споруд подвійного призначення та найпростіших укриттів об'єктів іншого призначення, які експлуатуються, зокрема підземних і наземних будівель і споруд, гірських та інших виробків і підземних порожнин; Прискореного будівництва, створення та облаштування об'єктів фонду захисних споруд в умовах особливого періоду та воєнного стану; Завчасного придбання (виготовлення) та утримання захисних споруд, зокрема блок-модульного типу, відповідно до ДСТУ 9195:2022. Для встановлення можливості використання для укриття населення як споруд подвійного призначення та найпростіших укриттів підлягають огляду, а у разі потреби - технічному обстеженню в порядку, визначеному Кабінетом Міністрів України: підземні переходи між станціями (транспортні, станції метрополітену); тунелі (станції метрополітену, автодорожні, магістральні, пішохідні); підземні склади; споруди котлованного типу (автостоянки, паркінги, гаражі, підземні торговельні центри, підприємства громадського харчування, магазини); колишні оборонні об'єкти та бази; підземні гірські виробки, печери та інші підземні порожнини різного призначення; підвальні та цокольні поверхи об'єктів цивільного і промислового призначення; інші об'єкти, що за своїми технічними характеристиками та захисними властивостями

можуть бути використані для укриття населення. **Вимоги щодо утримання та експлуатації захисних споруд:** Балансоутримувач забезпечує утримання захисних споруд та інших споруд, що повинні використовуватися для укриття населення, а також підтримання їх у стані, необхідному для приведення у готовність до використання за призначенням відповідно до вимог щодо утримання та експлуатації захисних споруд. Конкретний строк приведення захисної споруди в готовність до використання за призначенням (крім споруд, що відповідно до законодавства повинні перебувати в постійній готовності) зазначається в паспорті захисної споруди, а саме: не більше 12 годин - для захисних споруд, призначених для укриття працівників (персоналу, найбільшої працюючої зміни) суб'єктів господарювання, віднесених до відповідних категорій цивільного захисту; не більше 24 годин - для інших захисних споруд, споруд подвійного призначення та найпростіших укриттів. Здійснення контролю за готовністю захисних споруд цивільного захисту до використання за призначенням забезпечує ДСНС разом з відповідними центральними органами виконавчої влади, місцевими держадміністраціями та органами місцевого самоврядування відповідно до вимог законодавства [1]. **Вентиляція у спорудах подвійного призначення:** Рішення 1. Механічна припливна вентиляція з догріванням повітря + витяжна вентиляція (рис.1). Цей варіант оптимальний у таких випадках: при обмеженому бюджеті на систему вентиляції та наявності резервних потужностей для нагрівання повітря; при постійному використанні приміщення (в режимі тривоги); при підтриманні системою опалення мінімально допустимої температури внутрішнього повітря та необхідності додаткового догрівання приміщення. Перевагою такої системи вентиляції є простота монтажу та експлуатації. Її можна використовувати як стаціонарну з доукомплектуванням додатковими елементами (охолодження) при облаштуванні підвальних приміщень для цілорічного використання.



Рисунок 1 – Приклад механічної припливної вентиляції з догріванням повітря та витяжна вентиляція

До недоліків системи можна віднести порівняно велике споживання енергії на нагрівання зовнішнього повітря. Такий варіант системи може бути реалізований на базі припливних установок ВЕНТС МПА...Е та ВЕНТС ВПА із вбудованою автоматикою та витяжного вентилятора ВЕНТС ВКПФ, що працює синхронно з «приточкою».

Для зниження рівня шуму до нормативних параметрів та запобігання передаванню вібрації по повітропроводах передбачено установлення шумоглушників та гнучких вставок. Для запобігання мимовільному перетіканню повітря при вимкненому обладнанні може використовуватися клапан з електроприводом на припливній системі та зворотний клапан – на витяжній.

Повітрязбір та викидання повітря здійснюються повітропроводами, розміщеними на фасадах будівлі. Прокладання повітропроводів передбачене відкритим способом. Розподіл та видалення повітря може здійснюватися за допомогою дворядних регульованих решіток серії ДР, що дозволяє відрегулювати напрямок роздавання та витрати повітря.

Рішення 2. Припливно-витяжна система з рекуперацією тепла та догріванням повітря (рис.2). Таке рішення є дорожчим у реалізації, але водночас набагато економічнішим в експлуатаційних витратах. Тому його доцільно використовувати у разі постійної експлуатації приміщень. Ця система містить вбудовану автоматикою і завдяки рекуперації тепла створює менше навантаження на мережі енергопостачання. Система вентиляції може бути реалізована на базі припливно-витяжної установки з рекуперацією тепла ВЕНТС ВУТ/ВУЕ ПБЕ ЄС.



Рисунок 2 – Приклад припливно-витяжної система з рекуперацією тепла та догріванням повітря

Для зниження рівня шуму до нормативних параметрів та запобігання передаванню вібрації по повітропроводах передбачено встановлення шумоглушників та гнучких вставок. Для запобігання мимовільному перетіканню повітря при вимкненому обладнанні може використовуватися клапан з електроприводом на припливній системі та зворотний клапан – на витяжній.

Повітрозабір та викидання повітря можуть проводитися з використанням однорядних металевих решіток серії МВМК. Прокладання повітропроводів передбачене відкритим способом. Краще використовувати повітропроводи круглого перерізу, які мають деякі переваги перед прямокутними. Розподіл та видалення повітря передбачені за допомогою пластикових дифузorzів серії МВ...ПФ. При їх використанні доцільно ставити дросель-клапани на кожен розподільник повітря, що дозволить відрегулювати систему на робочі параметри [2].

Захисні властивості ПРУ та споруд подвійного призначення із захисними властивостями ПРУ передбачають зменшення впливу таких прогнозованих небезпечних чинників (факторів): дії іонізуючого випромінювання від радіоактивного забруднення місцевості, води та повітря, шляхом забезпечення нормативного коефіцієнту послаблення радіаційного впливу (коефіцієнта захисту); дії повітряної ударної хвилі від побічної дії зброї масового ураження з розрахунковим надмірним тиском; дії повітряної ударної хвилі при застосуванні звичайних засобів ураження; побічної дії звичайних засобів ураження; проникнення уламками засобів звичайного ураження; дії високих температур та продуктів горіння при пожежах. Перелік та необхідні мінімальні розрахункові параметри захисних властивостей сховищ, ПРУ та СПП із захисними властивостями відповідних захисних споруд визначаються залежно від їх класу (групи), що обирається відповідно до додатка А ДБН В.2.2-5:2023 залежно від місцезнаходження об'єкта будівництва. Не допускається розташовувати захисні споруди та споруди подвійного призначення:

Під виробничими та складськими приміщеннями, в яких розташовано резервуари з шкідливими рідинами, печі з розтопленими металами або іншими речовинами, руйнування яких може призвести к викиду таких речовин і ураження ними людей, що перебувають у захисних спорудах; У приміщеннях, в яких є магістральні та інші транзитні тепло- та водопроводи, якщо немає можливості двостороннього їх відключення, а також вводи електричної енергії високої напруги; На схилах, не захищених від зсувів або інших небезпечних геологічних процесів (ерозія, селеві потоки тощо), а також на територіях з виробками; Не ближче за нормативну протипожежну відстань відповідно до вимог ДБН Б.2.2-12, ДСТУ 9058, але не ближче ніж 30 м від сховищ або складів з горючими речовинами та матеріалами. При цьому повинні передбачатись заходи щодо захисту сховища та підходів до нього від затоплення горючою речовиною або матеріалами; Ближче відстаней, що забезпечують стійкість захисних споруд до надлишкового тиску вибуху: ємностей з вибухонебезпечними речовинами; складів зі зберіганням вибухових матеріалів. У захисних спорудах та спорудах подвійного призначення передбачаються основні та допоміжні приміщення. До основних належать приміщення, в яких передбачається тривале знаходження людей, насамперед: приміщення для населення, яке переховується, пункти керування, медпункти, а у сховищах лікувальних установ – також операційно-перев'язочні, передопераційно-стерилізаційні. До допоміжних належать приміщення, тривале перебування людей у яких не передбачається, зокрема: фільтровентиляційні приміщення (ФВП), санітарні вузли, захищені дизельні електростанції (ДЕС), електрощитові, приміщення для зберігання продовольства, станція перекачки, балонна, тамбур-шлюз, тамбури, а для сховищ атомних станцій – приміщення для дозиметричного контролю, роздягальня та приміщення для брудного одягу, душова тощо [3]. Екологічні вимоги до розміщення, проектування, будівництва, реконструкції, введення в дію та експлуатації підприємств, споруд та інших об'єктів [4] регламентуються ст. 51 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища». Окрім перелічених випадків, вона також стосується для удосконалення існуючих і впровадження нових технологічних

процесів та устаткування. Обов'язково повинні передбачатися вловлювання, утилізація, знешкодження шкідливих речовин і відходів або повна їх ліквідація, виконання інших вимог щодо охорони навколишнього природного середовища і здоров'я людей. Під час проведення екологічної оцінки беруться до уваги: екологічна ємкість території; стан навколишнього природного середовища в місці, де планується розміщення об'єктів; екологічні прогнози; перспективи соціально-економічного розвитку регіону; потужність та види сукупного впливу шкідливих факторів та об'єктів на навколишнє природне середовище.

Висновки. Підсумовуючи зміст тези, можна зробити висновок, що споруди подвійного призначення мають значну важливість як у світі, так і в Україні. Вони забезпечують безпеку та захист населення в умовах надзвичайних ситуацій, таких як природні катастрофи, терористичні атаки та військові конфлікти. Крім того, такі споруди є економічно доцільними, оскільки дозволяють ефективніше використовувати ресурси, поєднуючи кілька функцій в одному об'єкті. В умовах глобальних викликів і загроз, вони сприяють екологічній стійкості та зменшенню екологічного впливу. В Україні, з огляду на геополітичну ситуацію та необхідність модернізації інфраструктури, ці споруди стають особливо актуальними. Вони допомагають підвищити соціальну стійкість і забезпечити громаді можливість швидко реагувати на надзвичайні ситуації. Для досягнення максимальних переваг від споруд подвійного призначення, необхідно інтегрувати їх у державну політику, підвищити обізнаність громадськості та бізнесу, а також активно співпрацювати з міжнародними організаціями для обміну досвідом і залучення ресурсів.

Список використаних джерел

1. Деякі питання використання захисних споруд цивільного захисту. Порядок створення, утримання фонду захисних споруд цивільного захисту, виключення таких споруд із фонду та ведення його обліку. Постанова Каб. Міністрів України від 10.03.2017р. № 138. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/138-2017-%D0%BF#Text> (дата звернення: 14.05.2024)
2. «Вентиляція у спорудах подвійного призначення». URL: <https://ukrblog.vents.ua/articles/ukryttya-potrebuyut-system-ventylyatsiji.html> (дата звернення: 14.05.2024)
3. «Проектування захисних споруд». URL: <https://shieldfire.com.ua/proektuvannya-zahysnyh-sporud/> (дата звернення: 14.05.2024)
4. Амбросова Г.М. «Екологічні вимоги до проектування, будівництва, реконструкції, введення в дію та експлуатації підприємств, споруд і об'єктів». URL: <https://ecologiya.com.ua/articles/478093-ekolohichni-vymohy-do-proyektuvannya-budivnytstva-rekonstruktsiyi-vvedennya-v-diyu> (дата звернення: 14.05.2024)

Науковий керівник: к.т.н., ст.викл. О.В. Ган

UDC 624.012.4:693

Ivaniuk V.V., student
Department of Geoengineering
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

DUAL-PURPOSE BUILDINGS

Abstract. *In the modern context of growing urbanization and increased technological hazards, the issue of providing reliable protection for the population has become particularly relevant. Dual-purpose buildings, which can be used both for their primary functional purpose and as shelters for the population in emergency situations, are becoming an essential element of security infrastructure. Their ability to provide protection during military conflicts, natural disasters, or technological accidents makes such structures indispensable in urban planning and civil protection.*

Keywords: *Dual-purpose buildings, safety, population protection, emergency situations, resource efficiency, sustainable development, multifunctionality, civil and military purposes, natural disasters, efficient use of space.*

References

1. The procedure for creation and maintenance of the fund of protective structures of civil protection, exclusion of such structures from the fund and keeping its records. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/138-2017-%D0%BF#Text> (date of access: 14.05.2024)
2. Ventilation in dual purpose buildings. URL: <https://ukrblog.vents.ua/articles/ukryttya-potrebuyut-system-ventylyatsiji.html> (date of access: 14.05.2024)
3. Design of protective structures. URL: <https://shieldfire.com.ua/proektuvannya-zahysnyh-sporud/> (date of access: 14.05.2024)
4. Ambrosova Anna. Environmental requirements for the design, construction, reconstruction, commissioning and operation of enterprises, structures and facilities. URL: <https://ecologiya.com.ua/articles/478093-ekolohichni-vymohy-do-proyektuvannya-budivnytstva-rekonstruktsiyi-vvedennya-v-diyu> (date of access: 05/14/2024)

Scientific supervisor: Ph.D., Senior Lecturer Olena Han

УДК 624.012.4:693.546

Татарин А.О.¹, студент,
Корсун Т.О.¹, студент
¹Кафедра Геоінженерії
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПЕРСПЕКТИВИ ТА МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ 3D ДРУКУ В БУДІВНИЦТВІ

Анотація. В сучасному світі технологія 3D друку в будівництві стає дедалі актуальнішою, оскільки вона відкриває нові можливості для покращення будівельних процесів. Ця інноваційна технологія дозволяє виготовляти будівельні конструкції, такі як стіни та фундаменти, швидше та ефективніше. Крім того, вона може бути більш екологічною, оскільки сприяє зменшенню відходів матеріалів та енергії, що використовуються у будівництві. У роботі розглядається потенціал 3D друку в будівництві, його переваги та недоліки, а також можливість застосування цієї технології для створення міцних та ефективних будівельних конструкцій у майбутньому.

Ключові слова: 3D друк в будівництві, житлове будівництво, ефективність будівництва, екологічність, складні архітектурні форми, швидкість та якість будівництва, вартість будівництва, перспективи 3D друку.

Вступ. Прогноз вчених про розвиток демографічної ситуації в найближчі 20 років вказує на бурхливе зростання населення планети. Це може стати серйозним випробуванням для урядів багатьох країн в забезпеченні комфортних умов життя, особливо житлом. За даними ООН, до 2030 року близько 4 млрд. осіб з малозабезпечених верств населення будуть мати гостру потребу в житлі. Найбільш вірогідним шляхом вирішення наростаючої проблеми, стверджують фахівці – стане застосування 3D технологій у будівництві, таких як будівельні принтери.

Мета і завдання досліджень. Дослідити та проаналізувати можливості та переваги використання 3D технологій у будівництві з метою вирішення наростаючої проблеми дефіциту житла в умовах бурхливого зростання населення планети. Щоб виконати поставлену мету, необхідно розглянути такі завдання для дослідження:

- провести аналіз сучасного стану 3D технологій у будівництві та їхніх можливостей для масштабного виробництва житла;
- вивчити позитивний вплив застосування 3D технологій на вартість будівництва, швидкість зведення та якість житлових об'єктів;
- дослідити можливості використання 3D технологій для будівництва доступного та екологічного житла для малозабезпечених верств населення;
- оцінити перспективи та виклики, пов'язані із впровадженням 3D технологій у будівництві на рівні країни та міжнародному рівні;

Матеріал і результати досліджень. Одна з основних переваг 3D-друку в будівництві – його швидкість та ефективність. Традиційні методи будівництва можуть потребувати значну кількість часу та ресурсів, але завдяки 3D-друку цей процес значно прискорюється. За допомогою спеціальних 3D-принтерів можна швидко виготовляти будівельні елементи, які відповідають точним параметрам та вимогам проекту [1].

Застосування 3D-друку також започатковує можливості для зниження вартості будівництва. Використовуючи та удосконалюючи цю технологію можна економити на

матеріалах, зокрема шляхом утилізації відходів та використання відновлюваних ресурсів. Крім того, є потенціал для зменшення витрат на оплату праці, оскільки багато процесів може бути автоматизовано, а роботи, які раніше виконувалися вручну, здійснюватимуться принтерами [2].

Найважливішою перевагою використання 3D-друку в будівництві є гнучкість та можливість створювати складні архітектурні форми й дизайн. Завдяки цій технології, будівлі можуть набувати неповторних форм із застосуванням структур, які раніше було складно або навіть неможливо реалізувати. Окрім цього, використовуючи нову технологію, з'являється можливість для архітекторів створювати нестандартну нерухомість, яка відповідатиме індивідуальним потребам замовників та втілюватиме найсміливіші творчі ідеї у реальність [2].

В Україні вже розпочали перший проєкт будівництва за допомогою технології 3D-принтера – це будівництво навчального закладу у Львові з корпусом для першокласників школи № 23 (рис. 1-2). Те, що вже побудовано, було надруковано всього за 48 годин і ця фаза будівництва буде завершена протягом двох тижнів [3].

В порівнянні з Україною в світі вже доволі давно практикують будівництво завдяки 3D-друку. Наприклад, у серпні минулого року компанія WinSun (Китай) офіційно заявила про наймасштабніший на сьогоднішній день проєкт житлового будівництва з використанням 3D технологій. В компанії запевняють, що китайські будівельні принтери протягом п'яти років «надрукують» півтора мільйона житлових будинків в Саудівській Аравії [3].

Компанія WASP (Італія) розробила і випробувала найбільший, на даний період, будівельний принтер. Агрегат – металева конструкція заввишки 12 м, шириною 6 м, в центральній частині якої встановлено «друкуючий» екструдер – пристрій, який змішує і завдає пластичну масу, шар за шаром зводячи каркас будівлі. У недавньому минулому за допомогою унікального принтера вдалося «надрукувати» невелике приміщення, яке використовується як укриття [3].



Рисунок 1 – Процес будівництва школи за новою технологією 3D принтера

В даний час розробники найбільшого 3D принтера планують його застосовувати лише при будівництві найпростіших будівель, таких, наприклад, як будинки для мігрантів або людей, які постраждали від стихійного лиха.

В ОАЕ (Дубай) за допомогою принтера завершено будівництво офісної будівлі, де не тільки каркас, а й оздоблення інтер'єру виконано із застосуванням 3D технологій. Період будівництва склав 17 днів, а вартість становить \$ 140 тисяч. У новій будівлі розміститься компанія, яка його «надрукувала», що, на думку адміністрації, буде одним із символів майбутнього Дубая [3].

Під керівництвом вчених Технічного університету Ейндховена (Нідерланди) розроблений тривимірний будівельний принтер, здатний «друкувати» деталі розміром з

горошину. Фінансування проекту 3DCP здійснюється десятима компаніями і становить 650 тис. євро. Розробники стверджують, що унікальність принтера в тому, що, завдяки поворотній друкуючій голівці, можна створювати об'єкти будь-якої форми, обмежуючись лише габаритами: $11 \times 5 \times 4$ м. Розробники 3DCP планують приділити увагу демонстрації свого дітища і роботі з будівельниками з метою найбільш ефективного його практичного застосування [3].

Використовуючи такі технології як 3D-друк, досягається висока якість та точність при виготовленні будівельних елементів. Це забезпечує стійкість та надійність будівель, підвищується рівень енергоефективності та оптимального використання ресурсів. Створюються більш ефективні системи утеплення, вентиляції та освітлення, що сприяє збереженню енергії та зниженню екологічного впливу будівлі на навколишнє середовище [2].



Рисунок 2 – Будівництво школи за новою технологією 3D принтера

Один з перспективних напрямків використання передових технологій у будівництві – створення житлових просторів у важкодоступних або аварійних зонах. 3D-друк дозволяє застосувати транспортабельні конструктивні системи, які можуть бути використані для розміщення людей у кризових ситуаціях, наприклад, після природних катастроф або в умовах військових конфліктів [2].

Звичайно, для сфери будівництва це нові можливості у створенні сталого та екологічно чистого житлового простору. Однак, разом з усіма перевагами 3D-друку в будівництві, існують і виклики, які потрібно враховувати. Наприклад, потрібно розробляти стандарти та правила, які регулюватимуть використання такого процесу в будівництві, щоб забезпечити безпеку, якість та довговічність будівель. Також потрібно вирішувати питання сертифікації будівель і конструкцій, зведених за допомогою 3D-друку [2].

Ця інноваційна технологія дозволяє забудовникам створювати унікальні та ефективні будівлі, зменшувати вартість та вплив на довкілля, а також прискорювати будівельні процеси. Запровадження 3D-друку в будівництво вимагає співпраці між дослідниками, інженерами, архітекторами та забудовниками, що відкриває безліч можливостей та перспектив для сталого розвитку галузі.

Висновки. Прогноз розвитку демографічної ситуації вказує на потребу в ефективних стратегіях забезпечення житлом для мільярдів людей. Використання 3D технологій у будівництві виявляється перспективним рішенням. Дана технологія прискорює будівельні процеси, знижує вартість та забезпечує високу якість житла. Проте важливо вирішувати виклики, такі як розробка стандартів і сертифікація конструкцій. Тим не менш, ці технології відкривають шлях для сталого розвитку будівельної галузі та покращення умов життя.

Список використаних джерел

1. Застосування 3D-друку в будівництві: перспективи та можливості. *BUDUEMO*. URL: https://buduemo.com/ua/news/ecomaterials_technologies/3d-printing-in-construction.html (дата звернення: 19.05.2024).
2. Використання 3D-друку в будівництві: можливості та перспективи. *Інтернет-видання «Полтавщина»*. URL: <https://blog.poltava.to/atlant/16536/> (дата звернення: 19.05.2024).
3. Про застосування 3d технологій у будівництві. *zodchie*. URL: <http://www.n-zodchie.com/ua/articles/pro-zastosuvannya-3d-tehnologiy-u-budivnytstvi.html>. (дата звернення: 19.05.2024).
4. Будівництво за три тижні: у Львові школу друкують на 3D-принтері. URL: https://www.youtube.com/watch?v=TOPPWIR7d4&ab_channel=RFI%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%BE%D1%8E (дата звернення: 19.05.2024).

Науковий керівник: канд. техн. наук, доцент Вапнічна В.В.

UDK 624.012.4:693.546

Tataryn A.O.¹, student,Korsun T.O.¹, student¹Department of Geoengineering
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

PROSPECTS AND POSSIBILITIES OF APPLICATION OF 3D PRINTING IN CONSTRUCTION

Abstract. *In today's world, 3D printing technology in construction is becoming more and more relevant, as it opens up new opportunities for improving construction processes. This innovative technology allows building structures such as walls and foundations to be manufactured faster and more efficiently. In addition, it can be more environmentally friendly, as it helps to reduce the waste of materials and energy used in construction. The work considers the potential of 3D printing in construction, its advantages and disadvantages, as well as the possibility of using this technology to create strong and efficient building structures in the future.*

Keywords: *3D printing in construction, residential construction, construction efficiency, environmental friendliness, complex architectural forms, speed and quality of construction, construction cost, prospects of 3D printing.*

References

1. Application of 3D printing in construction: prospects and opportunities.. *BUDUEMO*. URL: https://buduemo.com/ua/news/ecomaterials_technologies/3d-printing-in-construction.html (date of access: 19.05.2024).
2. Use of 3D printing in construction: possibilities and prospects. Internet publication "Poltavshchyna". URL: <https://blog.poltava.to/atlant/16536/> (date of access: 19.05.2024).
3. On the application of 3d technologies in construction. *zodchie*. URL: <http://www.n-zodchie.com/ua/articles/pro-zastosuvannya-3d-tehnologiy-u-budivnytstvi.html>. (date of access: 19.05.2024).
4. Construction in three weeks: a school is being printed on a 3D printer in Lviv. URL: https://www.youtube.com/watch?v=TOPPWIR7d4&ab_channel=RFI%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%BE%D1%8E (date of access: 19.05.2024).

Scientific supervisor: Cand.Tech.Sc., associate professor Viktoriia Vapnichna

UDC 622.271

M.I. Beltek¹, Phd studentN.A. Evpak¹, student¹Department of Geoengineering
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

RESULTS OF MODELING THE EXPLOSION OF A BOREHOLE CHARGE IN A FRACTURED ROCK MASSIF IN ANSYS AUTODYN

Abstract: *The expediency of using Ansys Autodyn software package for modeling the action of a borehole explosive charge explosion in a naturally disturbed rock massif is substantiated. Computer modeling of dynamic destruction of rock massif by explosion is carried out to determine the volume and size of the zone, which is disturbed by the action of a borehole charge explosion, at different values of the strength reduction factor.*

The graphical dependence of change of kinetic energy of explosion in time for different values of strength of naturally disturbed rock massif is established. Calculations show that the kinetic energy of the explosion action is generally exhausted within 1.0...1.5 ms.

The fracture zone for the massif with full strength is obtained and the character of its distribution is established.

Keywords: *Ansys Autodyn; fracture zone; borehole charge; naturally disturbed rock massif; strength index; degree of massif disturbance.*

Introduction. The action of detonation of a borehole explosive charge in a naturally disturbed rock massif is characterized by the complexity of the dynamic fracture process. Numerical modeling of such explosive rapid processes is recommended in order to gain more knowledge about complex physical phenomena that cannot be obtained by experimental research methods. Problems of high-speed dynamic impact, penetrating action of explosion and other nonstationary phenomena with high strain rates are usually solved using an explicit approach to the equations of continuum mechanics.

Purpose and Objectives. The purpose of the presented article is to study the possibility of modeling the action of the explosion of a borehole explosive charge in a fractured rock massif in the Ansys Autodyn software package.

The task of the study is to establish the relationship between the overall strength of the rock massif and the result of the action of the explosion of a borehole charge in it.

Material and results of the study. Ansys Autodyn is a modeling tool for solving problems of significant deformation or fracture of materials that has multiple models to represent complex physical phenomena such as fluid, solid, and gas interactions, material phase transitions, and shock wave propagation. The main features of the program allow it to be used to predict fragmentation in rock explosions. The combined use of Eulerian and Lagrangian reference frames in ANSYS AUTODYN software is particularly useful for modeling explosive fields [1].

The Eulerian reference frame is best suited for representing explosive detonations because the material flows through a geometrically constant mesh that can easily handle the large deformations associated with gas and fluid flows. Rocks are modeled using a Lagrangian reference frame, which is best suited for fragmented solids because the mesh moves with the material and allows realistic deformation and collapse. These two reference frames are coupled in the ANSYS AUTODYN program so that energy is easily transferred between them to accurately simulate the entire explosion process. A compelling feature of ANSYS AUTODYN

is the inclusion of these features in the 3D simulation, making the program the only logical choice for modeling and analyzing rock blasting.

To determine the volume and size of the zone, which was formed by the action of the explosion of the borehole charge, at different values of the strength reduction factor, computer modeling of the dynamic destruction of the rock massif by explosion was carried out. To compare the simulation results, 10 models were analyzed, in which the strength characteristics were changed with the strength reduction factor K_{sp} [2], with a step of 0,1 of the initial strength.

The model configuration as well as the location of the observation points are shown in Fig. 1.

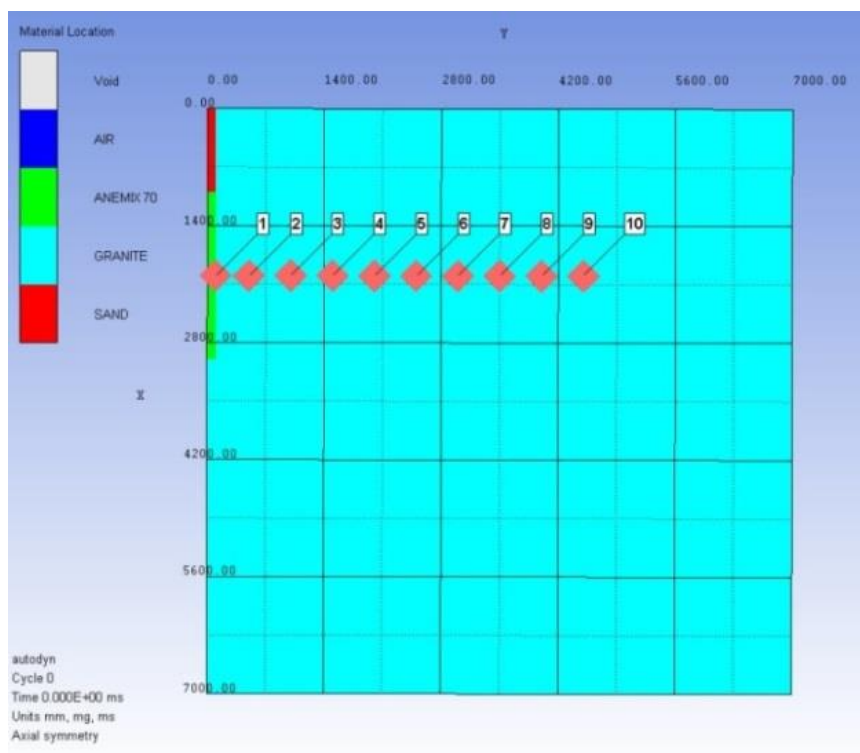


Figure 1 – Model configuration and location of observation points

The monitoring points were added to the model to determine the time variation of parameters such as pressure and rock fracture. All monitoring points are located on the same horizontal line in the middle of the explosive charge. Point 1 is located at the boundary between the explosive charge and the rock mass and is intended to determine the change in pressure of the explosion gases over time, points 2-10 are located every 0,5 m, their task is to observe the degree of destruction of the massif.

Calculations show that the kinetic energy of the explosive charge is exhausted in 1,0...1,5 ms (Fig. 2). However, under the action of accumulated loads and inertia, the massif continues to deform in some places and to undergo greater crack propagation.

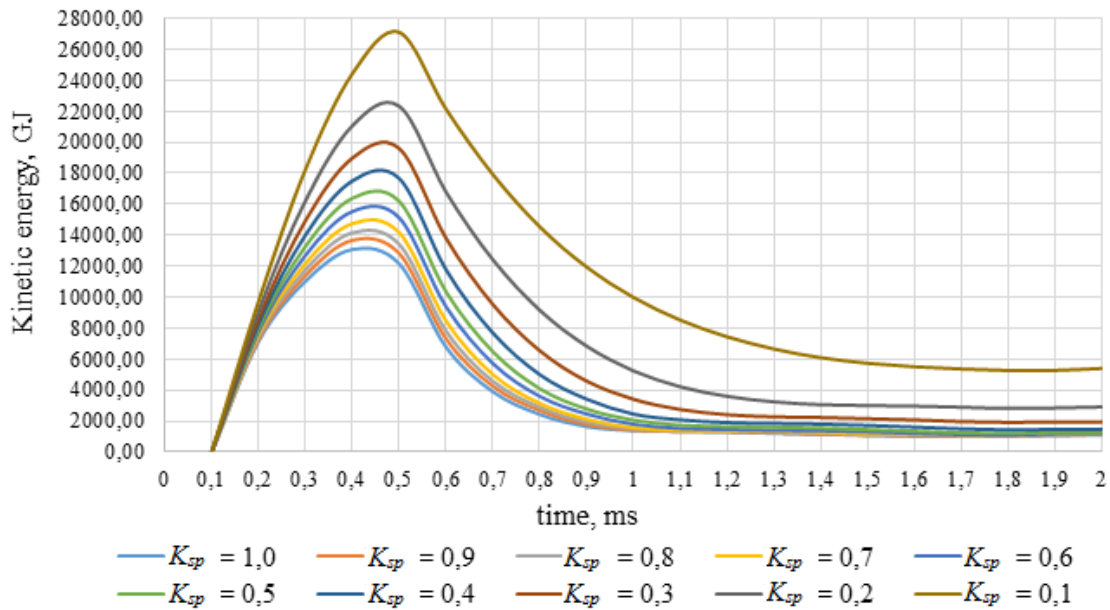


Figure 2 – Variation of kinetic energy in time

As a result of modeling, the character of fracture distribution for the array with full strength was obtained (Fig. 3).

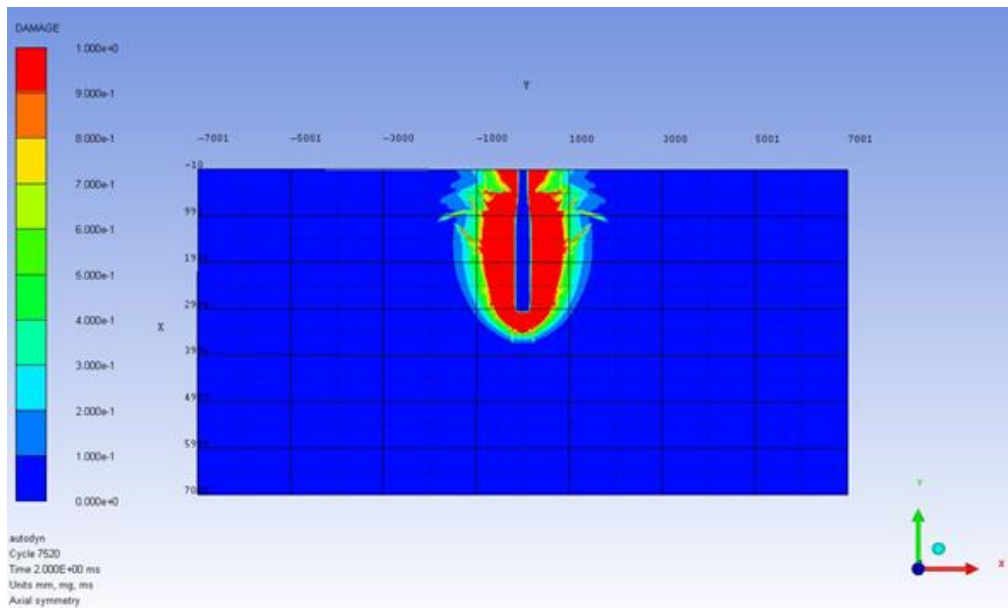


Figure 3 – Fracture diagram of a rock massif that has full strength

The fracture results make it possible to conclude that the volumes and radii of fracture zones increase with decreasing strength.

The conducted theoretical studies have shown that the explosive fracture of rocks is significantly affected by the fracturing of the rock massif. To confirm the effectiveness of the proposed method of assessing the explosive destruction of naturally disturbed rock massifs, experimental studies are required. When conducting them, it is necessary to take into account the characteristics of explosives and properties of disturbed rock massifs.

References

1. Hryshanova I. A., Zghurovska L. P., Kyrychuk Yu. V. Rozviazok zadach proiektuvannia pryladiv ta system z vykorystanniam ANSYS i MATHCAD: pidruchnyk. Kyiv: Vyd-vo «Politekhnik» KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2022. 180 s.
2. Beltek M.I. Yevpak N.A., Frolov O.O. Doslidzhennia zminy mitsnosti skelnoho hirskoho masyvu zalezho vid stupeniu yoho trishchynuvatosti. Suchasni problemy hirnytstva ta budivnytstva: tezy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii, m. Zhytomyr, 23 lystopada 2023 roku. Zhytomyr: Zhytomyrska politekhnik, 2023. S.13-15.

Scientific advisor: Dr. of Engineering, Prof. Oleksandr Frolov

УДК 622.271

М.І. Бельтек¹, аспірант
Н.А. Євпак¹, магістрант
¹Кафедра Геоінженерії
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ВИБУХУ СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ У ТРИЩИНУВАТОМУ МАСИВІ ГІРСЬКИХ ПОРІД В ANSYS AUTODYN

Анотація: Обґрунтована доцільність застосування програмного комплексу Ansys Autodyn для моделювання дії вибуху свердловинного заряду вибухової речовини в природно порушеному масиві гірських порід. Проведено комп'ютерне моделювання динамічного руйнування масиву гірських порід вибухом для визначення об'єму і розмірів зони, яка порушена дією вибуху свердловинного заряду, за різних значень коефіцієнту зниження міцності.

Встановлена графічна залежність зміни кінетичної енергії вибуху в часі для різних значень міцності природно порушеного гірського масиву. Розрахунки показують, що кінетична енергія дії вибуху в даних умовах в цілому вичерпується впродовж 1,0...1,5 мс.

Отримана зона руйнування для масиву з повною міцністю та встановлено характер її розподілу.

Ключові слова: Ansys Autodyn; зона руйнування; свердловинний заряд; природно порушений гірський масив; показник міцності; ступінь порушеності масиву.

Список використаних джерел

1. Гришанова І. А., Згуровська Л. П., Киричук Ю. В. Розв'язок задач проектування приладів та систем з використанням ANSYS і MATHCAD: підручник. Київ: Вид-во «Політехніка» КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 180 с.

2. Бельтек М.І. Євпак Н.А., Фролов О.О. Дослідження зміни міцності скельного гірського масиву залежно від ступеню його тріщинуватості. *Сучасні проблеми гірництва та будівництва*: тези Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Житомир, 23 листопада 2023 року. Житомир: Житомирська політехніка, 2023. С.13-15.

Науковий керівник: докт. техн. наук, професор Фролов О.О.

СЕКЦІЯ 4.
ОХОРОНА ПРАЦІ, ПРОМИСЛОВА ТА
ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

УДК 621.3 – 331.4

Kozlov D.E., student
Department of Renewable Energy Sources
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

SAFETY PRECAUTIONS FOR WIND TURBINE WORKERS

Abstract. *The article examines the occupational risks faced by workers who maintain wind farms and turbines, emphasizing the importance of safety measures to protect them. Various emergency situations are described, such as fires, equipment malfunctions, mechanical damage, lightning discharges, and control system failures. The importance of comprehensive risk assessment, education and training on wind turbine safety is emphasized. Advice provided includes using proper fall protection equipment, maintaining heavy machinery, monitoring weather conditions, implementing fire safety measures, ensuring electrical safety, and establishing clear communication protocols. The conclusion emphasizes that safety is a collective responsibility of employers and employees. Following these safety rules can help protect workers, reduce workplace accidents, and ensure optimal operation of wind turbines.*

Key words: *workers safety, safety precautions, wind turbine, safety, security, process of life, environment.*

Introduction. Workers who maintain wind farms, and wind turbines in particular, are exposed to significant hazards during their work. This is mainly since the work is carried out at high altitudes, in different weather conditions at different workplaces.

The main emergencies during the maintenance and operation of wind turbines are:

- Fires.
- Equipment emergencies.
- Mechanical damage.
- Lightning discharges.
- Malfunctions in the control system.

Analysis of the question.

There are many reasons why these accidents can occur. Among them is the fact that wind turbines are in open areas, which means they are constantly exposed to wind, ice, snow, and lightning. In addition, it should not be forgotten that the principle of operation of such power plants is the transformation of mechanical energy into electrical energy, i.e. the rotor is constantly rotating, which can cause mechanical damage over time.

Objective. Develop a set of tips for ensuring safe work of wind turbines employees.

Material and results. A thorough risk assessment should be carried out prior to any construction or dismantling of wind turbines. Identify potential hazards, prioritize risks and develop a safety plan. The risk assessment will allow you to identify hazards and assess the risks associated with the project. By identifying the hazards, you can take steps to eliminate or control them, which will help keep workers safe.

Education and training are the cornerstone of wind turbine safety. Workers involved in wind turbine operations must undergo comprehensive and certified on-site training to understand the intricacies of turbine components, emergency protocols and hazard recognition. Certification programs ensure that workers have the necessary skills to effectively solve problems.

Falls are the leading cause of injuries in the wind energy industry. To prevent falls, workers must be provided with proper fall protection equipment, such as harnesses and slings,

and trained in their proper use. In addition, guardrails, safety nets and other fall protection systems should be installed at heights where there is a risk of falling.

Heavy machinery is a common hazard during the construction and demolition of wind turbines, which is why it is important to ensure that all equipment is properly maintained. Regular inspections, testing and maintenance of equipment can help identify and correct any issues before they become a problem.

Weather conditions have a significant impact on the operation of wind turbines. Monitoring weather forecasts and having well-developed evacuation plans in place in case conditions change rapidly are important to prevent accidents during adverse weather events.

Fire hazards are a reality in the wind industry due to electrical components and the presence of lubricants inside turbines.

Proper fire extinguishing systems and well-developed emergency response plans can minimize the danger of potential fires.

Electricity is another serious hazard during the construction and dismantling of wind turbines. To protect workers from the risk of electric shock, employers should ensure that all electrical equipment is properly grounded, and that electrical panels, switches, and wiring are in good condition. They should also implement lockout/tagout procedures to prevent equipment from being accidentally started during maintenance or repair. In addition, employees should be trained in electrical safety procedures and the proper use of electrical equipment. By implementing electrical safety measures, employers can help reduce the risk of electrical shock and fire.

Clear communication is essential for safety on any construction site, especially when working with heavy machinery. Radios, signaling systems, and standardized communication protocols contribute to a safe work environment. Employers should establish clear communication protocols, such as hand signals, so that workers can communicate effectively with each other and with equipment operators. This will help prevent accidents and injuries caused by miscommunication.

Conclusion. In the wind energy industry, safety is not a choice, it is a duty. Wind turbines are extremely complex structures, usually located in remote locations, so safety protocols are essential for workers and/or anyone on site.

By following these tips, employers can help protect workers from a variety of hazards and reduce the risk of workplace accidents and injuries. By implementing these safety measures, employers can create a safer and more secure work environment for their employees.

It is important to remember that safety is a shared responsibility between employers and employees. Employers must provide the necessary resources and training, and employees must be prepared to work safely, use the resources provided, and follow established procedures.

Implementing the essential wind turbine safety precautions described in this article ensures the well-being of workers and the optimal functioning of turbines.

References

1. Wind Systems Magazine. "Wind Turbine Construction Safety Tips." Available at: <https://www.windsystemsmag.com/wind-turbine-construction-safety-tips/>. 14.04.2024.
2. Airpes. "Wind Turbine Safety Precautions for Workers." Available at: <https://www.airpes.com/wind-turbine-safety-precautions-for-workers/>. 23.14.2024.
3. Anemoi Services. "Key Safety Precautions for Wind Turbine Workers." Available at: <http://anemoiservices.com/industry-news/key-safety-precautions-for-wind-turbine-workers/>. 23.14.2024.

Scientific supervisor: Ph.D., Associate professor Lyudmila Mitiuk

UDC 621.3 – 331.4

Козлов Д.Є., студент
Кафедра відновлюваних джерел енергії
Національний технічний університет України
«КПІ ім. Ігоря Сікорського»

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ДЛЯ ПРАЦІВНИКІВ ВІТРОТУРБІН

Анотація. У статті розглядаються професійні ризики, з якими стикаються працівники, що обслуговують вітряні електростанції та турбіни, підкреслюючи важливість заходів безпеки для їх захисту. Описані різні надзвичайні ситуації, такі як пожежі, несправності обладнання, механічні пошкодження, грозові розряди, збої системи керування. Наголошується на важливості комплексної оцінки ризиків, освіти та навчання з питань безпеки вітрових турбін. Надані поради включають використання належного обладнання для захисту від падіння, технічне обслуговування важкої техніки, моніторинг погодних умов, впровадження заходів пожежної безпеки, забезпечення електробезпеки та встановлення чітких протоколів зв'язку. У висновку підкреслюється, що безпека є колективною відповідальністю роботодавців і працівників. Дотримання цих правил техніки безпеки може допомогти захистити працівників, зменшити кількість нещасних випадків на виробництві та забезпечити оптимальне функціонування вітрових турбін.

Ключові слова: безпека працівників, заходи безпеки, вітрова турбіна, безпека, процес життєдіяльності, навколишнє середовище.

Список використаних джерел

1. Wind Systems Magazine. "Wind Turbine Construction Safety Tips." Available at: <https://www.windssystemsmag.com/wind-turbine-construction-safety-tips/>. 14.04.2024.
2. Airpes. "Wind Turbine Safety Precautions for Workers." Available at: <https://www.airpes.com/wind-turbine-safety-precautions-for-workers/>. 23.14.2024.
3. Anemoi Services. "Key Safety Precautions for Wind Turbine Workers." Available at: <http://anemoiservices.com/industry-news/key-safety-precautions-for-wind-turbine-workers/>. 23.14.2024.

Науковий керівник: к.т.н., доцент Л.О. Мітюк

УДК 628.5 – 613.6

Супрун С.О., студент
Кафедра Відновлюваних джерел енергії
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ СТРАТЕГІЙ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ ПРОМИСЛОВИХ ПРОЦЕСІВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

***Анотація:** досліджено питання розробки та впровадження інноваційних стратегій з метою зменшення екологічного впливу промислових процесів на оточуюче середовище. У роботі розглянуті технічні та технологічні аспекти таких стратегій, а також їхній вплив на безпеку та охорону здоров'я працівників.*

***Ключові слова:** інноваційні стратегії, екологічний вплив, промислові процеси, безпека працівників, охорона здоров'я.*

Вступ. Промислові процеси в сучасному світі відіграють ключову роль у виробництві різноманітних товарів і послуг. Однак, разом з цими процесами постає серйозна проблема - їхній негативний вплив на навколишнє середовище та здоров'я працівників. Розвиток інноваційних стратегій для зменшення цього впливу стає актуальною задачею у сфері промисловості. Розробка та впровадження таких стратегій вимагають комплексного підходу та використання сучасних технологій, щоб забезпечити ефективність і доцільність цих заходів. Дана робота спрямована на вивчення цієї проблематики та розробку новаторських підходів для зменшення екологічного впливу промислових процесів та забезпечення безпеки та охорони здоров'я працівників.

Аналіз стану питання. Протягом століть кількість великих підприємств тільки росло, а їх виробництво набувало все більших масштабів. Так, до теперішнього часу ми отримали екологічну кризу в деяких окремих районах по всьому світу. Насправді екологічна криза почала збільшуватися вже в 60-х роках, про це свідчило видиме зниження самоочищення біосфери. З цього часу вона не може справлятися з відходами, які викидали підприємства і люди [1].

Разом з тим, працівники, що працюють на цих промислових підприємствах, постійно піддаються ризику внаслідок негативного впливу шкідливих речовин та умов праці. Незадовільні умови праці можуть призводити до різних захворювань, травм та інших негативних наслідків для здоров'я працівників. Тому розробка і впровадження інноваційних стратегій також передбачає заходи щодо покращення умов праці та забезпечення безпеки й охорони здоров'я працівників.

Мета роботи: розробити план та методику спрямовану на зменшення екологічного впливу промислових процесів на навколишнє середовище і також забезпечення безпеки та охорони здоров'я працівників на промислових підприємствах шляхом вдосконалення умов праці та впровадження заходів превентивного контролю.

Методики, матеріали і результати досліджень. «У природи немає для нас ні нагород, ні покарань – у неї є лише наслідки». Мудрі слова, що як ніколи доречні у сучасному світі. Прикладом тому є забруднення Азовського і Чорного морів, вирубка лісів у Карпатах, псування родючих земель. І це, на превеликий жаль, не вичерпний перелік проблем і навіть лих нашого навколишнього середовища [2].

Навколишнє середовище, а також здоров'я та безпека працівників підприємств, небезпечно під загрозою через недбале відношення до природних ресурсів та відсутність належного контролю за промисловими процесами. Один із ключових аспектів цієї

проблеми - забруднення атмосфери викидами від підприємств. Наслідки забруднення повітря можуть бути катастрофічними: вони включають в себе поширення шкідливих хімічних речовин, таких як діоксиди сірки та азоту, важкі метали та інші токсичні речовини, які можуть мати негативний вплив на здоров'я людей та екосистеми. Наприклад, великі промислові підприємства, які використовують вугілля або нафту, можуть викидати значні кількості вуглекислого газу та інших забруднюючих речовин у повітря. Наприклад, у Запорізькій області, як і в багатьох інших індустріалізованих регіонах, забруднення повітря стало серйозною проблемою через викиди від промислових підприємств та транспорту. (рис.1).



Рисунок 1 – Запорізькі заводи з висоти

Охорона праці та забезпечення безпеки працівників на промислових підприємствах є однією з найважливіших складових сучасного управління. З метою запобігання нещасним випадкам, збереження здоров'я та життя працівників, а також забезпечення ефективної виробничої діяльності підприємств, необхідно впроваджувати ефективні заходи з організації безпечних та здорових умов праці. У цьому контексті розглянуті нижче методики та заходи для забезпечення здорових і безпечних умов праці на промислових підприємствах мають велике значення.

Заходи для забезпечення здорових і безпечних умов праці на підприємствах включають:

- створення відповідних служб та призначення посадових осіб, які забезпечують вирішення конкретних питань охорони праці, затвердження інструкцій щодо їх обов'язків та контроль їх додержання;
- розробка комплексних заходів разом із сторонами колективного договору для досягнення нормативів та підвищення рівня охорони праці;
- впровадження прогресивних технологій та вимог ергономіки для покращення умов праці та безпеки;
- забезпечення належного утримання будівель, обладнання та устаткування з метою збереження їх технічного стану;
- організація роботи по усуненню причин, що можуть призвести до нещасних випадків чи професійних захворювань;

- проведення аудитів та лабораторних досліджень умов праці для визначення рівня небезпечних факторів та вжиття відповідних заходів;
- розробка та затвердження положень, інструкцій та інших актів з охорони праці, що діють на підприємстві, та контроль їх виконання;
- організація пропаганди безпечних методів праці та співробітництва з працівниками у сфері охорони праці;
- здійснення термінових заходів для допомоги потерпілим у разі аварій чи нещасних випадків [3];

Забезпечення безпеки та охорони здоров'я працівників на промислових підприємствах включає в себе комплекс заходів і методик, які спрямовані на мінімізацію ризиків та покращення умов праці. Проте, одним з важливих аспектів, який також потребує уваги, є зменшення негативного екологічного впливу промислових процесів на навколишнє середовище.

Для досягнення цієї мети, необхідно вдосконалювати технологічні процеси та впроваджувати інноваційні підходи. Перш за все, це включає в себе раціоналізацію використання енергоресурсів, впровадження енергоефективних технологій та використання альтернативних джерел енергії.

Одним з методів зменшення екологічного впливу є впровадження систем відновлювальної енергії, таких як сонячні батареї, вітрові турбіни та гідроелектростанції. Це дозволить зменшити викиди в атмосферу та зменшити залежність від традиційних джерел енергії, таких як вугілля та нафта.

Крім того, важливим є впровадження програм з управління відходами та їх подальшої переробки. Це включає в себе використання сучасних технологій для обробки та вторинної переробки відходів, а також впровадження програм з утилізації відходів для виробничих цілей. І також не менш важливим є впровадження програм з оцінки та моніторингу екологічного впливу промислових процесів. Це дозволить забезпечити постійний контроль за рівнем забруднення навколишнього середовища та вчасно реагувати на будь-які негативні впливи.

Додатково до зазначених методів зменшення екологічного впливу промислових процесів на навколишнє середовище, існують інші підходи, які можна використовувати для покращення ситуації. Один з таких підходів - це впровадження програми енергоефективності на підприємстві. Це може включати в себе регулярне обстеження технічного стану обладнання та ідентифікацію можливих джерел енерговитрат, а також впровадження заходів з енергозбереження та оптимізації енергоспоживання. Ще одним ефективним методом є зменшення викидів шкідливих речовин у атмосферу шляхом впровадження чистих технологій виробництва та встановлення сучасних систем очищення стоків та викидів.

Крім того, важливим є регулярне навчання та підвищення кваліфікації персоналу з питань охорони навколишнього середовища та безпеки праці. Це дозволить підвищити обізнаність персоналу з екологічними стандартами та процедурами безпеки праці та забезпечити виконання вимог законодавства у цих сферах. Наприклад, підприємства в Запоріжжі, які спеціалізуються на виробництві сталі, можуть впроваджувати спеціальні системи очищення викидів, що значно зменшить вплив їхньої діяльності на навколишнє середовище. Крім того, впровадження новітніх технологій у виробничий процес допоможе знизити витрати енергії та зменшити кількість відходів. Узагальнюючи, застосування цих методів і підходів дозволить зменшити свій екологічний вплив, зберегти ресурси та забезпечити безпеку та охорону здоров'я працівників.

В останні роки політики і населення висловлюють побоювання через загострення глобальних екологічних проблем, таких як кислотні опади та зміна клімату, а також оцінюючи наслідки впливу цих процесів на довкілля. І, хоча енергію можна одержувати екологічнішими способами, використовуючи відновлювані джерела енергії (сонця, вітру, термальних вод, деревини та відходів сільськогосподарського виробництва), необхідно усвідомлювати, що способу отримання енергії, який би зовсім не шкодив довкіллю, не існує [4].

Висновки. Було усвідомлено важливість глобальних екологічних проблем і пошуку інноваційних рішень для зменшення їхнього впливу на навколишнє середовище. Підходи до забезпечення безпеки та охорони здоров'я працівників на промислових підприємствах також виявляються важливими аспектами, що вимагають уваги.

Шлях до сталого майбутнього полягає в поєднанні заходів для зменшення екологічного впливу промислових процесів з ініціативами забезпечення безпеки та охорони здоров'я працівників. Розвиток і впровадження інноваційних стратегій, які поєднують в собі енергоефективність, використання відновлюваних джерел енергії та створення безпечних умов праці, є важливим кроком у напрямку до розвитку.

Далі дослідження, розвиток технологій та спільні зусилля усіх зацікавлених сторін є ключем до досягнення цієї мети. Тільки шляхом спільної роботи і впровадження інноваційних рішень можна забезпечити збалансований розвиток, який дозволить нам зберегти наше довкілля для майбутніх поколінь.

Список використаних джерел

1. Як індустріалізація вплинула на зміну клімату. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL : <https://icoola.ua/blog/indystryalizaciya-ta-ecologiya/>. 21.04.2024.
2. Екологічно відповідальне підприємництво в Україні : правові аспекти. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL : <https://yur-gazeta.com/publications/practice/inshe/ekologichno-vidpovidalne-pidpriemnictvo-v-ukrayini-pravovi-aspekti.html> . 21.04.2024.
3. Створення безпечних і нешкідливих умов праці. Державний нагляд за охороною праці. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL : <https://wiki.legalaid.gov.ua/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%B5>. 21.04.2024.
4. Вплив на навколишнє середовище, спричинений виробництвом електричної енергії. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL : <https://www.ez.rv.ua/vplyv-na-navkolyshnye-seredovishhe-sprychynenyj-vyrobnytstvom-elektrychnoyi-energiyi/> . 21.04.2024.

Науковий керівник: к.т.н., доцент Л.О. Мітюк

UDC 628.5 – 613.6

Suprun S.O., student
Department of Renewable Energy Sources
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF INNOVATIVE STRATEGIES TO REDUCE THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF INDUSTRIAL PROCESSES

Abstract. *The research explores the development and implementation of innovative strategies aimed at reducing the environmental impact of industrial processes. The paper discusses technical and technological aspects of such strategies, as well as their implications for the safety and health protection of workers.*

Keywords: *innovative strategies, environmental impact, industrial processes, worker safety, health protection.*

References

1. How industrialization affected climate change. [Electronic resource]. Access mode: URL: <https://icoola.ua/blog/indystryalizaciya-ta-ecologiya/>. 04/21/2024.

2. Environmentally responsible entrepreneurship in Ukraine: legal aspects. [Electronic resource]. Access mode: URL: <https://yur-gazeta.com/publications/practice/inshe/ekologichno-vidpovidalne-pidpriemnictvo-v-ukrayini-pravovi-aspekti.html>. 04/21/2024.

3. Creation of safe and harmless working conditions. State supervision of labor protection. [Electronic resource]. Access mode: URL: <https://wiki.legalaid.gov.ua/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%B5>. 04/21/2024.

4. Impact on the environment caused by the production of electrical energy. [Electronic resource]. Access mode: URL: <https://www.ez.rv.ua/vplyv-na-navkolishnye-seredovyshe-sprychynenyj-vyrobnytstvom-elektrychnoyi-energiyi/>. 04/21/2024.

Scientific supervisor: Ph.D., Associate professor Lyudmila Mitiuk