



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



**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**  
**ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ**

**VII НАУКОВО-ТЕХНІЧНА**  
**КОНФЕРЕНЦІЯ МАГІСТРАНТІВ**  
**імені професора Василя**  
**Миколайовича Винославського**

**Збірник матеріалів конференції**

**20-22 ЛИСТОПАДА 2024**

**Київ 2024**

Збірник наукових праць «VII науково-технічна конференція магістрантів імені професора Василя Миколайовича Винославського» 20-22 листопада 2024 р. НН ІЕЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського – Київ: НН ІЕЕ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024, 153 стор.

У збірнику представлено статті молодих фахівців з питань перспективних розробок та нових рішень в енергетиці сталого розвитку на VII науково-технічній конференції магістрантів імені професора Василя Миколайовича Винославського.

До збірника включено статті за такими напрямками: сталий розвиток енергетики, смартсистеми забезпечення споживачів електричною енергією, енергетичний менеджмент та інжиніринг, інжиніринг та автоматизація електротехнічних комплексів, мехатроніка енергоємних виробництв, проблеми видобутку корисних копалин, геотехнічне і міське підземне будівництво, інженерна екологія та ресурсозбереження.

*Друкується за рішенням організаційного комітету науково-технічної конференції  
«VII науково-технічна конференції магістрантів  
імені професора Василя Миколайовича Винославського»*

## **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ**

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

**Заступник голови – Коцар О.В.**, к.т.н., доцент кафедри електропостачання НН ІЕЕ.

**Члени оргкомітету:**

**Босак А.В.** – к.т.н., доц., заст. директора НН ІЕЕ з наукової роботи;

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

**Бориченко О.В.** – 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;

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

**Третякова 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.

Укладання збірника наукових праць: Босак А.В., Броницький В.О.

Матеріали подані у авторській редакції.

Відповідальність за зміст і достовірність даних несуть автори тез.



**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF UKRAINE  
«IGOR SIKORSKY KYIV POLYTECHNIC INSTITUTE»**

**INSTITUTE  
OF ENERGY SAVING AND ENERGY MANAGEMENT**



**VII SCIENTIFIC AND TECHNICAL  
CONFERENCE OF MASTER STUDENTS  
NAMED AFTER PROFESSOR VASYL  
VYNOSLAVSKY**

**Conference proceedings**

**20-22 NOVEMBER 2024**

**Kyiv 2024**

Collection of scientific papers "VII Scientific and Technical Conference of Master's Students named after Professor Vasyl Vynoslavsky" November 20-22, 2024. IEE KPI named after Igor Sikorsky - Kyiv: IEE, KPI named after Igor Sikorsky, 2024, 153 pp.

The collection presents articles by young specialists on promising developments and new solutions in sustainable energy at the VII Scientific and Technical Conference of Master's Students named after Professor Vasyl Vynoslavsky.

The collection includes articles in the following areas: sustainable development of the energy sector, smart systems for providing consumers with electricity, energy management and engineering, engineering and automation of electrical complexes, mechatronics of energy-intensive industries, problems of mineral extraction, geotechnical and urban underground construction, engineering ecology and resource conservation.

*Published by the decision of the organizing committee of the scientific and technical conference  
"VII Scientific and Technical Conference of Master's Students  
named after Professor Vasyl Vynoslavsky"*

### **CONFERENCE ORGANIZATION COMMITTEE**

**Head – Vovk O.O.** – Dr. Sc. (Eng.), Prof., Director of the Institute of Energy Saving and Energy Management;

**Deputy head – Kotsar O.V.** – Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof of the Power Supply Department.

**Members of organization committee:**

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

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

**Borychenko O.V.** – 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;

**Zaichenko S.V.** – Dr. Sc. (Eng.), Prof., head 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.

Compilation of the collection of scientific papers: Bosak A.V., 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.

---

## ЗМІСТ

<b>СЕКЦІЇ 1-3. СТАЛИЙ РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ. СМАРТСИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ЕНЕРГІЄ. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА ІНЖИНІРИНГ .....</b>	<b>9</b>
ФОРМУВАННЯ МІКРОМЕРЕЖ В СУЧАСНИХ УМОВАХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ <i>Касьяненко Є.О.</i> .....	10
СИСТЕМА ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ <i>Гонгало В.Р.</i> .....	13
ПРОБЛЕМИ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ПОСТАЧАВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ВИРОБЛЕНОЇ З ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ: МОЖЛИВІ ЗМІНИ В ПОРЯДКУ ГАРАНТІЙ ПОХОДЖЕННЯ <i>Резніченко Д.С.</i> .....	15
ВІДНОВЛЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ: ВИКЛИКИ, ПЕРСПЕКТИВИ ТА ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД <i>Ямковий О.О.</i> .....	19
ТЕХНОЛОГІЇ «РОЗУМНИХ МЕРЕЖ» ЯК ЕФЕКТИВНИЙ МЕХАНІЗМ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ <i>Джугун А.С.</i> .....	23
ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАВАННЯ ЧЕРЕЗ АНАЛІЗ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЮ ДЖЕРЕЛ ФЛІКЕРА <i>Сергєєв П.П.</i> .....	25
СТАН ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЦІ В УКРАЇНИ <i>Юрченко О.О.</i> .....	27
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА З ВИГОТОВЛЕННЯ КОМБІКОРМУ <i>Ступеньков Д.С.</i> .....	32
АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ВДЕ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ У ЗАХІДНИХ РЕГІОНАХ УКРАЇНИ <i>Стецула В.Р.</i> .....	35
РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ СТВОРЕННЯ ІНТЕРНЕТ-ПЛАТОРМИ ДЛЯ СПРИЯННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПЛЕКСНИХ ПРОЄКТІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРІ <i>Ткач М.О.</i> .....	37
ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ ЖИТЛОВОЇ БАГАТОКВАРТИРНОЇ БУДІВЛІ З РОЗРОБКОЮ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕРТИФІКАТУ <i>Рабенко Є.О.</i> .....	41
ОПТИМІЗАЦІЙНИЙ РОЗПОДІЛ ВИТРАТ УЧАСНИКІВ БАЛАНСУЮЧОЇ ГРУПИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ БАЛАНСОМ <i>Вірик А.О.</i> .....	45
РЕАЛІЗАЦІЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ <i>Потьомкіна Г.Л.</i> .....	48

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ЛІКВАЛЬНО-ПРОФІЛАКТИЧНИХ ЗАКЛАДАХ <i>Синільник Я.С.</i> .....	51
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ГВП У БУДІВЛЯХ БЮДЖЕТНОЇ СФЕРИ <i>Загурський М.Ю.</i> .....	53
<b>СЕКЦІЇ 4-5. ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ. МЕХАТРОНІКА ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ.....</b>	<b>55</b>
INVESTIGATIONS OF WASHING MACHINE DRUM DYNAMICS TAKING INTO ACCOUNT ECCENTRICITY OF TEXTILE POSITION <i>Zeng Yan</i> .....	56
THE DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES AS A GUARANTEE OF IMPROVING UKRAINE'S ENERGY SECURITY <i>Trachuk A.R.</i> .....	59
АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МАСЛОЕКСТРАКЦІЙНОГО ЗАВОДУ <i>Головащенко В.С.</i> .....	61
АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ ЗАВОДУ З ВИРОБНИЦТВА КОРМІВ <i>Сергієнко В.С.</i> .....	67
ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ З МОЖЛИВІСТЮ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРИ ЗМІНІ НАПРУГО-ЧАСТОТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ <i>Кузь Є.О.</i> .....	72
АЛГОРИТМ РОБОТИ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ <i>Петровський О.С.</i> .....	74
ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ В ВИДОБУВНИЧІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ <i>Мороз А.В.</i> .....	76
ВОДНЕВА СИСТЕМА АВАРІЙНОГО АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ <i>Караульний К.Т.</i> .....	79
ОПТИМІЗАЦІЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З ВИДАЛЕННЯМ CO <sub>2</sub> <i>Маламан Д.О.</i> .....	82
ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ РЕГУЛЯТОРІВ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЛІФТА <i>Понемасов Д.Є.</i> .....	85
MODERNIZATION OF MINE HOIST CONTROL SYSTEM <i>Huang Shuangshuang</i> .....	88
ПЛАНУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГ РЕЖИМУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО БАСЕЙНУ <i>Шкапа Я.І.</i> .....	92
МОДЕРНІЗАЦІЯ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ <i>Босенко В.Е.</i> .....	94
НАНОГЕНЕРАТОР ІМПУЛЬСНОЇ ДІЇ НА ПРИВИБІЙНУ ЗОНУ НАФТОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ <i>Хлань Я.Є.</i> .....	96
РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АДАПТАЦІЇ ВІБРОКОВША ДЛЯ РУЙНУВАННЯ ПОРІД В УМОВАХ КЛЕСІВСЬКОГО КАР'єРУ НЕРУДНИХ КОПАЛИН <i>Лобань О.С.</i> .....	98

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА ПРИВОДУ ЕСКАЛАТОРА <i>Зубаньов В.В.</i> .....	100
ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ РОБОТИ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ЗА КРИТЕРІЄМ МІНІМУМУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ КОМПРЕСОРНОЮ УСТАНОВКОЮ <i>Брижук В.І.</i> .....	102
АДАПТИВНИЙ ІМПЛОЗІЙНИЙ ДЕПРЕСАТОР НА ГНУЧКІЙ ТРУБІ КОЛТЮБІНГОВОЇ УСТАНОВКИ <i>Марченко Д.О.</i> .....	104
ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИЙ ГЕНЕРАТОР ІМПУЛЬСІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ВИДОБУТКУ ВУГЛЕВОДНІВ <i>Безп'ятій Я. В.</i> .....	106
ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СИСТЕМА ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ЛІНІЙНОГО ГАЗОПРОВОДУ ЗІ СТАБІЛІЗАЦІЄЮ ШВИДКОСТІ <i>Ковальчук В.В.</i> .....	108
ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА ЗІ ЗМІННОЮ ДОВЖИНОЮ ТРАНСПОРТУВАННЯ <i>Колесніков М.Ю.</i> .....	110
РОБОТИЗОВАНА СИСТЕМА ГЕНЕРАЦІЇ ВОДНЮ ТА ПРОЄКТИ ЗАПРАВКИ НИМ АВТОТРАНСПОРТУ <i>Швець К.С.</i> .....	112
АДАПТИВНА УДАРНА СИСТЕМА З МЕХАТРОНИЧНИМ КЕРУВАННЯМ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА СТАНЦІЇ МЕТРОПОЛІТЕНУ ВІДКРИТИМ СПОСОБОМ <i>Мосьондз В.В.</i> .....	115

## **СЕКЦІЇ 6-8. ПРОБЛЕМИ ВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН. ГЕОТЕХНІЧНЕ І МІСЬКЕ ПІДЗЕМНЕ БУДІВНИЦТВО. ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ..... 117**

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ПРОЕКТУВАННЯ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ЗАСОЛЕНОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВОД ТА ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ВОДИ <i>Артьомов Р. М.</i> .....	118
ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ПРОЕКТУВАННЯ ПІДЗЕМНОГО ПАРКІНГУ З ВИБОРОМ КРІПЛЕННЯ КОТЛОВАНУ <i>Комаріцин В.А.</i> .....	120
АКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ВОДОПОНИЖЕННЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ КОЛЕКТОРА <i>Мельник В.Е.</i> .....	122
ГЕОПОЛІМЕРНІ СУМІШІ НА ОСНОВІ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ВІДХОДІВ ЩЕБЕНЕВОЇ СИРОВИНИ <i>Наумов Я.О.</i> .....	127
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ВІДХОДІВ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ В ГЕОПОЛІМЕРНИХ СУМІШАХ <i>Шуляк А.В.</i> .....	129
ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЩЕБЕНЕВОЇ СИРОВИНИ В УМОВАХ ПРАТ «ТНК «ГРАНІТ» <i>Шишко С.М., Куницька М.С.</i> .....	132

---

ПОРІВНЯННЯ ТОЧНОСТІ, ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ВИТРАТ ЧАСУ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ GPS-МЕТОДУ З RTK І ДРОНОВОЇ ЗЙОМКИ З ВИКОРИСТАННЯМ КОНТРОЛЬНИХ ТОЧОК <i>Янович О.А.</i> .....	135
АДАПТИВНІ ПІДХОДИ ДО РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ТЕРИТОРІЙ, ПОРУШЕНИХ ГІРНИЧИМИ РОБОТАМИ <i>Заліван Д.І.</i> .....	137
ЕКОЛОГІЧНІ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ВИДОБУТКУ ОБЛИЦЮВАЛЬНОГО КАМЕНЮ В ЖИТОМИРСЬКІЙ ОБЛАСТІ <i>Бабяк В.В.</i> .....	140
СТАЛЕВА ФІБРИ ЯК АРМУЮЧИЙ ЕЛЕМЕНТ БЕТОННОЇ СУМІШІ <i>Савченко А.С., Хімінчук О.М., Кисель А.В.</i> .....	144
ПЕРСПЕКТИВИ ТА ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЬНИХ САМОСКІДІВ НА КАР'ЄРАХ УКРАЇНИ <i>Малюк М.В., Афанасьєвський І.І.</i> .....	148
НЕОБХІДНІ ПАРАМЕТРИ УКРИТТЯ ДЛЯ УЧБОВОГО КОРПУСУ НН ІЕЕ <i>Савченко А.С., Хімінчук О.М.</i> .....	151



**СЕКЦІЇ 1-3. СТАЛИЙ РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ.  
СМАРТСИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ЕНЕРГІЄ.  
ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА  
ІНЖИНІРИНГ**

Касьяненко Є.О., магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент Коцар О.В.,  
кафедра електропостачання  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ФОРМУВАННЯ МІКРОМЕРЕЖ В СУЧАСНИХ УМОВАХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

**Анотація.** У статті досліджено сценарії виокремлення мікромереж з наявних систем розподілу та забезпечення споживачів електричною енергією з метою підвищення надійності електропостачання критичної інфраструктури та інших суспільно значущих об'єктів в сучасних умовах електроенергетики України.

**Ключові слова:** мікромережа, система розподілу, виокремлення мікромережі

**Вступ.** Суттєві втрати генерувальних потужностей під час війни призвели до значного падіння обсягів виробництва електричної енергії і розбалансування об'єднаної електроенергетичної системи (ОЕС) України. Наслідком стало часте припинення електропостачання споживачів. Саме тому споживачі прагнуть до енергонезалежності та підвищення енергетичної стійкості, зокрема, критичної інфраструктури та інших суспільно значущих об'єктів. Отже, постає актуальним питання формування збалансованих мікромереж в сучасних умовах електроенергетики України, здатних надійно функціонувати як у складі загальної електромережі (мережевий режим), так і в автономному (острівному) режимі.

**Метою** статті є дослідження сценаріїв виокремлення мікромереж з наявних систем розподілу та забезпечення споживачів електричною енергією.

**Матеріал і результати досліджень.** Підтримуючи стратегічний курс на розвиток смартмереж [1] доцільно дослідити сценарії утворення мікромереж на основі наявних систем розподілу та забезпечення споживачів електричною енергією, які може бути виокремлено виходячи з суспільних інтересів. Деякі сценарії виокремлення мікромереж в сучасних умовах диференційовано по секторах і наведено на рис. 1.

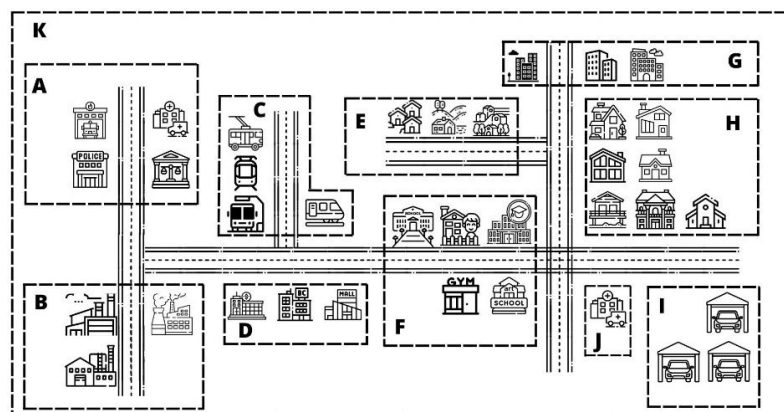


Рисунок 1 — Сценарії виокремлення мікромереж з систем розподілу та забезпечення споживачів електричною енергією. Джерело: побудовано автором з використанням *сервісу Flaticon.com* [2]

У секторі А представлені органи державної влади та комунальні підприємства, електричні мережі яких може бути об'єднано в єдину мікромережу, як критична інфраструктура. Так, ч.4 ст.9 Закону України “Про критичну інфраструктуру” визначено життєво важливі функції та/або послуги, порушення яких призводить до негативних наслідків для національної безпеки України [3]. Установи, що їх виконують та/або надають мають продовжувати функціонування за будь яких умов, а отже потребують першочергового енергозабезпечення. Виокремлення їхніх систем електропостачання (СЕП) в окремі мікромережі та інтегрування до них мікрогенерувальних установок, зокрема, на базі альтернативних та відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) підвищить енергетичну стійкість таких установ, що має забезпечити їхнє надійне функціонування в разі від'єднання від загальної мережі.

До сектору В віднесемо промислові підприємства, зокрема, заводи, фабрики, індустріальні парки. Зазвичай такі підприємства вже мають власні електричні мережі в межах своїх виробничих потужностей. Сьогодні українське законодавство регулює експлуатацію мікромереж здебільшого для індустріальних парків, яких в Україні близько 60, упускаючи при цьому промислові райони, де зосереджено декілька потужних виробництв, які не об'єднано в індустріальні парки.

Сектор С представлено транспортною інфраструктурою. Транспорт належить до критичної інфраструктури і для ефективного функціонування міста та/або району має забезпечуватись електричною енергією з мінімальними перебоями в електропостачанні. Додавання розподілених генерувальних установок перетворить тягову електричну мережу на мікромережу, що суттєво підвищить надійність електропостачання міського електричного транспорту.

До сектора D віднесено бізнес-центри, бізнес-парки, торгово-розважальні центри та інші комерційні об'єкти, які мають приватну або комунальну форму власності. Вже сьогодні поруч з такими об'єктами розташовуються дизельні генератори, що забезпечують їхнє електропостачання під час вимкнень або від'єднання від загальної мережі. Виокремлення СЕП таких об'єктів в мікромережі з інтегруванням до них фотовольтаїчних (ФЕС) та вітрових електричних станцій (ВЕС) забезпечить їхнє стійке функціонування за різних режимів загальної електричної мережі.

Сектор E представлено мережами основних споживачів. В Україні існує велика кількість електромереж, які збудовано промисловими підприємствами або іншими юридичними або фізичними особами (здебільшого в сільській місцевості) та належать їм на умовах власності. Так, наприклад, у Бориспільському районі Київської області майже половина підстанцій не належать районним електричним мережам (РЕМ). Загалом, у Київській області 10568 трансформаторних підстанцій (ТП) 6-10/0,4 кВ належать споживачам і 10933 ТП — ОСР [4]. Такі мережі можуть бути гарною основою для розбудови мікромереж в разі інтегрування до них джерел розподіленої генерації.

До сектора F віднесено заклади освіти (наприклад, дошкільної, середньої, професійно-технічної, вищої тощо). Ці заклади також можна об'єднати в єдину мікромережу, адже їх власниками зазвичай є територіальні громади або держава, вони керовані єдиним виконавчим органом та мають спільну мету. Досить часто школи та дошкільні навчальні заклади знаходяться поряд, заклади вищої чи професійно-технічної освіти можуть утворювати цілі кампуси (навчальні корпуси, гуртожитки, тощо) з вже сформованими мікромережами.

У секторі G представлено житлові будинки і комплекси. Такі будинки управляються приватними або комунальними керуючими компаніями або є об'єднанням співвласників багатоквартирного будинку (ОСББ). Внутрішньобудинкові мережі є спільною власністю господарів квартир та управляються керуючою компанією. У власності співвласників будинку перебувають, зокрема, дахи, споруди різного призначення, прибудинкові території, де можна розмістити генерувальні установки та допоміжне обладнання. Утворити

мікромережу можна не лише в межах одного будинку, а й об'єднавши декілька будинків в житлові комплекси.

Сектори Н та І представлено приватним сектором, котеджними містечками, садовими товариствами, дачними та гаражними кооперативами і т.і. Зазвичай такі об'єднання громадян мають власні електромережі, збудовані за рахунок співвласників кооперативів і управляються кооперативом (юридичною особою). Власником генерувальної установки може бути як одне домогосподарство, що буде забезпечувати електроенергією інших членів кооперативу, так і декілька співвласників.

**Висновки.** Виокремлення мікромереж з наявних систем розподілу та забезпечення споживачів електричною енергією в рамках розглянутих сценаріїв полегшить розбудову розосередженої генерації з точки зору економічних переваг і забезпечить стійке функціонування критичної інфраструктури та інших суспільно значущих об'єктів під час блекаутів та інших несприятливих подій. Проте слід зауважити, що під час прийняття рішення про розбудову мікромережі передусім варто врахувати технічну та економічну доцільність. Так, наприклад на рис. 1 і в секторі А, і в секторі J наведено комунальні будівлі (зокрема, заклади охорони здоров'я), проте, вони не розташовані поруч і об'єднання їх в спільну мікромережу потребуватиме тривалого часу і суттєвих капітальних витрат.

Наукова новизна полягає у тому, що вперше класифіковано сценарії виокремлення мікромереж з наявних систем розподілу та забезпечення споживачів електричною енергією з метою підвищення енергетичної стійкості критичної інфраструктури та інших суспільно значущих об'єктів, що відрізняється уніфікацією підходів до створення мікромереж і формує умови для розвитку національної нормативно-правової бази задля відповідності уніфікованих підходів чинним законодавчим та регуляторним нормам.

#### **Список використаних джерел:**

1. Міненерго: «Розумні» мікромережі – важливий інструмент посилення стійкості енергосистеми // kmu.gov.ua. URL <https://www.kmu.gov.ua/news/minenerho-rozumni-mikromerezhi-vazhlyvyi-instrument-posylennia-stiikosti-enerhosystemy> (дата звернення: 06.11.2024)
2. Flaticon // Flaticon. URL: <https://www.flaticon.com> (дата звернення: 18.05.2024)
3. Про критичну інфраструктуру: Закон України від 16 лист. 2021р. №1882 : станом на 01. січ. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text> (дата звернення: 26.05.2024)
4. Заручники бездіяльності власників електричних мереж — Держенергонагляд // Sies.gov.ua URL: <https://sies.gov.ua/news/zaruchniki-bezdiyalnosti-vlasnikiv-elektrichnih-merezh> (дата звернення: 30.05.2024)

## СИСТЕМА ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

**Анотація.** *Сонячна енергетика є одним із найперспективніших та результативних напрямків відновлювальної енергетики. У всьому світі зростає попит на чисту енергію та необхідність зниження викидів парникових газів. Це сприяє впровадженню сонячних електростанцій (СЕС) різних масштабів. Проте для збільшення ефективності та надійності роботи цих установок, необхідні сучасні системи енергомоніторингу, котрі дозволяють контролювати та оптимізувати їх роботу. Метою роботи є аналіз значення систем моніторингу для підвищення ефективності СЕС та визначення перспектив їх розвитку.*

**Ключові слова:** *відновлювальна енергетика, енергомоніторинг, СЕС.*

**Вступ.** Необхідність в системі моніторингу зумовлені потребою в надійній та ефективній роботі СЕС [1]. У світі зберігається та посилюється тенденція щодо відновлювальних джерел енергії[2]. Завдяки моніторингу, можна ефективно виявляти несправності та своєчасно їх усувати, що дозволяє запобігти втратам виробництва електроенергії [3]. Важливим елементом для системи моніторингу це можливості прогнозування графіку генерації на СЕС, що дозволить знизити потребу в обсягах балансуєчих потужностей і тим самим забезпечити балансову надійність розподільчих електричних мереж в умовах різких коливань змінної генерації відновлювальної енергетики. Таким чином, розробка та удосконалення системи енергомоніторингу СЕС, шляхом застосування новітніх технологій, забезпечить суттєве покращення обміну даними між різними суб'єктами ринку електроенергії і наразі залишається надзвичайно актуальною задачею в енергетичній галузі.

**Мета та завдання досліджень.** Метою роботи є дослідження систем моніторингу сонячних електростанцій для підвищення їх ефективності шляхом аналізу технічних характеристик, функціональних можливостей та перспектив розвитку таких систем. Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати сучасний стан та тенденції розвитку систем моніторингу СЕС, їх роль у підвищенні ефективності роботи сонячних електростанцій. Важливим завданням є дослідження структури та основних компонентів систем моніторингу, включаючи апаратне та програмне забезпечення, їх взаємодію та особливості функціонування.

**Матеріал і результати досліджень.** Системи моніторингу проводять збір та аналіз даних про виробництво електроенергії, стан обладнання, кількість акумульованої енергії та прогнозування продуктивності [4]. Збір даних дозволяє відстежувати ефективність встановлених панелей, інверторів та інших компонентів СЕС. При аналізі цих даних, можна виявити тенденції та аномалії, що потребують уваги. Наприклад коли станція виробляє відносно менше енергії ніж її сусіди. Прогнозування продуктивності на основі даних по СЕС та погоді, допомагає планувати технічне обслуговування станції та оптимізувати її роботу.

Система моніторингу складається з апаратного та програмного забезпечення[5]. Апаратні засоби включають датчики, контролери та реєстратори даних, які збирають інформацію про параметри роботи СЕС. Більшу частину апаратного забезпечення може бути представлено функціоналом вже встановленого сонячного інвертора. Програмне

забезпечення дозволяє здійснювати обробку, аналіз та візуалізацію зібраних даних, надаючи користувачам зручні інтерфейси для контролю та управління. Користувацький інтерфейс може бути представленим веб-сайтом або мобільним застосунком. Комунікаційні мережі, такі як Ethernet, Wi-Fi або GSM, забезпечують передачу даних від обладнання до центрів обробки інформації [6].

Впровадження системи моніторингу надає численні переваги в порівнянні з її відсутністю. Підвищується ефективність та надійність роботи електростанції завдяки своєчасному виявленню та усуненню несправностей [1]. Зменшується час простою обладнання, що безпосередньо впливає на обсяг виробленої електроенергії та прибутковість станції.

Забезпечення кібербезпеки стає критичним аспектом, оскільки підключенні до мережі системи можуть бути вразливими до кібератак, що становить небезпеку і для енергосистеми країни [4]. Інтеграція систем моніторингу з іншими енергетичними системами та "розумними" мережами вимагає розробки єдиних відкритих стандартів та протоколів взаємодії [2]. Розвиток технологій штучного інтелекту відкриває нові можливості для прогнозування продуктивності та оптимізації роботи СЕС, що потребує подальших досліджень та впровадження інновацій.

**Висновки.** Система моніторингу є важливим елементом ефективною та надійною роботи сонячних електростанцій. Вона забезпечує контроль над виробництвом енергії, станом обладнання та дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо управління СЕС. Інновації в сфері моніторингу сприяють розвитку відновлюваної енергетики, роблячи її більш конкурентоспроможною та доступною. Подальше вдосконалення систем моніторингу сонячних електростанцій є ключовим для досягнення енергетичної безпеки та збереження навколишнього середовища.

#### **Список використаних джерел:**

1. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Офіційний веб-сайт. URL: <https://sae.gov.ua/> (дата звернення: 15.09.24).
2. International Renewable Energy Agency (IRENA). Офіційний веб-сайт. URL: <https://www.irena.org/> (дата звернення: 15.09.24).
3. SolarPower Europe. Global Market Outlook for Solar Power 2021-2025. URL: <https://www.solarpowereurope.org/> (дата звернення: 15.09.24).
4. International Energy Agency (IEA). World Energy Outlook 2023. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023> (дата звернення: 15.09.24).
5. ДСТУ EN 61724-1:2021. Системи фотоелектричні. Моніторинг системи. Частина 1: Рівень моніторингу, документація та вимоги до вимірювання. URL: ([https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id\\_doc=105194](https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=105194)) (дата звернення: 15.09.24).
6. ДСТУ ISO 50001:2020 (ISO 50001:2018, IDT). URL: [https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu\\_iso\\_50001\\_2020.pdf](https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_iso_50001_2020.pdf) (дата звернення: 15.09.24).

Резніченко Д.С., магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент **Закладний О.О.**,  
кафедра електропостачання  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПРОБЛЕМИ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ВИРОБЛЕНОЇ З ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ: МОЖЛИВІ ЗМІНИ В ПОРЯДКУ ГАРАНТІЙ ПОХОДЖЕННЯ

**Анотація.** *Перехід на відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) є важливим кроком для сталого розвитку, зменшення залежності від традиційних джерел енергії та підвищення енергетичної безпеки. Водночас підприємства, що працюють із ВДЕ, стикаються з викликами забезпечення стабільного енергопостачання через змінність виробництва енергії. Існуюча система Гарантій походження електричної енергії (ГП) підтверджує екологічне походження енергії, однак не враховує питання надійності та безперебійності постачання, що є критично важливим для виробничих підприємств.*

*У статті аналізуються проблеми функціонування системи ГП, можливості її вдосконалення та значення інфраструктури для зберігання енергії в забезпеченні стабільності енергопостачання. Подано пропозицію про впровадження нових вимог до постачальників енергії щодо резервних джерел і акумулювання енергії, а також необхідність державних стимулів для розвитку цих технологій. Пропонуються шляхи удосконалення законодавства та інфраструктури, що дозволять підвищити стабільність енергопостачання, сприяти енергетичній безпеці України та відповідати глобальним екологічним стандартам.*

*Ці заходи сприятимуть інтеграції України в європейський енергетичний простір, залученню інвестицій у «зелену» енергетику та зниженню економічних ризиків, пов'язаних із відновлюваними джерелами енергії.*

**Ключові слова:** *Відновлювальні джерела енергії, Енергетична безпека, Система Гарантій походження, Стабільність енергопостачання.*

**Вступ.** *Перехід на ВДЕ є ключовим напрямком сучасної енергетичної політики, спрямованої на забезпечення сталого розвитку та зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище. Для України, яка потерпає від повітряних атак на критичну інфраструктуру, це питання є не лише екологічним, а й питанням виживання. Розвиток ВДЕ сприяє забезпеченню енергетичної незалежності, підтримці стійкості енергосистеми та інтеграції в європейський енергетичний простір [2, 3].*

*Використання ВДЕ має ряд переваг, зокрема є вуглецево нейтральним. Наприклад, 1 МВт·год електроенергії, згенерованої сонячною станцією, дозволяє уникнути близько 0,4 тис. тонн CO<sub>2</sub>, порівняно з традиційною генерацією (газ або вугілля). Це не тільки знижує екологічне навантаження, але й зменшує витрати на викиди для підприємств, які підлягають Європейському регламенту з викидів [5]. Також слід відмітити проблему відповідності українського експорту Механізму прикордонного вуглецевого коригування ЄС (EU's Carbon Border Adjustment Mechanism), який почне діяти з 2026 року.*

*Однак, впровадження ВДЕ супроводжується низкою викликів, зокрема проблемою забезпечення безперебійного постачання енергії через мінливість виробництва у залежності від природних умов та відсутністю розвиненої інфраструктури зберігання [4]. Все це створює ризики для підприємств, які потребують стабільного енергопостачання. І хоча,*

існує механізм ГП, він не враховує вимог до надійності та стабільності постачання. Це обмежує практичну цінність ГП для енергоємних споживачів, про що свідчать наднизькі ціни на погашення ГП.

**Мета та завдання досліджень.** У магістерському дослідженні розглядаються основні проблеми та перспективи розвитку системи ГП, аналізується європейський досвід її впровадження, а також пропонуються заходи для вдосконалення енергетичної інфраструктури в Україні. Особливу увагу приділено ролі систем зберігання енергії та резервних джерел у забезпеченні стабільності енергопостачання для підприємств, а також необхідності адаптації законодавства до сучасних викликів у сфері ВДЕ [1].

**Мета дослідження:** Аналіз проблем функціонування системи ГП в контексті інтеграції ВДЕ до енергосистеми України та розробка рекомендацій для забезпечення надійності й безперебійності енергопостачання, враховуючи європейський досвід.

**Завдання дослідження:**

1. Вивчити сучасний стан використання ВДЕ в Україні та виклики, пов'язані зі стабільністю енергопостачання.
2. Проаналізувати роль системи ГП у розвитку ринку «зеленої» енергії та її обмеження щодо забезпечення стабільності енергопостачання.
3. Дослідити європейський досвід функціонування систем ГП та впровадження інфраструктури для зберігання енергії.
4. Розглянути технічні й економічні аспекти використання резервних потужностей та систем акумуляції енергії для стабілізації роботи енергосистеми.
5. Розробити пропозиції щодо вдосконалення системи ГП та законодавства України з метою забезпечення стабільності енергопостачання, стимулювання розвитку інфраструктури зберігання енергії та резервних потужностей.
6. Оцінити вплив запропонованих змін на розвиток ВДЕ в Україні та її інтеграцію до європейського енергетичного простору.

**Матеріал і результати досліджень.** Система ГП була розроблена як інструмент стимулювання розвитку ВДЕ. Вона дозволяє споживачам і підприємствам отримувати підтвердження екологічного походження енергії, яку вони споживають [2]. Впровадження ринку ГП сприяє популяризації «зеленої» енергії, стимулює зменшення викидів парникових газів та підтримує зусилля в боротьбі з кліматичними змінами. У рамках європейського енергетичного простору система ГП стала ефективним механізмом, який дозволяє споживачам приймати екологічно відповідальні рішення.

Проте, сучасна система ГП в Україні має суттєві обмеження. Вона підтверджує лише екологічне походження енергії, залишаючи поза увагою такі аспекти, як надійність та стабільність постачання [6]. Це стає критичним викликом для підприємств, які потребують безперервного енергопостачання для забезпечення своїх виробничих потреб. Зокрема, для енергоємних галузей будь-яке відключення енергії може призвести до серйозних економічних втрат, зриву контрактних зобов'язань і навіть до втрати конкурентоспроможності на ринку.

Підприємства, які використовують ВДЕ, стикаються з нестабільністю її постачання через їх природну змінність. Наприклад, сонячні панелі генерують енергію лише за наявності сонячного світла, а вітрові турбіни залежать від достатньої сили вітру. Такі коливання у виробництві енергії створюють потребу у впровадженні додаткових заходів для забезпечення стабільності [3].

Вирішенням цієї проблеми є розвиток інфраструктури для зберігання енергії. Системи накопичення енергії, які дозволяють зберігати надлишок енергії, вироблений у години низького споживання або за сприятливих погодних умов, можуть стати ключовим елементом для забезпечення стабільності енергопостачання [5]. У разі потреби, ця енергія



може бути використана під час пікових навантажень або коли ВДЕ не виробляють необхідний обсяг електроенергії. Крім того, для забезпечення надійності енергопостачання важливою є розбудова резервних потужностей, що можуть компенсувати нестабільність виробництва енергії з ВДЕ.

За даними розрахунків у магістерській дисертації, в Україні середня кінцева ціна на електроенергію, що вироблена з ВДЕ знаходиться в межах 0,12–0,15 € за кВт·год для сонячних та вітрових станцій. Це дешевше, ніж у Європі, де середні ціни на «зелену» електроенергію можуть досягати 0,30 € за кВт·год у Німеччині та 0,20 € за кВт·год у Франції. Водночас ціни на інвестиції у створення інфраструктури зберігання енергії незначно відрізняються.

Для промислових масштабів вартість акумуляторів становить близько 350–400 € за кВт·год ємності (літій-іонні батареї). У країнах ЄС, встановлено понад 10 ГВт потужностей зберігання, що є значно більшим, ніж в Україні, де цей показник не перевищує 200 МВт. Це значне відставання створює обмеження для масштабного впровадження ВДЕ та ускладнює інтеграцію нестабільних джерел в енергосистему.

Для того, щоб підприємства, які використовують енергію з ВДЕ, могли забезпечити безперебійне постачання, вважаємо необхідним ввести зміни в систему ГП: вона має бути доповнена новими умовами, що передбачають стабільність постачання. У такому контексті система ГП повинна включати вимоги щодо використання інфраструктури зберігання енергії та резервних джерел, а також технологій, які дозволяють забезпечити безперебійне постачання енергії в умовах змінності виробництва.

Це означає, що постачальники повинні мати можливість гарантувати безперебійне постачання енергії навіть у разі, коли виробництво з ВДЕ зменшується через несприятливі погодні умови. Цього можна досягти за допомогою використання акумуляторних батарей, а також систем резервних джерел, таких як газотурбінні установки, які можуть компенсувати нестачу енергії.

Оцінка терміну окупності інвестицій у систему зберігання енергії є ключовою для підприємств, які хочуть інтегрувати ВДЕ. Формула для розрахунку терміну окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{I}{(W_{\text{вир}} \cdot E_{\text{економ}})},$$

де  $T_{\text{ок}}$  - термін окупності (роки);  $I$  - інвестиції у встановлення системи (€);  $W_{\text{вир}}$  - обсяг енергії, яку можна зберегти (кВт·год);  $E_{\text{економ}}$  - економія завдяки зберіганням (€/кВт·год).

З огляду на цю формулу, можна оцінити економічні вигоди від інвестування в акумулятори та резервні джерела.

У свою чергу, законодавство повинно створювати стимули для розвитку цієї інфраструктури. В Україні повинні бути запроваджені податкові пільги або програми фінансування для підприємств, які інвестують в технології зберігання енергії та резервні потужності. Це допоможе забезпечити стабільність постачання енергії, а також зробить використання «зеленої» енергії більш доступним та економічно вигідним для підприємств. Крім того, розвиток інтелектуальних енергомереж (Smart Grid), що дозволяють ефективно управляти потоками енергії, буде сприяти зниженню навантаження на енергосистему та забезпеченню стабільності постачання.

Враховуючи ці зміни, термін окупності інвестицій у відновлювальні джерела енергії та технології зберігання енергії може значно скоротитися. Підприємства, які використовують «зелену» енергію та інвестують у надійні системи зберігання та резервні потужності, зможуть скоротити свої витрати на енергопостачання та знизити економічні ризики, пов'язані з можливими перебоями в енергопостачанні. Також це дозволить їм отримувати додаткові доходи від продажу енергії в пікові години, коли попит на електроенергію найвищий.

Запропоновані у магістерській дисертації зміни у системі Гарантій походження та відповідному законодавстві сприятимуть не лише розвитку ВДЕ, але й забезпеченню надійного та безперебійного постачання електричної енергії для підприємств. Це допоможе зміцнити енергетичну безпеку країни, а також стимулюватиме інвестиції у «зелену» енергетику, що є важливим аспектом у контексті глобальних тенденцій до зменшення викидів вуглецю та боротьби з кліматичними змінами.

**Висновки.** Перехід на відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) є необхідним кроком для забезпечення сталого розвитку та зміцнення енергетичної безпеки України. Однак для успішної інтеграції ВДЕ у національну енергосистему необхідно врахувати проблеми, що виникають через нестабільність постачання електроенергії з цих джерел. Система ГП, хоч і сприяє прозорості ринку та екологічній відповідальності, не забезпечує необхідної надійності та безперебійності постачання електроенергії.

Сучасні ціни на електроенергію з ВДЕ в Україні є конкурентоспроможними порівняно з європейськими, проте відставання у розвитку інфраструктури для зберігання енергії значно обмежує потенціал використання цих джерел. Розширення системи ГП і впровадження інвестиційних програм для підтримки технологій зберігання енергії є критично важливими для забезпечення стабільного та надійного постачання електроенергії.

Інвестиції в сучасні технології зберігання енергії, розбудова резервних потужностей та розвиток інтелектуальних енергомереж дозволять не лише покращити надійність енергопостачання, але й скоротити термін окупності інвестицій у ВДЕ. Це знизить економічні ризики для підприємств, які використовують «зелену» енергію, сприятиме зменшенню викидів CO<sub>2</sub> і зміцнить енергетичну безпеку країни в умовах глобальних тенденцій до скорочення викидів парникових газів і боротьби з кліматичними змінами.

Запропоновані зміни у системі ГП та підтримка державних програм стимулюватимуть розвиток відновлювальної енергетики в Україні, зроблять використання «зеленої» енергії економічно вигідним для підприємств і допоможуть Україні інтегруватися у європейський енергетичний простір на основі стабільного і надійного енергопостачання.

#### **Список використаних джерел:**

1. Про запровадження гарантій походження електричної енергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії. Постанова КМУ № 227 від 27 лютого 2024, URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/227-2024-%D0%BF#Text>
2. IEA (International Energy Agency) (2023). Renewable Energy in Transition: The Role of Energy Storage and Smart Grids. Paris: International Energy Agency.
3. REN21 (2022). Renewables Global Status Report 2022. Paris: REN21 Secretariat.
4. Ackermann, T., & Kramers, L. (2020). The Future of Grid Integration: Energy Storage and Smart Grids for Renewable Energy Systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 118, 145-153.
5. European Commission (2021). Energy Storage and Flexibility Solutions in the Green Transition: Insights from the EU. Brussels: European Commission.
6. Ziegler, J., & Haug, B. (2021). Energy Storage Solutions and Their Impact on the Stability of Renewable Energy Systems. Energy Policy, 145, 1-10.

**Ямковий О.О.**, магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент **Закладний О.О.**,  
кафедра електропостачання  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ВІДНОВЛЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ: ВИКЛИКИ, ПЕРСПЕКТИВИ ТА ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД

**Анотація.** *Стаття присвячена можливостям відновлення енергетичної системи України в умовах значних руйнувань, завданих війною. Окреслено можливі сценарії відновлення з врахуванням досвіду ЄС, які досягли значного прогресу у впровадженні відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та енергоефективних технологій. Описано сучасний стан енергетичної системи України, наголошено на важливості інтеграції інноваційних рішень, зокрема смарт-технологій та децентралізованих енергетичних кластерів.*

*Виділено ключові виклики: забезпечення безпеки енергетичної інфраструктури, фінансування відновлення та врахування особливостей масового використання ВДЕ. Розглянуто європейські підходи, що можуть бути корисними для балансування енергосистеми і досягнення цілей декарбонізації. У статті також обґрунтовано роль міжнародної співпраці у відновленні енергетичної системи України.*

*Зроблено висновки про перспективність використання європейського досвіду та впровадження інновацій для створення стійкої, незалежної та низьковуглецевої енергетичної системи України.*

**Ключові слова:** *відновлення енергосистеми, енергетична інфраструктура, відновлювані джерела енергії, декарбонізація, енергоефективність, смарт-технології, децентралізовані енергетичні кластери, енергетична безпека, інновації в енергетиці, міжнародна співпраця.*

**Вступ.** З початком повномасштабного вторгнення росії в лютому 2022 року енергетична інфраструктура України зазнала значних пошкоджень. Постійні обстріли електростанцій, захоплення, зокрема, Запорізької АЕС та руйнування ключових об'єктів передачі та розподілу електроенергії суттєво вплинули на стабільність енергопостачання. Станом на червень 2024 року, понад 90% теплових електростанцій пошкоджено, що ставить під загрозу енергетичну безпеку країни [1]. Відновлення енергосистеми є нагальною потребою, і цьому питанню варто приділити особливу увагу, в тому числі вивчаючи досвід ЄС.

Також необхідно зазначити наступне: 1) розосереджена генерація, зокрема газотурбінні установки (ГТУ), ВДЕ є більш стійкішими до повітряних атак; 2) сучасний тренд на будівництво розосередженої генерації з використанням ВДЕ у Європі, декарбонізація та здешевлення всіх компонентів; 3) наявність проблем із забезпеченням споживачів електроенергією в години максимального навантаження, які існували в українській енергосистемі навіть до російського вторгнення.

**Мета та завдання дослідження.** Основна мета дослідження полягає у створенні оптимальної з точки зору інвестиційної привабливості шляху відбудови (перебудови) електроенергетики України. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні завдання:

1) Визначити за якими сучасними принципами проводиться перебудова електроенергетичного комплексу Європи та описати підходи, що застосовуються в різних країнах (на прикладі Німеччини, Франції, Польщі);

2) Визначити техніко-економічні показники альтернативних проєктів відбудови електроенергетики України та чинників, які на них впливають (вартість, ринок електроенергії, час побудови, стійкість до ракетних атак);

3) Визначити найкращий з точки зору інвестиційної привабливості та часу відновлення основний шлях (сценарій) відбудови електроенергетики України в залежності від чинників, що впливають [2].

**Матеріал і результати досліджень.** В роботі аналізується стан електроенергетичної системи в країнах ЄС, який у 2023 році досяг частки 46,5% ВДЕ у електробалансі, зокрема за рахунок швидкої інтеграції сонячної енергетики. Магістерська дисертація також включає розрахунки фінансових показників для відновлення на основі різних сценаріїв та децентралізації енергосистеми України.

Попри війну, Україна залишається відданою цілям декарбонізації, маючи на меті досягти нульових викидів до 2060 року. Паралельно з відновленням зруйнованих об'єктів планується також скорочення частки викопного палива в структурі генерації електроенергії.

Ключовим напрямком відновлення енергосистеми є розвиток стійкості мережі через децентралізовані енергетичні кластери з локальними джерелами живлення й системами накопичення енергії. Це забезпечує безперебійне електропостачання та оптимізує розподіл енергії під час пікових навантажень.

Підходи, що застосовуються в магістерській дисертації для оцінки ефективності інвестицій, включають метод Лазарда та метод чистої поточної вартості, які дозволяють враховувати ризики та розраховувати основні показники ефективності інвестиційних проєктів.

За результатами дисертаційних розрахунків показано, що основний принцип відновлення електроенергетики України - це прискорений перехід на розосереджену генерацію з ВДЕ, ГТУ та системами накопичення енергії з однієї сторони, а з другої – підвищення енергоефективності промисловості та перехід з сировинної моделі економіки на економіку доданої вартості з використанням останніх інновацій, зокрема у військово-промисловому комплексі.

Інновації, зокрема впровадження «розумних» мереж, допомагають прогнозувати споживання, знижувати втрати й витрати енергії. Цифрові рішення вже ефективно інтегрують ВДЕ в енергосистемах ЄС.

Значення міжнародної співпраці також важливе, міжнародна підтримка відіграє критичну роль у відновленні енергетичної інфраструктури України.

Широке впровадження ВДЕ також потребує вирішення викликів щодо їх інтеграції у енергосистему - технічні та економічні обмеження: потребує використання більш гнучких та деталізованих моделей прогнозування для зниження невизначеності виробництва з ВДЕ та необхідності модернізації мереж для роботи з нерівномірним навантаженням.

Розглянуто особливості сценаріїв розвитку у воєнний та повоєнний періоди. Оскільки, це на нашу думку, два сценарії мають суттєві відмінності.

У воєнний період основні чинники - це постійна загроза пошкоджень інфраструктури, дефіцит фінансових ресурсів, обмеженість людських і матеріальних ресурсів, а цілі – швидке відновлення пошкоджених об'єктів, забезпечення базового енергопостачання критичних споживачів, мінімізація витрат електроенергії [3]. Для оцінки оптимального розподілу ресурсів у воєнний час можна використовувати модель мінімізації витрат costs

$$\text{Min costs} = \sum_{i=1}^n (C_i P_i + R_i),$$

де  $C_i$  – вартість відновлення об'єкта  $i$ ;  $P_i$  – ймовірність повторного пошкодження об'єкта  $i$ ;  $R_i$  – залишковий ризик втрат для об'єкта  $i$ .

Також необхідно здійснити: вибір об'єктів для термінового відновлення електропостачання за принципом пріоритетності (критичні об'єкти: лікарні, військові об'єкти, системи водопостачання); розробку тимчасових енергетичних рішень: мобільні електростанції, мікро мережі. Необхідним є побудова теплової карти об'єктів відновлення з оцінкою ризиків та графіку залежності витрат від рівня ризику.

Повоєнний період: повна відбудова та розвиток. Основні чинники: поступове зниження ризику пошкоджень; зростання інвестиційних можливостей; можливість стратегічного планування. Цілі: створення стійкої, децентралізованої системи генерації; перехід до ВДЕ; інтеграція у європейський енергетичний ринок.

Модель оптимізації енергетичної структури  $Str$  з урахуванням вартості, часу та вуглецевих викидів:

$$\text{Min } Str = \sum_{j=1}^m (C_j + T_j \alpha + E_j \beta),$$

де  $C_j$  – вартість будівництва об'єкта  $j$ ;  $T_j$  – час реалізації проєкту  $j$ ;  $\alpha$  – коефіцієнт вартості часу;  $E_j$  – обсяг викидів  $\text{CO}_2$  на одиницю потужності;  $\beta$  – вартість скорочення викидів [4].

У роботі показано вибір сценарію з найменшими сукупними витратами, порівняння варіантів (ВДЕ, ГТУ, ГАЕС). Присутнє графічне представлення: сценарії генерації 2021 року та орієнтовно 2030 року та графік зниження  $\text{CO}_2$  у різних сценаріях.

За розрахунками наведеними у роботі, найбільш дешевий та стійкий сценарій відновлення – це додатково 4 ГВт сонячних станцій, до 5 ГВт вітрової генерації, 3 ГВт ГТУ, в т.ч. і на біомасі, а також 1 ГВт систем зберігання енергії. Така генерація повністю задовільнить потреби України. Вартість такого відновлення складає до 10 млрд. € у термін до 5 років.

**Наукова новизна** – розроблені характеристики створення найкращого з точки зору інвестиційної привабливості шляху відбудови ОЕС України в умовах війни за рахунок аналізу техніко-економічних показників енергетичного устаткування, що дозволяє провести попередню оцінку рентабельності проєкту з відбудови.

Також у роботі розглянуто доцільність імпорту електроенергії. Імпорт електроенергії відіграє важливу роль у забезпеченні стабільного енергопостачання України, в умовах військової агресії та пошкодження значної частини енергетичної інфраструктури. У період активних бойових дій імпорт електроенергії дозволяє:

1. Забезпечити критичну інфраструктуру: лікарні, системи водопостачання, зв'язок та об'єкти оборонного значення залишаються у робочому стані завдяки гарантованому енергопостачанню.

2. Знизити навантаження на національну генерацію: через пошкодження понад 90% теплових електростанцій виникає значний дефіцит електроенергії, який частково компенсується імпортом.

3. Підвищити стійкість енергосистеми: Використання імпорту з енергетично стійких країн дозволяє уникати аварійних відключень у пікові години споживання.

У повоєнний період, на нашу думку, імпорт електроенергії може бути доцільним як тимчасовий захід, поки не завершиться відбудова кластеру ключових генеруючих потужностей. За розрахунками, імпорт електроенергії у післявоєнний період буде поступово

знижуватись і досягне за базовим сценарієм (завершення війни у кінці 2025 року) у 2030 році 40% від рівня 2024 року. Проте залежність від імпорту не повинна перешкоджати реалізації стратегічних цілей України, таких як:

- Декарбонізація: Пріоритетом є розвиток власної генерації з ВДЕ, що зменшить залежність від зовнішніх поставок.
- Енергетична незалежність: У довгостроковій перспективі важливо забезпечити енергетичну автономію, щоб уникнути ризиків, пов'язаних із геополітичними викликами.

За результатами розрахунків, у повоєнний період доцільність імпорту знижується у разі успішного впровадження децентралізованої генерації, накопичувачів енергії та модернізації енергетичної інфраструктури. Таким чином, імпорт є важливим інструментом для швидкого реагування на енергетичну кризу, але не має замінювати довгострокові інвестиції у власну енергосистему.

**Висновки.** Відновлення енергетичної системи України є складним, але водночас необхідним завданням, що вимагає інноваційних підходів, стратегічного планування та широкої міжнародної співпраці. У роботі підкреслено, що ключ до сталого енергетичного майбутнього України лежить у децентралізації, інтеграції ВДЕ, впровадженні сучасних технологій та забезпеченні енергетичної безпеки.

Європейський досвід демонструє важливість швидкого розвитку ВДЕ, оптимізації мережевої інфраструктури та використання смарт-технологій для балансування системи. Успішна відбудова енергетичного комплексу України можлива за умови, якщо будуть врахований досвід європейських країн, адаптований до українських реалій, зокрема до викликів воєнного часу.

Розробка інвестиційно привабливих сценаріїв відбудови, зокрема перехід до розосередженої генерації, накопичувачів енергії та модернізації мереж, є базою для сталого розвитку. Тимчасовий імпорт електроенергії допомагає забезпечити критичну інфраструктуру, але в довгостроковій перспективі необхідно сфокусуватися на енергетичній незалежності та декарбонізації.

Результати дослідження підтверджують, що реалізація вказаних заходів дозволить Україні створити стійку, екологічно безпечну та економічно ефективну енергетичну систему, що забезпечить стабільність енергопостачання навіть у кризових умовах і сприятиме інтеграції в європейський енергетичний простір.

#### **Список використаних джерел:**

1. Сучасний стан економіки України, проблеми та перспективи розвитку. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/server/api/core/bitstreams/6d742518-faf8-4970-998d-92e857ecca56/content>
2. Перспективи залучення іноземних інвестицій в економіку держави. URL: <https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/60432/1>
3. Актуальні проблеми проектування об'єктів міського будівництва та господарства. URL: [https://iino.knuba.edu.ua/images/IINO\\_2023/Kaf\\_BIT/BIT\\_Materialy-IV-Seminaru\\_12-2022.pdf](https://iino.knuba.edu.ua/images/IINO_2023/Kaf_BIT/BIT_Materialy-IV-Seminaru_12-2022.pdf)
4. Організаційно-економічний механізм енергозбереження : монографія / Ю. В. Дзядикувич, В. Я. Брич, В. В. Джеджула, Р. Б. Гевко, Б. Р. Гевко, І. Ю. Єпіфанова, І. В. Любезна. – Тернопіль: ТНЕУ, 2018 – 94 с.

УДК 621.3.04: 621.316.1

Джгун А.С., магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент Ткаченко В.В.,  
кафедра електропостачання  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ТЕХНОЛОГІЇ «РОЗУМНИХ МЕРЕЖ» ЯК ЕФЕКТИВНИЙ МЕХАНІЗМ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ**

**Анотація.** У статті розглядаються сучасні складові «розумних мереж» для оптимізації електроенергетики в Україні. Описано застосування самовідновлення при аварійних збуреннях, мотивація активної поведінки кінцевого споживача, опір негативним впливам, забезпечення надійності та якості електричної енергії.

**Ключові слова:** аварійне збурення, кінцевий споживач, негативний вплив, якість електричної енергії.

**Вступ.** Енергетичною стратегією України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”, схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605, передбачено застосування технологій “розумних мереж” як ефективного механізму розвитку електроенергетичної системи України в сучасних умовах [1].

**Мета та завдання дослідження.** Визначення можливості (шляхів) виведення енергетичного комплексу України на принципово новий, якісний рівень розвитку, вирішення проблем енергетичної безпеки в умовах нагальної потреби забезпечення суверенітету держави за обставин зовнішньої агресії із застосуванням як новітніх видів озброєнь (у тому числі інформаційних та гібридних методів ведення війни), так і невійськових впливів.

**Матеріал та результати досліджень.** Традиційні підходи до проектування електромереж базуються на визначенні місця розташування великих централізованих виробничих комплексів та географічному розподілі генеруючих ресурсів (близькість вугільних родовищ, наявність та достатній обсяг охолоджуючої води, можливість використання енергії води тощо). Впровадження “розумних мереж” обов’язково буде сприяти розвитку національної електроенергетики, підвищенню ефективності мереж передачі і розподілу електричної енергії, сприянню покращенню можливостей щодо інтеграції відновлюваних джерел енергії та розподіленої генерації [2]. Впровадження “розумних мереж” сприятиме створенню електромережі як інтелектуальної системи передачі, розподілу і постачання електричної енергії від виробників електричної енергії до споживачів, інтегрованої з комунікаціями та інформаційними технологіями, та такої, що забезпечує поліпшене функціонування енергосистеми з якісним обслуговуванням її користувачів.

У рамках впровадження “розумних мереж” для досягнення ключових вимог (цінностей) необхідний розвиток наступних функціональних характеристик [3]:

1. **Самовідновлення при аварійних збуреннях:** енергосистема та її елементи постійно підтримують свій технічний стан на необхідному рівні шляхом ідентифікації, аналізу та переходу від управління за фактом збурення до попередження аварійного пошкодження.

2. **Мотивація активної поведінки кінцевого споживача:** забезпечення можливості самостійної зміни споживачами обсягу і споживчих характеристик (рівня надійності, якості

тощо) одержуваної енергії на підставі балансу своїх потреб і можливостей енергосистеми з використанням інформації про характеристики цін, обсягів, надійності, якості та ін.

**3. Опір негативним впливам:** наявність спеціальних методів забезпечення стійкості та живучості, що знижують фізичну та інформаційну вразливість всіх складових енергосистеми і сприяють як запобіганню, так і швидкому відновленню її після аварій відповідно до вимог енергетичної безпеки.

**4. Забезпечення надійності та якості електроенергії** шляхом переходу від системно - орієнтованого підходу до забезпечення цих властивостей до клієнтоорієнтованої, і підтримці різних рівнів надійності та якості енергії в різних цінових сегментах.

**5. Різноманіття типів електростанцій і систем акумулювання електроенергії (розподілена генерація):** оптимальна інтеграція електростанцій і систем акумулювання електроенергії різних типів і потужностей шляхом підключення їх до енергосистеми за стандартизованими процедурами технічного приєднання та перехід до створення «мікроенергосистем» на стороні кінцевих користувачів.

**Висновки.** Інформаційні комплекси “розумних мереж” на базі сучасних технологій, що мають здійснювати високоточне визначення та збір синхронізованих режимних параметрів у вузлах мережі в режимі реального часу і інтеграцію отриманих даних в єдиний інформаційний простір на базі спільних інформаційних моделей здатні забезпечити суспільний розвиток, проривне підвищення споживчих властивостей та ефективність паливно-енергетичного комплексу країни, який є основою для стабільної роботи промислових підприємств, комерційного сектору та домогосподарств, без чого неможливе ефективне функціонування економіки будь-якої країни. В Україні є всі можливості для розвитку “розумних мереж” – є науковий потенціал, є вже накопичений досвід, тісне партнерство з колегами з-за кордону.

#### **Список використаних джерел:**

1. Юнг Дж. Координоване керування автоматизованими пристроями та фотоелектричними генераторами для зниження стрибків напруги в ланцюгах розподілу електроенергії *Renewable Energy*. -2014-№66.С.532-540.
2. ТранК. Вплив розподіленої генерації на системи розподілу. *Engineering Society General Meeting*.–2005 –vol.3. –Р. 2173–2178
3. Хришекеша П. Еволюційний алгоритм оптимального управління у розподільчій системі з розосередженою генерацією *International Journal of Computer*–2010. –№.14.



Сергєєв П.П., магістрант,  
науковий керівник: д.т.н., професор Волошко А.В.,  
кафедра електропостачання  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЧЕРЕЗ АНАЛІЗ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЮ ДЖЕРЕЛ ФЛІКЕРА

**Анотація.** Робота присвячена підвищенню якості електричної енергії через аналіз флікера та ідентифікацію його джерел. Визначено зв'язок флікера з інтергармоніками, розроблено методи ідентифікації джерел, що базуються на спектральному аналізі та розрахунку потужності інтергармонік.

**Ключові слова:** флікер, якість електроенергії, інтергармоніки, спектральний аналіз, потужність інтергармонік, стабільність мережі.

**Вступ.** Якість електричної енергії є одним із визначальних факторів ефективності та стабільності функціонування сучасних енергосистем. Однією з найбільш актуальних проблем у цій сфері є явище флікера, яке викликає коливання напруги та призводить до суттєвого погіршення характеристик електропостачання. Виникнення флікера пов'язане зі змінами у споживанні потужності та впливом джерел інтергармонік, що вимагає всебічного аналізу ідентифікації його джерел та розробки методів мінімізації впливу.

**Мета та завдання дослідження.** Метою цього дослідження є обґрунтування сучасних підходів до аналізу флікера, його зв'язку з інтергармоніками та запропонування ефективних методів ідентифікації джерел, які дозволять покращити якість електропостачання та знизити негативний вплив цього явища.

**Матеріал та результати досліджень.** Флікер, як явище коливань напруги в електричних мережах, є одним із найбільш розповсюджених факторів, що негативно впливають на якість електричної енергії. Його прояви, зокрема періодичні коливання яскравості освітлення або збої у роботі чутливого обладнання, зумовлюють зростання технологічних і фінансових втрат у промислових і побутових споживачів. Аналіз цього явища та розробка методів його ідентифікації є важливими завданнями для забезпечення стабільності сучасних електричних мереж [2].

Однією з основних причин виникнення флікера є наявність інтергармонік у спектрі напруги. Інтергармоніки — це частотні компоненти, які не є кратними основній частоті мережі (50 або 60 Гц) і виникають внаслідок нелінійності електричних навантажень, таких як перетворювачі частоти, джерела безперебійного живлення, промислові печі тощо.

Дослідження підтверджують, що інтергармоніки створюють додаткові коливання напруги, які в певних частотних діапазонах спричиняють значний вплив на сприйняття флікера. Зокрема, частотні компоненти у межах 6–30 Гц найбільш помітні для людського ока і створюють відчуття дискомфорту через зміну яскравості світла. Інтергармоніки також спричиняють нагрівання обладнання, зменшуючи його ефективність та довговічність [3].

Сучасні підходи до аналізу флікера та ідентифікації його джерел ґрунтуються на використанні як теоретичних, так і експериментальних методів, які забезпечують всебічне дослідження цього явища. Застосування спектрального аналізу є одним із ключових інструментів у визначенні частотних компонент, що спричиняють флікер. Цей підхід дозволяє ідентифікувати інтергармоніки у сигналах напруги, які є основними чинниками

коливань. Особливу увагу приділяють частотам, що знаходяться в діапазоні від 6 до 30 Гц, оскільки саме ці компоненти мають найбільший вплив на візуальне сприйняття коливань напруги. Одним із важливих напрямків дослідження є розрахунок потужності інтергармонік, яка характеризує інтенсивність їхнього впливу на якість електричної енергії. Аналіз потужності дозволяє встановити не лише величину впливу, але й його напрямок, що має критичне значення для ідентифікації джерел флікера. Додатково враховується знак потужності інтергармонік, який відображає енергетичні потоки між джерелом і навантаженням. Часовий аналіз коливань напруги надає можливість дослідити динаміку флікера в реальному часі та визначити залежності між характером навантажень і коливаннями напруги. Цей метод є незамінним для розуміння взаємозв'язку між зовнішніми факторами, що впливають на електричну мережу, та характеристиками сигналу [1].

У рамках сучасного підходу активно використовуються інтегральні оцінки флікера, такі як короточасний (Pst) і довготривалий (Plt) індекси. Відповідно до стандарту ІЕС 61000-4-15, ці показники є універсальними критеріями для оцінки рівня флікера у промислових і побутових системах електропостачання. Додатково для дослідження флікера застосовуються програмні середовища, такі як MATLAB, які дозволяють моделювати роботу електричних мереж з нелінійними навантаженнями. Моделювання сприяє поглибленому розумінню механізмів виникнення флікера та його взаємодії з іншими компонентами мережі. Це також відкриває можливості для тестування різних підходів до мінімізації його впливу.

**Висновки.** На основі аналізу зв'язку флікера з інтергармоніками запропоновано такі заходи:

- Використання активних фільтрів для зниження рівня інтергармонік у критичних точках мережі.
- Оптимізація параметрів навантаження для мінімізації його нелінійності.
- Інтеграція розроблених алгоритмів ідентифікації джерел флікера в системи моніторингу якості електроенергії.

Таким чином, сучасні підходи до аналізу флікера базуються на гармонічному аналізі, оцінці інтергармонічної потужності, часових характеристиках коливань напруги та інтегральних оцінках рівня флікера. Їхня інтеграція з інструментами математичного моделювання створює основу для ідентифікації джерел цього явища та розробки ефективних заходів для підвищення якості електропостачання.

#### **Список використаних джерел:**

1. Карпов, О.Є. Спектральний аналіз як інструмент оцінки якості електричної енергії // Вісник Технічного університету. – 2020. – № 12. – С. 45–51.
2. Сидоренко, П.М., & Головін, В.О. Інтергармоніки в системах електропостачання: аналіз та вплив на якість енергії // Енергетика та електротехніка. – 2022. – № 3. – С. 78–85.
3. Горбатюк, О.С., & Коваленко, В.П. Методи оцінки флікера в сучасних електричних мережах // Збірник наукових праць НТУУ "КПІ". – 2023. – № 4. – С. 95–103.

Юрченко О.О., магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент Прокопенко В.В.,  
кафедра електропостачання  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## СТАН ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЦІ В УКРАЇНІ

**Анотація.** *Завдяки постійному прогресу в галузі електротехніки в Україні, електротехніка поступово розвивається в напрямку автоматизації, що надає новий імпульс розвитку традиційних електротехнічних технологій. Однак через слабку базу електротехнічного будівництва в Україні рівень розвитку електротехніки в деяких регіонах все ще залишається порівняно низьким. Основна увага приділяється аналізу застосування таких технологій, як електротехнічний моніторинг, автоматизація диспетчеризації електромереж, електротехнічні рішення для підстанцій тощо. У результаті конкретних досліджень та аналізу встановлено, що за однакових умов, коли головний вимикач ввідної лінії має потужність 630А, надійність енергопостачання системи значно підвищується. Крім того, впровадження технологій електротехнічного моніторингу та інших автоматизаційних рішень спричинило безпрецедентні зміни в електротехнічній галузі. Застосування електротехнічних та автоматизаційних технологій у проекти електротехніки дозволяє ефективно підвищити загальну ефективність функціонування системи та сприяти швидкому розвитку електротехнічної індустрії України.*

**Ключові слова:** *електротехніка та технологія автоматизації, електротехніка, технологія електричного моніторингу, електротехніка підстанції*

**Вступ.** Електротехніка та автоматизація відіграють надзвичайно важливу роль у галузі електротехніки і широко застосовуються в різних індустріях, включаючи звичайні побутові електричні мережі. Технології електротехніки та автоматизації знаходять застосування в повсякденному житті людей і відіграють важливу роль у розвитку національної економіки. У різних високотехнологічних галузях електротехніка також привертає велику увагу, а розвиток комп'ютерних технологій надав нового імпульсу розвитку електротехніки та технологій автоматизації.

**Мета та завдання дослідження.** Метою цієї статті є аналіз застосування електротехнічних та автоматизаційних технологій у галузі електротехніки.

**Матеріал та результати досліджень.** Електротехніка та технології автоматизації почали розвиватися відносно рано в західних індустріалізованих країнах. Зокрема, Роналдс зазначав, що електротехніка в традиційному розумінні включає виробництво електронних продуктів, тоді як сучасна електротехніка охоплює широкий спектр сфер, таких як електроніка, фотоніка та пов'язані інженерні галузі. Вона є синонімом багатьох проєктів і є конкретним відображенням розвитку сучасної науки і технологій [1]. У подальшому електротехніка та технології автоматизації в нашій країні зазнали значного покращення і швидкого розвитку, що призвело до появи численних наукових досягнень.

Серед цих досліджень Ву Фен зазначив, що застосування технологій електротехнічної автоматизації в різних галузях покращує функцію передачі сигналу, забезпечує з'єднання компонентів, сприяє вводу інформації у виробничі процеси та вдосконалює обробку сигналів [2].

Ця стаття спрямована на аналіз застосування електротехнічних і автоматизаційних технологій у галузі електротехніки. У ній розглядаються технології електротехнічного

моніторингу, автоматизація диспетчеризації електромереж, електротехніка підстанцій тощо. Стаття викладає основні аспекти електротехніки та технологій автоматизації, а також аналізує переваги їх застосування в електротехнічній сфері. Порівнюючи вплив різних напруг на стабільність енергетичної системи та роль технологій моніторингу у розвитку електротехніки, стаття доходить висновку, що електротехніка та технології автоматизації здатні значно прискорити процес автоматизації та сприяти швидкому розвитку електротехнічної галузі.

*Технічні дослідження застосування технологій електротехніки та автоматизації в електротехніці:*

1. Технології електромоніторингу.

(1) Застосування технології дистанційного моніторингу в електротехніці. Технологія дистанційного моніторингу передбачає використання комп'ютерних терміналів для дистанційного керування всім обладнанням у межах електротехнічної системи. Технологія реального часу дистанційного моніторингу дозволила знизити витрати на кабелі, матеріали та ручний монтаж. Раціональне та ефективне використання дистанційної технології з високою ефективністю в електротехніці не лише підвищує продуктивність роботи, а й перетворює електротехнічну галузь на високопродуктивну та малозатратну промисловість [3].

Звичайно, впровадження технології дистанційного моніторингу в електронну інженерію має як переваги, так і недоліки. Оскільки робота серверів обмежена певними умовами, надмірний обсяг передачі даних та погана якість прийому сигналу можуть впливати на реалізацію функції дистанційного моніторингу. На сьогоднішній день обладнання зв'язку в нашій країні ще не є досконалим, що робить технологію дистанційного моніторингу придатною лише для невеликих електростанцій з хорошими сигналами зв'язку, але непридатною для систем автоматизації на великих електростанціях [4].

(2) Застосування централізованої технології моніторингу в електротехніці. Виникнення централізованої технології моніторингу змінило традиційний підхід до моніторингу. Сьогодні всі об'єкти, що потребують моніторингу в електротехніці, об'єднуються в одну систему моніторингу. Це дозволяє скоротити кількість кабелів та процесорів, знижуючи вартість системи, а також підвищуючи її надійність та безпеку [5].

Крім того, централізована технологія моніторингу змінила підходи до підключення пристроїв, усунула проблеми з відмовами з'єднань та забезпечила довготривалу ефективну роботу всього електрообладнання в електротехнічній системі. Це дозволило скоротити втрати, пов'язані з відмовами електротехнічного обладнання [6]. Таким чином, для зниження вартості проєктів і підвищення ефективності роботи електротехнічних систем у майбутньому централізована технологія моніторингу має широко застосовуватися.

(3) Застосування технології моніторингу на базі шини (Fieldbus) в електротехніці. Сьогодні технологія моніторингу на базі шини (Fieldbus) є однією з найефективніших та найпоширеніших у електротехніці. Оскільки системи Fieldbus можуть бути розроблені з урахуванням фактичних інтервалів в електротехнічній системі, вони мають високий ступінь цільового використання і забезпечують більш ефективний моніторинг [7].

Крім того, така технологія підтримує дистанційний моніторинг. Використання Fieldbus, яке передбачає підключення електрообладнання до системи моніторингу через мережу зв'язку, дозволяє значно зменшити потребу в термінальних шафах, ізолюючих пристроях та інших допоміжних елементах, а також у кабелях. Це знижує вартість електротехнічного обладнання та спрощує його монтаж [8]. Завдяки розвитку сучасних мережевих технологій усі пристрої в системі Fieldbus пов'язані між собою за допомогою мережі зв'язку. Це робить систему гнучкою та автономною, вирішуючи проблему відмови всієї системи через несправність одного пристрою.

2. Автоматизація диспетчеризації енергосистеми у практичному застосуванні електротехніки.

## VII НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МАГІСТРАНТІВ ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ВАСИЛЯ МИКОЛАЙОВИЧА ВІНОСЛАВСЬКОГО

Система автоматизації диспетчеризації енергосистеми, що використовується в електротехніці, складається переважно з комп'ютерної мережі, великого рідкокристалічного дисплея, серверів і робочих станцій. У всій автоматизованій системі диспетчерський центр енергосистеми, який є ключовою ланкою між усім обладнанням у системі, відіграє важливу роль в електротехнічній галузі [9].

Таким чином, автоматизацію диспетчеризації енергосистеми можна реалізувати лише за умови, що обладнання відповідатиме масштабам і функціональним вимогам електротехніки. Як контрольний центр усієї електротехнічної системи, обладнання диспетчерського центру має вирішальне значення для фактичної роботи системи диспетчеризації енергосистеми.

*Експериментальні дослідження в галузі електротехніки та технологій автоматизації в електротехніці:*

### 1. Експеримент із системою електропостачання.

Основне підключення в системі електропостачання забезпечує зовнішнє мостове з'єднання. На верхній частині ввідного електричного щита встановлюються роз'єднувач і пристрої захисту від перенапруг, які не можуть ефективно працювати при виникненні навантаження, що часто призводить до перекриттів і спрацьовування захисту на ввідних і вивідних лініях.

Для реконструкції системи можна застосувати такі методи: змінити режим мостового з'єднання та встановити два ввідні вимикачі всередині високовольтного комутаційного обладнання на 6 кВ. Оскільки початковий ввідний вимикач не відповідає вимогам застосування, необхідно змінити струм основного ввідного пристрою. Одночасно вздовж допоміжного шахтного ствола закладаються два кабелі з поперечно-зшитого поліетиленовою ізоляцією, причому три кабелі з'єднуються паралельно для забезпечення електричної експлуатації. Це підвищує надійність системи електропостачання.

### 2. Експеримент із системою електромоніторингу.

Застосування технологій автоматизації в електротехніці на підстанціях значно підвищило ефективність і якість їхньої роботи. Це пов'язано з тим, що автоматизація дозволяє здійснювати всебічний моніторинг підстанцій, своєчасно виявляти проблеми й уживати відповідних заходів для їхнього усунення. Це не лише дозволяє ефективно уникати ризиків, а й зменшує обсяг роботи персоналу підстанцій, підвищуючи продуктивність.

Наприклад, упродовж останніх років на підстанціях поступово впроваджується мікрокомп'ютерна технологія моніторингу. Ця технологія повністю реалізує дистанційний моніторинг і дистанційне управління, а також сприяє релейному захисту завдяки мікрокомп'ютерному моніторингу.

*Експериментальний аналіз технологій електротехніки та автоматизації в електротехнічних застосуваннях:*

### 1. Експериментальний аналіз системи електропостачання.

При використанні режиму повного мостового з'єднання обидва ввідні вимикачі розташовуються всередині високовольтного комутаційного обладнання на 6 кВ. Проте один із ввідних основних вимикачів має струм 400А, а інший — 630А. Було проведено аналіз і порівняння надійності системи електропостачання залежно від цих параметрів. Результати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Аналіз даних системи електропостачання

Напруга ввідного вимикача	6 кВ	6 кВ
Струм основного ввідного вимикача	400А	630А
Надійність електропостачання	Загальна	Добра

З таблиці видно, що за однакових умов різні струми ввідних основних вимикачів по-різному впливають на надійність системи. При струмі 630А надійність системи електропостачання краща.

У минулій практиці, якщо оператор здійснював дистанційне керування процесом за певної вихідної потужності обладнання, результати відрізнялися залежно від умов управління. У важкокерованих вузлах це могло негативно впливати на весь виробничий процес, знижуючи стабільність і безпеку системи.

Однак із постійним удосконаленням технологій автоматизації стало можливим автоматичне виконання аналізу та точне керування різними показниками. Завдяки адаптації до різних умов контрольовані параметри, наприклад, струм, можуть коригуватися, що підвищує надійність електропостачання системи.

*Експериментальний аналіз системи електромоніторингу.*

У цьому розділі проаналізовано значущість системи електромоніторингу в електротехніці шляхом порівняння стабільності електропостачання підстанції з використанням мікрокомп'ютерної технології моніторингу та без неї.

Під час експерименту стабільність електропостачання змінювалася зі збільшенням напруги електропостачання, але поступово виникали розбіжності між цими двома підходами (як показано на графіку).

Основою пристрою мікрокомп'ютерного захисту є мікропроцесор. Технологія мікрокомп'ютерного моніторингу характеризується високою стабільністю, знижуючи ризики використання. Крім того, ці пристрої мають багато варіантів налаштувань і високу чутливість, що ще більше підвищує їхню надійність.

Аналіз експериментальних даних показав, що зі збільшенням напруги стабільність електропостачання підстанції з мікрокомп'ютерною технологією моніторингу дещо знижується, але залишається на високому рівні. Водночас стабільність підстанцій без цієї технології є меншою з самого початку, і згодом спостерігається значне відставання.

Це свідчить про важливу роль технології електромоніторингу в електротехніці.

Крім того, на багатьох підстанціях використовується технологія DC-екранів [10]. Ці екрани підтримують дистанційний моніторинг і є сучасною цифровою технологією, яка забезпечує захист та контроль обладнання. Вони мають просту конструкцію, легкі в експлуатації й дозволяють дистанційно отримувати параметри живлення, що значно спрощує роботу підстанцій.

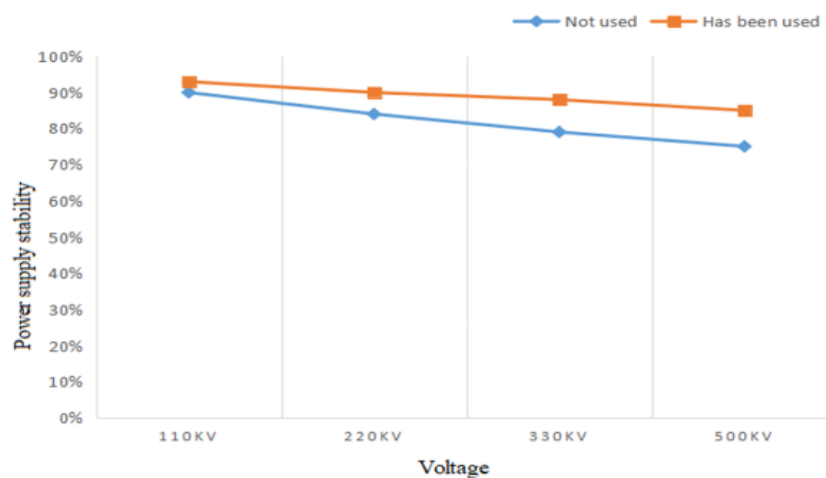


Рисунок 1 — Аналіз даних системи електричного моніторингу

**Висновки.** У цій роботі проаналізовано різні застосування електротехніки та технологій автоматизації в електротехніці, включаючи технології електромоніторингу,

автоматизацію диспетчеризації енергомереж і електротехнічні системи підстанцій. Встановлено, що електротехніка та технології автоматизації широко застосовуються в електротехнічних системах, що значно підвищує рівень автоматизації обладнання.

Крім того, використання різноманітних технологій електротехніки та автоматизації сприяло прискоренню розвитку електротехнічної галузі, підвищило стабільність, надійність і безпеку різних електричних систем. Зі стрімким розвитком науки і техніки електротехніка та технології автоматизації відкривають для електротехнічної галузі нові горизонти, реалізують інтелектуальне управління електрообладнанням і втілюють ідею інтелектуального способу життя.

Тому, для того щоб сприяти безперервному та глибокому розвитку електротехнічної галузі, необхідно повною мірою використовувати технології електротехніки та автоматизації, сприяючи сталому розвитку економіки України.

#### **Список використаних джерел:**

1. Ronalds, Beverley F. Francis Ronalds (1788–1873): The First Electrical Engineer?. *Proceedings of the IEEE*, 2016, 104(7):1489-1498.
2. Wu Feng, Gong, Jing-hai, Fu, Kun. Application of back analysis on laterally loaded single pile. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, 2015, 20(6):696-702.
3. Liu Li-Hsiang, Liu Lee-Cheng. Analysis of interlocking performances on non-oriented electrical steels. *AIP Advances*, 2018, 8(5):056605.
4. Goel, Vishu, Anderson, Philip, Hall, Jeremy, Robinson, Fiona, Bohm, Siva. Application of Co–Ni–P Coating on Grain-Oriented Electrical Steel. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2016, 52(4):1-8.
5. Heymann, Matthias. On rotation, for the curious technician and engineer. *Metascience*, 2018, 27(1):177-178.
6. Dang, Angela, Offurum, Chieke, Morgan, Colter. Effect of Commodity Prices on the Engineer, the Industry, and the World. *The Way Ahead*, 2015, 11(02):25-27.
7. Quintern J., Dietz Volker. Application of functional electrical stimulation in paraplegic patients. *NeuroRehabilitation*, 2017, 10(3):205-250.
8. Kennouche D., Fang Q., Blum L., Stolten D. Analysis of the Cathode Electrical Contact in SOFC Stacks. *Journal of The Electrochemical Society*, 2018, 165(9):F677 F683.
9. Haas, Stefan, Mair, Mathias, Ellermann, Katrin. Magneto-Structural analysis of rotating electrical machines. *PAMM*, 2016, 16(1):445-446.
10. Chen, Lun-Chun, Yeh, Mu-Shih, Lin, Yu-Ru, Lin, Ko-Wei, Wu, Min-Hsin, Thirunavukkarasu, Vasanthan, Wu, Yung-Chun. The physical analysis on electrical junction of junctionless FET. *AIP Advances*, 2017, 7(2):025301.

Ступеньков Д.С., магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент Прокопенко В.В.,  
кафедра електропостачання  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА З ВИГОТОВЛЕННЯ КОМБІКОРМУ**

**Анотація.** *Проект модернізації енергопостачання підприємства з виготовлення комбікорму включає створення електроенергетичного комплексу з розподіленою генерацією, який інтегрує сонячну електростанцію, систему накопичення енергії, внутрішню Micro Grid мережу та зарядні станції для електромобілів. Розроблено проекти для стабілізації електропостачання, зокрема створення сонячної електростанції та систем накопичення енергії, що забезпечить безперервність виробництва навіть у разі відсутності зовнішнього постачання енергії. Проект передбачає встановлення системи керування енергією (EMS), яка оптимізуватиме споживання електроенергії та інтегруватиме відновлювані джерела енергії. Таким чином, дана магістерська робота представляє собою комплексне дослідження, яке сприяє підвищенню енергоефективності та сталому розвитку промислових підприємств, враховуючи сучасні виклики і тенденції у сфері енергетики.*

**Ключові слова:** *енергоефективність, модернізація енергопостачання, електроенергетичний комплекс, розподілена генерація, сонячна електростанція, система накопичення енергії, внутрішня Micro Grid мережа, зарядні станції для електромобілів, система управління енергією (EMS), відновлювані джерела енергії, автономність енергопостачання, стабільність енергопостачання, екологічна стійкість, конкурентоспроможність підприємства, сталий розвиток, інноваційні рішення в енергетиці, витрати на енергопостачання, генератори, безперебійне функціонування підприємства.*

**Вступ.** В сучасних умовах промислові підприємства стикаються з серйозними енергетичними викликами, які вимагають пошуку ефективних рішень для зниження витрат та підвищення стабільності енергопостачання. Актуальність даного дослідження зумовлена необхідністю забезпечення енергоефективності та екологічної стійкості підприємств через впровадження інноваційних технологій. У цій статті представлено проект модернізації енергетичного комплексу підприємства з виготовлення комбікорму, яке передбачає застосування розподіленої генерації та сучасних систем управління енергією [1]. Впровадження сонячних електростанцій, систем накопичення енергії та внутрішньої Micro Grid мережі дозволить суттєво знизити залежність від централізованих енергосистем та забезпечити безперебійне функціонування виробництва. Деталізуються основні технологічні рішення та очікуваний економічний ефект від реалізації проекту, що підкреслює його значущість у контексті сталого розвитку та конкурентоспроможності підприємств.

**Мета та завдання дослідження.** Метою даної магістерської дисертації полягає в підвищенні енергоефективності підприємства з виготовлення комбікорму шляхом впровадження комплексного енергетичного комплексу з розподіленою генерацією та сучасними системами управління енергією. Це включає зниження витрат на енергопостачання, покращення стабільності енергопостачання та підвищення екологічної стійкості підприємства.



**Наукова новизна** в тому, що пропонується зниження витрат на енергопостачання за рахунок впровадження комплексу з розподіленою генерацією та сучасними системами управління енергією [2].

**Матеріал і результати досліджень.** Сучасні підприємства стикаються з численними енергетичними викликами, зумовленими політичними конфліктами, економічними кризами та обмеженістю традиційних енергетичних ресурсів. Це вимагає впровадження інноваційних рішень для забезпечення стабільного енергопостачання та зниження залежності від централізованих систем. Розподілена генерація, яка базується на використанні локальних джерел енергії, дозволяє підприємствам досягти високого рівня автономності, що є критично важливим для безперебійної роботи [3]. Проект модернізації енергетичного комплексу підприємства з виготовлення комбікорму включає встановлення сонячної електростанції, системи накопичення енергії, внутрішньої Micro Grid мережі та зарядних станцій для електромобілів [4].

Обладнання для сушіння та гранулювання сировини є основним споживачем електроенергії на підприємстві, що підкреслює важливість стабільного енергопостачання для підтримки якості продукції. Максимальна потужність електричного навантаження становить 200 кВт, включаючи енергоспоживання сушарок, прес-грануляторів та інших механізмів. Додатково, встановлення зарядних станцій для електромобілів із загальною потужністю 66 кВт створює нові навантаження на енергосистему підприємства, враховуючи сучасні тенденції до електрифікації транспорту.

Енергоспоживання на підприємстві варіюється в залежності від сезону. Взимку воно може збільшуватися через необхідність додаткового обігріву виробничих приміщень та інтенсивнішого сушіння сировини, тоді як у літній період ці потреби знижуються, що впливає на загальне навантаження на енергосистему.

Для забезпечення безперебійного функціонування підприємства передбачено створення резервної системи електропостачання на базі генераторів та систем накопичення енергії, що дозволить уникнути зупинок виробництва і втрат сировини у разі перебоїв у постачанні енергії.

Проект також передбачає впровадження енергоефективної системи управління (Energy Management System, EMS), яка оптимізуватиме споживання електроенергії та інтегруватиме власні джерела генерації, такі як сонячні панелі. Основними компонентами EMS є датчики для збору даних, програмні алгоритми для аналізу та керування, а також інтерфейс для візуалізації даних і управління системою. Використання EMS дозволяє інтегрувати різні джерела енергії, включаючи відновлювані, і забезпечує надійність та ефективність енергопостачання підприємств, що робить їх більш конкурентоспроможними та екологічно стійкими.

Загальний економічний ефект від впровадження цих методів включає зниження витрат на електроенергію, покращення якості продукції за рахунок стабільного енергопостачання, відповідність екологічним стандартам та зменшення викидів, підвищення конкурентоспроможності підприємства та забезпечення його сталого розвитку. За умови успішного впровадження, строк окупності комплексного проекту може становити від 5 до 10 років, залежно від конкретних умов та масштабів інвестицій.

Загалом, впровадження електроенергетичного комплексу з розподіленою генерацією не лише забезпечить підвищення енергоефективності та сталий розвиток підприємства з виготовлення комбікорму, але й сприятиме його економічній вигоді та конкурентоздатності на глобальному ринку. Цей проект є особливо актуальним у сучасних умовах і перспективним для подальшого розвитку промислових об'єктів.

**Висновки.** Запропонований проект модернізації енергопостачання підприємства з виготовлення комбікорму демонструє значний потенціал підвищення енергоефективності завдяки впровадженню комплексу розподіленої генерації. Основними елементами цього комплексу є сонячна електростанція, система накопичення енергії, внутрішня Micro Grid

мережа та система управління енергією (EMS). Впровадження цих технологій дозволить забезпечити стабільність енергопостачання, знизити витрати на енергію, підвищити екологічну стійкість підприємства та відповідати сучасним екологічним стандартам.

**Список використаних джерел:**

1. СОХАЦЬКА О.М. Розподілена генерація як шлях до створення конкурентного біржового ринку електроенергії: завдання для повоєнної відбудови України. In: The 13th International scientific and practical conference “Implementation of modern technologies in science”(December 20-23, 2022) Varna, Bulgaria. International Science Group. 2022. 574 p. 2022. p. 112.

2. ПРОЦЬ Р. Дослідження основних перешкод в системі активного застосування альтернативних джерел енергії на макрорівні: виклики сучасності. Актуальні питання у сучасній науці, 2024, 7 (25).

3. СЕРЕДА, О. В.; ФЕДОРУСЬ, Л. А. Відновлювальна енергетика як перспективний напрям забезпечення сталого розвитку сільських територій. 2016, 2: 145-151.

4. ЧАЛА, В. С.; ОРЛОВСЬКА, Ю. В.; ГЛУЩЕНКО, А. В. Європейські практики інвестування зеленого будівництва: Підручник Д. Дніпро: Придніпровська держ. академія будівництва та архітектури, 2023.

Стецула В.Р., магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент Веремійчук Ю.А.,  
кафедра електропостачання  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ВДЕ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ У ЗАХІДНИХ РЕГІОНАХ УКРАЇНИ

**Анотація.** *В умовах військових дій у нашій країні порушується баланс між генерацією та споживанням електроенергії, тому питання власного електрозабезпечення сприяє будівництву ВДЕ малої потужності та розвитку ринку розподіленої генерації електроенергії, який включає сонячні електростанції (СЕС). Розвиток розосередженої генерації в оптовому електроенергетичному ринку спрямований на покращення надійності постачання електроенергії та забезпечення безпеки й гнучкості електричних мереж. Враховуючи релокацію промислових підприємств до західних регіонів та умови наявності власних джерел енергії сприяє розвитку ВДЕ малої потужності, окрім цього є актуальним напрямом досліджень, особливо в контексті глобальних змін клімату та зростання енергетичних потреб.*

**Ключові слова:** *ВДЕ малої потужності, розосередженої генерації, СЕС*

**Вступ.** Аналіз літературних джерел присвячений потенціалу різних видів ВДЕ, таких як сонячна, вітрова та біоенергетика, [1] демонструє про незначні та специфічні можливості західного регіону. Дослідники визначають ключові фактори, серед яких географічні особливості, кліматичні умови, рівень інвестицій, державна політика та рівень технологічного розвитку. Однак, незважаючи на значний потенціал, розвиток ВДЕ в західних регіонах України стикається з низкою бар'єрів, таких як недостатня інфраструктура, відсутність довгострокових інвестиційних програм та регуляторні обмеження.

Проведений аналіз досвіду інших країн [2], які досягли значних успіхів у розвитку відновлюваної енергетики малої потужності дозволяє виявити найефективніші моделі підтримки ВДЕ та визначити напрямки подальших досліджень. Зокрема, дослідники звертають увагу на важливість розвитку місцевих виробничих потужностей, залучення приватних інвестицій та створення сприятливого інвестиційного клімату. Крім того, важливим аспектом є підвищення енергоефективності та розвиток систем зберігання енергії, що дозволить стабілізувати роботу електромереж при значній частці ВДЕ малої потужності.

**Мета і завдання досліджень.** Метою даного дослідження є всебічний аналіз умов та факторів, що впливають на встановлення та розвиток відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) малої потужності у західних регіонах України.

**Матеріал і результати досліджень.** Проведено загальний аналіз умов та переваг встановлення ВДЕ в західних регіонах. При цьому використано статистичні дані та картографічні матеріали, які вказують на переважання певних видів ВДЕ у цих регіонах. Зокрема, виявлено, що висока рівень інсоляції у західних областях України є сприятливим фактором для встановлення сонячних електростанцій.

Проведено дослідження щодо розвитку ВДЕ в конкретних регіонах, серед яких визначено Тернопільську область, де до прийняття закону про ВДЕ та "зелений" тариф було підключено обмежену кількість сонячних електростанцій (СЕС), але після цього

спостерігалось масове зростання числа малих СЕС. Це свідчить про позитивний вплив законодавчих ініціатив на розвиток ВДЕ в регіоні.

На основі даних одного з районів електромереж в Тернопільській області можна сказати, що до 2019 року, було підключено до мережі 77 СЕС за «зеленим» тарифом. Після прийняття 2019 року кількість малих СЕС склала 162, в 2020 році 231 малих СЕС, в 2021 році – 324 малі СЕС, в 2022 році – 363 малих СЕС, та в 2023 році – 381 малих СЕС. Слід відмітити, що за останні 5 років масово підключати в своїх домогосподарствах сонячні електростанції.

Також у дослідженні відзначено розвиток когенераційних та біогазових об'єктів генерації енергії в регіоні. Дані типи станцій мають інші переваги та можливості, але в цілому сприяють диверсифікації енергетичного сектору та забезпеченню сталого розвитку [4]. Отже, результати дослідження підтверджують потенціал розвитку ВДЕ у західних регіонах України та необхідність подальшої підтримки цього напрямку урядом та бізнес-спільнотою.

У період з 2022 року до сьогодні були пошкоджені великі електростанції, що живили західні регіони, і виникла необхідність у використанні ВДЕ різних груп. Аналіз даних про навантаження та споживання західних регіонів в умовах воєнного стану дозволив оцінити потенціал ВДЕ у забезпеченні енергетичної незалежності регіонів. Крім того, програма релокації виробничих потужностей з деокупованих територій може стати додатковим стимулом для розвитку ВДЕ у західних регіонах.

**Висновки.** Аналіз ВДЕ західних регіонів показав, що досить велика кількість людей встановлюють в своїх домогосподарствах малі СЕС потужністю 30 кВт. При цьому такі СЕС є значно дешевшими, потребують меншої площі для їх монтажу. Такі системи прості установці та обслуговуванні, як правило, є більш надійними, оскільки мають менше компонентів. Встановлення в домогосподарстві системи ВДЕ робить його енергонезалежним, дозволяє заощадити кошти та захищає від перебоїв в електропостачанні.

Вибір між різними видами ВДЕ для західних регіонів України є стратегічним рішенням, що вимагає комплексного аналізу. Для регіонів з гірським рельєфом та значною кількістю сонячних днів протягом року (Закарпаття, Івано-Франківськ) оптимальним варіантом є встановлення сонячних електростанцій. Прибережні регіони та області з розлогими рівнинами (Волинь, Рівненщина, Тернопільщина) мають значний потенціал для розвитку вітроенергетики. Важливо зазначити, що для кожного конкретного проекту необхідно проводити детальне інженерно-геологічне обстеження та оцінку потенціалу.

### Список використаних джерел:

1. Marketintegrationofdistributedenergyresources: innovationlandscapebrief. URL: <https://cutt.ly/OdGqWXj>
2. CleanEnergyforallEuropeans. URL: <https://cutt.ly/tdGqt9M>
3. Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2712-19#Text>
4. Кабмін підписав меморандум із виробниками «зеленої» енергії, але не з усіма. URL: <https://cutt.ly/jdGwcVV>
5. <https://map.ua-energy.org/uk/dashboards/5/>

Ткач М.О., магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент Шовкалюк М.М.,  
кафедра електропостачання  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ СТВОРЕННЯ ІНТЕРНЕТ-ПЛАТОРМИ ДЛЯ СПРИЯННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПЛЕКСНИХ ПРОЄКТІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРІ

**Анотація.** Запропонована інтернет-платформи, яка дозволить ОСББ самостійно оцінити потенціал енергозбереження та сприятиме масштабній термомодернізації відповідно державної стратегії розвитку. Партнерами можуть виступати ЕСКО та консалтингові компанії, компанії-управителі, енергоаудитори, постачальники та ін.

**Ключові слова:** енергоспоживання, житлові багатоквартирні будинки, інтернет-платформа, SWOT-аналіз.

**Вступ.** У сучасних умовах енергетичної кризи питання енергоефективності житлового сектору набуває актуальності, адже багатоквартирні житлові будинки споживають значну кількість енергії через застарілу інфраструктуру та неефективні інженерні системи. Тема є актуальною для України, оскільки модернізація житлового сектору, як одного з найбільших споживачів енергетичних ресурсів, сприятиме забезпеченню енергетичної незалежності країни та зменшенню впливу на довкілля. У даному дослідженні розглянуто один із інструментів для підвищення енергоефективності в житловому фонді.

**Мета і завдання досліджень.** Метою дослідження є розробка стартап-проєкту, ідея якого полягає у створенні інтуїтивно зрозумілої веб-платформи, яка дозволить об'єднанням співвласників багатоквартирних будинків (ОСББ) самостійно оцінити потенціал енергозбереження свого будинку та врахувати нормативні вимоги для залучення фінансування комплексних проєктів термомодернізації за різними програмами підтримки.

**Завдання дослідження:** розробити структуру та архітектуру веб-платформи, яка дозволить об'єднанням співвласників багатоквартирних будинків (ОСББ) самостійно оцінити потенціал енергозбереження свого будинку; розробити стартап-проєкт.

**Наукова новизна** одержаних результатів полягає у вдосконаленні процедур управління енергоспоживанням житлових багатоквартирних будівель шляхом розробки веб-платформи для оцінювання потенціалу енергозбереження для ОСББ.

**Матеріал і результати досліджень.** Платформа надає можливість провести попередній аналіз на основі введених даних про будівлю та її енергоспоживання, володіє базою даних про типові будівлі, що постійно оновлюється і на основі технології штучного інтелекту (ШІ) дозволить запропонувати швидкі рекомендації щодо варіантів модернізації будівель. На сьогодні штучний інтелект надає можливості щодо персоналізації рішень, тобто надання швидких рекомендації, орієнтованих на конкретну житлову будівлю з урахуванням її конструктивних особливостей, режимів експлуатації, можливостей фінансування дороговартісних заходів з підвищення енергоефективності. Крім того, платформа дозволить також автоматизувати процеси документування та створення звітності.

Цей інструмент дозволить власникам зменшити витрати на експлуатацію будівлі та покращити умови мікроклімату в приміщеннях, а також після реалізації рекомендованих заходів довести теплотехнічні характеристики огорожень до діючих норм [1].

## VII НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МАГІСТРАНТІВ ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ВАСИЛЯ МИКОЛАЙОВИЧА ВІНОСЛАВСЬКОГО

Опис основних функціональних можливостей інтернет-платформи:

1. Модуль інтелектуального енергоаудиту:

- збір даних про будівлю: площа, кількість поверхів, тип утеплення, вікна, опалювальна система; збір даних з відкритих джерел (кадастрових реєстрів, супутникових знімків, відгуків тощо);

- прогнозування енергоспоживання з урахуванням погодних умов, цін на енергоносії та інших факторів;

- визначення слабких місць і персоналізовані рекомендації: надання рекомендацій з урахуванням особливостей конкретного будинку та бюджету ОСББ.

2. База знань:

- експертна система: надання відповідей на запитання користувачів щодо енергоефективності, законодавства, фінансування проектів та оновлення інформації;

- визначення трендів: ідентифікація нових технологій та матеріалів в галузі енергоефективності, питома вартість заходів «під ключ» (за даними з офіційних сайтів, інформації від Асоціації енергоаудиторів, системи Prozorro, даними з енергетичних сертифікатів житлових будівель, що проєктуються або реконструюються, даними Фонду енергоефективності, інформації від постачальників обладнання та ін.)

3. Маркетплейс виконавців з рейтингом на основі відгуків клієнтів та партнерів, досвіду роботи, сертифікації; підбір оптимальних методів для реалізації конкретного проєкту на основі профілю будівлі та вимог ОСББ, створення комерційних пропозицій

4. Фінансовий аналіз з прогнозуванням:

- прогнозування економії: моделювання різних сценаріїв розвитку подій з оцінкою потенційної економії від впровадження пакету заходів; розрахунок окупності;

- виконання техніко-економічних розрахунків за трьома пакетами заходів: мінімальний, оптимальний, максимальний з урахуванням горизонту планування, ставки дисконтування, питомих інвестицій, динаміки цін на енергоносії та ін.

Стартап-проєкт розроблявся на виконання вимог закону [2] з урахуванням рекомендацій [3].

Нижче в таблиці 1 наведено SWOT-аналіз, а в таблиці 2 – можливі технології.

Таблиця 1 – SWOT-аналіз проєкту

<b>Сильні сторони</b>	<b>Слабкі сторони</b>
<p><i>Інноваційність:</i> Використання ІІІ для автоматизації процесів.</p> <p><i>Зростаючий попит</i> на енергоефективні технології; інтерес до сталого розвитку.</p> <p><i>Можливість інтеграції:</i> доступ до баз даних, програм і ресурсів.</p> <p><i>Персоналізований підхід:</i> розробка індивідуальних рішень.</p> <p><i>Партнерства:</i> нові ринки.</p> <p><i>Якість послуг:</i> високий рівень експертів і партнерів.</p> <p><i>Гнучкість та адаптивність:</i> швидка реакція на зміни.</p>	<p><i>Недостатній досвід</i> у управлінні проєктами, роботі з ОСББ</p> <p><i>Фінансові обмеження:</i> високі початкові витрати на розробку.</p> <p><i>Конкуренція:</i> з інформаційними платформами консалтингових компаній</p> <p><i>Залежність від зовнішніх факторів:</i> Ефективність платформи може залежати від якості даних, стабільності мережі, зовнішніх факторів. Успіх стартапу може залежати від розвитку технологій.</p> <p>Регуляторні бар'єри: зміни державних будівельних норм і стандартів, правил.</p>
<b>Можливості</b>	<b>Загрози</b>
<p>Розвиток нових технологій.</p> <p>Залучення фінансування та грантів.</p> <p>Наявність державних стимулів. Зростаючий інтерес населення</p>	<p>Військова агресія РФ проти України</p> <p>Невизначеність економічної ситуації.</p> <p>Зміни в регуляторному середовищі, які можуть ускладнити діяльність.</p>

## VII НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МАГІСТРАНТІВ ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ВАСИЛЯ МИКОЛАЙОВИЧА ВІНОСЛАВСЬКОГО

Можливість розширення на нові ринки (комерційні будівлі).	Технологічні ризики, пов'язані з кібератаками або збоями. Інфляційні процеси, що внесуть корективи в показники проєктів
---	--

Таблиця 2 – Можливі технології для розвитку концепції інтернет-платформи

Штучний інтелект	Для аналізу даних про будівлю, підбору оптимальних заходів згідно будівельних норм [1] та прогнозування ефективності
Машинне навчання	Для постійного вдосконалення алгоритмів підбору заходів на основі нових даних
Бази даних	Для зберігання інформації про будівлі, програми енергоефективності та результатів аналізу
Хмарні технології	Для забезпечення масштабованості та доступності сервісу
Інтерфейси програмування	Для інтеграції з іншими системами, наприклад, системами управління будівлями

На рис.1 показано перелік додаткових ресурсів на інтернет-платформі.

Форум	Документи	Фінансування	Енергоаудити	Бібліотека	Проєкти
Голови ОСББ, енергоменеджери міст, енергоаудитори, управителі та ін.	Приклади заповнених документів, бланки	Вимоги інвесторів, рекомендації, приклади	Звіти з ЕА. Бланки ОЛ. Чек-листи. Ен. сертифікати	Закони ДБН ДСТУ Посібники	Альбоми типових рішень. ТУ. Авторський нагляд

Рисунок 1 – Перелік додаткових ресурсів для розміщення на інтернет-платформі

Партнерами проєкту можуть виступати Міністерство відновлення, територіальні громади, ЕСКО-компанії, консалтингові компанії, що працюють в сфері енергоефективності будівельного фонду, компанії-управителі в ЖКГ, представники компаній-продавців сучасного обладнання та матеріалів, проєктувальники, енергоаудитори та ін. Проведений аналіз ринку свідчить про існуючий попит на продукт, що підтверджується зростанням популярності енергоефективних рішень.

**Висновки.** Описано стартап-проєкт, ідея якого полягає у розробці інтернет-платформи для багатоквартирних будівель, яка дозволить об'єднанням співвласників багатоквартирних будинків самостійно оцінити потенціал енергозбереження свого будинку та сприятиме масштабній комплексній термомодернізації в житлово-комунальному господарстві України відповідно до затверджених державних стратегій розвитку. Для успішної реалізації стартап-проєкту необхідно вжити заходів для мінімізації загроз та скористатися можливостями, для цього необхідно провести більш детальний аналіз ринку, розробити ефективний план фінансування та детальну маркетингову стратегію, спрямовану на різні цільові групи.

### Список використаних джерел:

1. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. К. 2022, 27 с.
2. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України 2118-VIII, ред. від 30.06.2024. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>

3. Шевчук, Н. А. Стартап-проект. Навчальний посібник до виконання розділу магістерської дисертації «Розроблення стартап-проекту» [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. / Н. А. Шевчук, О. І. Андрусь – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 51 с.



УДК 690.9:

**Рабенко Є.О.**, магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент **Шовкалюк М.М.**,  
кафедра електропостачання  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ ЖИТЛОВОЇ БАГАТОКВАРТИРНОЇ БУДІВЛІ З РОЗРОБКОЮ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕРТИФІКАТУ**

**Анотація.** *Виконано поглиблений енергетичний аудит житлової будівлі з інструментальними вимірами, тепловізійною зйомкою та проведенням енергетичного моделювання показників енергоспоживання на потреби опалення, вентиляції, гарячого водопостачання, освітлення та охолодження та розроблено енергетичний сертифікат будівлі за діючими нормативними вимогами.*

**Ключові слова:** *енергетичне обстеження, житлова будівля, питоме енергоспоживання, термомодернізація*

**Вступ.** Будівельний фонд України має суттєво вищі питомі показники енергоспоживання, ніж в країнах ЄС, проте є значний потенціал енергозбереження, що складає близько 50-60%.

Із введенням в дію Закону України «Про енергоефективність будівель» [1] було впроваджено енергетичну сертифікацію за національною методикою розрахунку [2]. За діючими вимогами враховують відхилення розрахункових значень енергоспоживання від граничних показників при визначенні класу енергоефективності. Старий житловий фонду не відповідає діючим вимогам: теплотехнічні характеристики огорожень значно нижче за встановлені будівельні норми [3], а інженерні мережі мають низький клас енергоефективності [4]. Будівля є складною енергосистемою, для аналізу показників енергоспоживання якої застосовується системні підходи; тому актуальним є застосування енергетичного моделювання для вибору технічних рішень під час реалізації комплексних проєктів термомодернізації.

**Мета і завдання досліджень.** Метою дослідження є проведення енергетичного аудиту багатоквартирної будівлі та розробка рекомендації для впровадження заходів з енергозбереження з використанням спеціалізованих програмних продуктів.

Відповідно до мети роботи були поставлені такі **завдання**:

- провести енергетичне обстеження будівлі;
- розробити математичну модель для розрахунку питомого енергоспоживання та класу енергоефективності за національною методикою розрахунку;
- вивчити можливості програмних продуктів для моделювання енергетичних характеристик;
- обчислити енергоспоживання з використанням спеціалізованих програмних продуктів з розробкою енергосертифікату.

**Наукова новизна** полягає у огляді можливостей різних програмних продуктів для моделювання енергоспоживання та енергетичних характеристик, а також енергосертифікації багатоквартирних будівель в Україні.

**Матеріал і результати досліджень.** Об'єктом дослідження є 213-квартирний 9-ти поверховий житловий будинок, 2009 року побудови. В будівлі до початку військової агресії рф проживало близько 1000 мешканців, на даний момент – близько 600 осіб. Об'єкт побудовано з П-подібною компоновкою в плані за індивідуальним проєктом, з 5-ма парадними, даховою котельнею і неопалювальним підвалом та «теплим» горищем. На балансі будівлі є власне ГРП та трансформаторна підстанція (рис.1).



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд основного фасаду будівлі (а) та план забудови (б)

В ході проведеного дослідження в рамках магістерської дисертації було виконане детальне енергетичне обстеження будівлі, що включало виконання інструментальних вимірів, дослідження умов мікроклімату, виконання тепловізійної зйомки, уточнення режимів експлуатації будівлі, інженерного обладнання та дахової котельні. Були виконані розрахунки геометричних, теплотехнічних та енергетичних показників об'єкту, річного енергоспоживання будівлі за методикою національного стандарту [1], визначено клас енергоефективності будівлі.

Запропоновано заходи для комплексної термомодернізації згідно вимог [2].

Проведено фінансовий аналіз інвестицій та визначено економічний ефект від заходів по підвищенню рівня ефективності.

Розроблено енергетичний сертифікат згідно вимог законодавства [3].

Опори теплопередачі огорожень не відповідають існуючим вимогам [2]:

- зовнішні стіни  $R_{\Sigma \text{прі}}=2,256 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$  (склад стіни: цегла силікатна  $\lambda=0,87 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , мінеральна вата  $\lambda=0,055 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , гіпсокартон  $\lambda=0,21 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ );
- горищне перекриття  $R_{\Sigma \text{прі}}=1,071 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$  (склад конструкції: стяжка  $\lambda=0,93 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , залізобетон  $\lambda=2,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , керамзит ( $\lambda=0,19 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ );
- перекриття над підвалом  $R_{\Sigma \text{прі}}=0,717 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$  (залізобетон  $\lambda=2,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , керамзит  $\lambda=0,19 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , стяжка  $\lambda=0,93 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , плитка  $\lambda=0,51 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ );
- перекриття над проїздами  $R_{\Sigma \text{прі}}=2,883 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$  (пінопласт  $\lambda=0,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , залізобетон  $\lambda=2,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , стяжка  $\lambda=0,93 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , плитка  $\lambda=0,51 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ).

Приведений опір теплопередачі вікон обчислено з урахуванням застислої частини та частки обрамлення. Для основного типу вікон (4М-8-4М-8-4М) ця величина становить близько  $R_{\Sigma \text{прі}}=0,5 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$ . Опір теплопередачі вхідних дверей в парадні  $R_{\Sigma \text{прі}}=0,33 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$  (тип дверей - метал утеплений); технічних дверей  $R_{\Sigma \text{прі}}=0,4 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$ .

Режим експлуатації: графік опалення – 168 год/тиждень, графік охолодження – 112 год/тиждень; розрахункова внутрішня температура на опалення і охолодження складає відповідно 20 °С та 26 °С. Кратність повітрообміну за рахунок інфільтрації для природної вентиляції  $n_{\text{inf}}=0,56 \text{ год}^{-1}$  (за [4] при висоті приміщень 2,7 м).

Для кожного місяця обчислювалися значення енергопотребити для опалення та охолодження, а потім з урахуванням ефективності інженерних систем та обладнання визначалося енергоспоживання, за яким визначався клас енергоефективності в залежності від показника  $\Delta \text{EP}$ , який є відсотковою різницею між загальним показником питомого енергоспоживання,  $\text{EP}_{\text{use}}$  та граничним питомим енергоспоживанням  $\text{EP}_p$ .

Показник  $\Delta \text{EP}$  визначався за формулою, %:

$$\Delta_{EP} = \left[ \frac{EP_{use} - EP_p}{EP_p} \right] \cdot 100, \quad (1)$$

де  $EP_{use}$  – питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні, кВт·год/м<sup>2</sup>:

$$EP_{use} = EP_{H use} + EP_{C use}, \quad (2)$$

$EP_p$  – граничне питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні.

Діаграма значень річного енергоспоживання існуючої будівлі наведена на рис. 2.

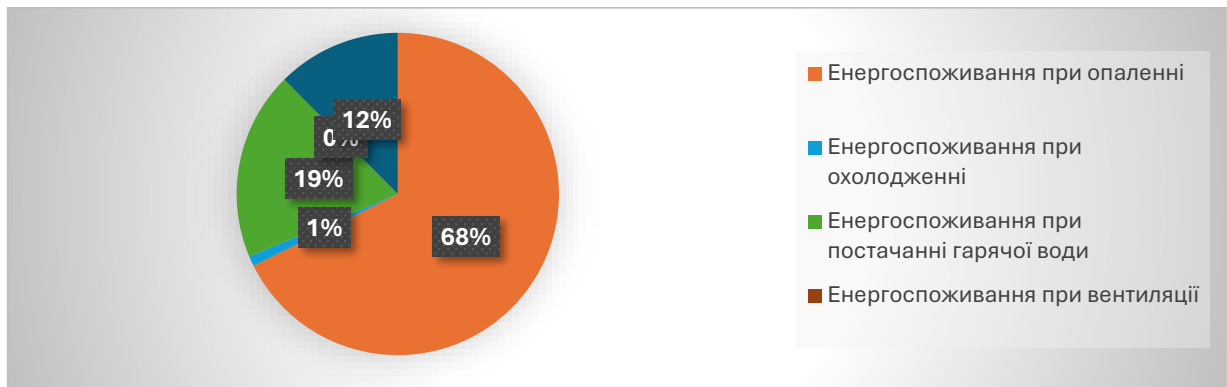


Рисунок 2 – Діаграма річного енергоспоживання існуючої будівлі

Розраховане питоме енергоспоживання на опалення та охолодження існуючої житлової будівлі становить 97 кВт·год/м<sup>2</sup>, гранично допустиме значення – 85кВт·год/м<sup>2</sup>, тобто будівля потребує комплексної термомодернізації.

Розрахований клас енергоефективності для існуючої – Д. Запропоновано наступні заходи: встановлення гібридної сонячної електростанції на даху будівлі потужністю 20 кВт, утеплення фасадів та цоколю, утеплення горищного перекриття, заміна зовнішніх дверей та облаштування тамбурами входів, модернізація системи освітлення місць загального користування, заміна вікон в місцях загального користування, утеплення перекриття над неопалювальним підвалом, гідравлічне балансування системи опалення, поквартирний облік теплової енергії. Для вказаних заходів проведено оцінку технічної та економічної доцільності впровадження.

**Висновки.** Виконано енергетичне обстеження та прикладні дослідження енергетичних характеристик існуючої житлової багатоквартирної будівлі. Створено математичну модель та виконано порівняльні розрахунки енергоспоживання на різні потреби за допомогою спеціалізованого програмного продукту. Розроблено пропозиції для термомодернізації з урахуванням фактичних умов експлуатації, рекомендованих умов мікроклімату та запропоновано технічно та економічно обґрунтовані заходи з підвищення енергетичної ефективності. Розроблено енергетичний сертифікат будівлі, що дозволить в подальшому залучати фінансування за рахунок державних програм підтримки для даної будівлі, наприклад через Фонд енергоефективності.

#### Список використаних джерел:

1. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України 2118-VIII, ред. від 30.06.2024.

## **VII НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МАГІСТРАНТІВ ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ВАСИЛЯ МИКОЛАЙОВИЧА ВІНОСЛАВСЬКОГО**

---

2. ДСТУ 9190:2022 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції та гарячого водопостачання.
3. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель.  
ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція, кондиціонування.

**Вірик А.О.**, магістрант,  
науковий керівник: д.т.н., професор **Находов В.Ф.**,  
кафедра електропостачання  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ОПТИМІЗАЦІЙНИЙ РОЗПОДІЛ ВИТРАТ УЧАСНИКІВ БАЛАНСУЮЧОЇ ГРУПИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ БАЛАНСОМ**

***Анотація.** Дослідження зосереджено на виборі оптимального підходу до перерозподілу небалансів, який враховує особливості кожного учасника групи, включаючи виробників із відновлюваних джерел енергії та постачальників.*

**Ключові слова:** *балансуюча група, небаланс, компенсація, метод, механізм, взаємодія, розподіл, похибка.*

**Вступ.** Оптимізація роботи балансуючих груп є ключовим аспектом через зростання частки відновлюваних джерел та вимоги до стабільності енергосистеми, що особливо актуально в умовах пошкодження інфраструктури в Україні.

**Мета і завдання досліджень.** Порівняння та обґрунтування ефективних механізмів взаємодії учасників балансуючої групи для оптимізації витрат на компенсацію небалансів та підвищення стабільності енергосистеми.

**Матеріал і результати досліджень.** Відсоток небалансу розраховується як різниця між потенційною вигодою на ринку «на добу наперед» (РДН) та витратами/надходженнями від небалансів. Цей відсоток відображає додаткові витрати, які учасник балансуючої групи несе через відхилення від заявлених обсягів електроспоживання чи генерації [1-2]. Зі збільшенням небалансу, ці витрати пропорційно зростають, впливаючи на кінцеву вартість електричної енергії за 1 кВт\*год для учасника, що дозволяє враховувати небаланси при визначенні тарифів для кінцевих споживачів.

Після отримання фактичних погодинних графіків споживання та генерації від учасників балансуючої групи, оператор проводить індивідуальні розрахунки небалансів кожного з учасників на основі їх заявлених обсягів за розрахунковий місяць.

Перший механізм компенсації небалансів, заснований на їх характері, позитивному або негативному. Небаланс вважається позитивним, якщо фактичний обсяг виробленої або спожитої електричної енергії більший за заявлений, і негативним — якщо фактичний обсяг менший ніж заявлений [2].

Даний механізм компенсації небалансів ґрунтується на характері небалансів: він повністю компенсує небаланс учасника, якщо його знак протилежний до групового, і частково — якщо вони однакові. Цей підхід дозволяє ефективно знижувати витрати учасників, коли їхні небаланси врівноважують загальний небаланс групи, що робить механізм вигідним у ситуаціях з різноспрямованими відхиленнями. Проте при однаковому характері небалансів групи та учасника компенсація відбувається пропорційно, що зберігає пропорційність початкового небалансу серед учасників, не враховуючи відсоткове відхилення учасників від заявлених обсягів. Цільову функцію даного методу можна зобразити у такому вигляді:

$$C_i^{hd} = \begin{cases} 0, i \notin K; \\ \frac{IMB_i^{hd}}{IMB_{BG}^{pos}} IMB_{BG}^{neg} C_{IMB}^{neg}, i \in K; \\ \frac{IMB_i^{hd}}{IMB_{BG}^{neg}} IMB_{BG}^{pos} C_{IMB}^{pos}, i \in K; \end{cases} \quad (1)$$

$$K = \{sign(IMB_i^{hd}) = sign(IMB_{BG}^{hd})\}. \quad (2)$$

Другий механізм базується на розподілі витрат балансуєчої групи пропорційно до абсолютних значень похибок прогнозів кожного учасника без урахування знаку похибки. Це означає, що компенсація розраховується виключно на основі величини відхилення фактичних обсягів споживання або генерації від заявлених, незалежно від того, чи є це відхилення позитивним чи негативним. Таким чином, чим більша похибка в прогнозуванні учасника, тим вищі витрати, які він покриває у балансуєчій групі. Це стимулює учасників більш точно прогнозувати свої обсяги, адже неточність у прогнозах напряду збільшує їх фінансове навантаження на покриття небалансів, та розраховується як:

$$C_i^{hd} = \frac{|IMB_i^{hd}|}{\sum |IMB_i^{hd}|} C_{BG}^{IMB}. \quad (3)$$

Отримані результати розподілу витрат для постачальників (П1–П6), сонячних станцій (С1–С8), газової (Г1) та біогазової генерації (Б1), розраховані за різними методами, відображено на рисунку 1.

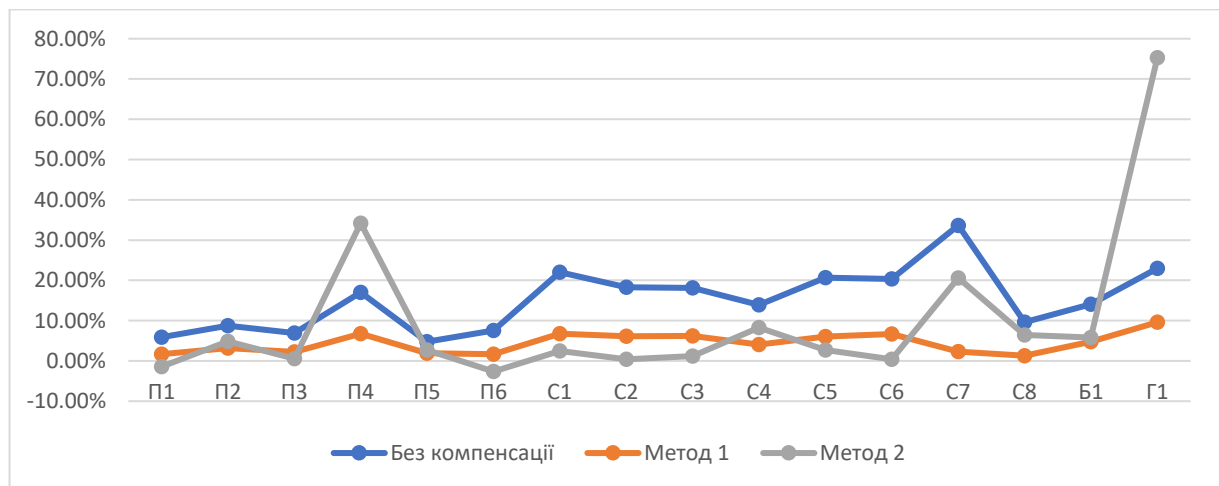


Рисунок 1 – розподіл витрат між учасниками балансуєчої групи

**Висновки.** Аналіз двох методів компенсації небалансів у балансуєчій групі виявив їхні переваги та обмеження, що допомагає обрати оптимальний варіант залежно від умов.

Перший метод, із рівномірним розподілом компенсації, знижує витрати для учасників із незначними відхиленнями, забезпечує стабільність і стимулює точність прогнозування. Проте він менш ефективний для учасників із великими похибками, що може призводити до зростання їхніх витрат.

Другий метод, із пропорційним підходом, враховує індивідуальні відхилення, точно розподіляє витрати й стимулює підвищення точності прогнозів. Однак він може збільшити фінансове навантаження для учасників із нестабільними чи великими відхиленнями.

## **VII НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МАГІСТРАНТІВ ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ВАСИЛЯ МИКОЛАЙОВИЧА ВІНОСЛАВСЬКОГО**

---

Рекомендується використовувати перший метод для груп із невеликими та стабільними відхиленнями, тоді як для різномірних груп доцільним є поєднання підходів, що забезпечить баланс між стабільністю витрат і підтримкою учасників із значними відхиленнями.

### **Список використаних джерел:**

1. Про ринок електричної енергії: Закон України від 13.04.2017 №2019-VIII.
2. Про затвердження Правил роздрібного ринку електричної енергії: ПОСТАНОВА НКРЕКП від 14.03.2018 № 312.

Потьомкіна Г.Л., магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент Калінчик В.П.,  
кафедра електропостачання  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## РЕАЛІЗАЦІЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

**Анотація.** Данна стаття зосереджується на важливому завданні точного прогнозування споживання електроенергії, що є ключовою проблемою в сучасному суспільстві, де електроенергія необхідна для промисловості, охорони здоров'я і тд. Нейронні мережі, як потужний інструмент машинного навчання, демонструють значний потенціал у цій галузі. Ми розглядаємо різні архітектури нейронних мереж, такі як рекурентні нейронні мережі (RNN) та довгострокові короткочасні пам'яті (LSTM), та їхню здатність до точного прогнозування часових рядів споживання електроенергії.

**Ключові слова:** споживання електроенергії, нейронні мережі, оптимізація, аналіз даних, прогнозування, машинне навчання.

**Вступ.** Прогнозування промислового споживання електроенергії є найважливішим завданням, яке суттєво впливає на ефективність виробництва, оптимізацію витрат і загальну стабільність енергосистеми. Повномасштабна війна в Україні призвела до значних пошкоджень енергетичної інфраструктури та переліку проблем, що потребують врахування цих факторів в моделях прогнозування. Традиційні методи прогнозування часто мають обмежені можливості, особливо якщо мова йде про складні нелінійні взаємозв'язки та змінні умови. Саме тут на допомогу приходять методи машинного навчання, здатні аналізувати великі обсяги даних і виявляти складні закономірності [1]. Однак зростаюча складність енергетичних систем та інтеграція відновлюваних джерел енергії вимагають більш точних та надійних методів прогнозування [2]. Нейронні мережі, як потужний інструмент машинного навчання, демонструють значний потенціал у цій галузі [3].

**Мета і завдання досліджень.** Повномасштабна війна в Україні створила безпрецедентні виклики для енергетичної системи країни. Постійні обстріли енергооб'єктів, введення графіків погодинних обмежень та адаптація виробничих процесів до нових умов призвели до значної нестабільності в споживанні електроенергії. Точне прогнозування електричних навантажень в таких умовах є критично важливим для ефективного управління енергоресурсами, забезпечення стабільної роботи підприємств та мінімізації економічних втрат.

Постійні зміни в режимах роботи енергосистеми, аварійні відключення та інші фактори призводять до появи прогалин і шумів у даних, що ускладнює навчання моделей. Введення графіків погодинних обмежень, перехід на резервні джерела енергії та зміна виробничих процесів призводять до зміни структури споживання електроенергії, що вимагає адаптації моделей. Взаємозв'язки між різними факторами, що впливають на споживання електроенергії, стали більш складними та нелінійними, що ускладнює їх моделювання.

**Матеріал і результати досліджень.** Методи з використанням штучних нейронних мереж поширені не тільки в задачах короткострокового прогнозування електроспоживання, але і в побудові середньострокових і довгострокових прогнозів. Такі мережі складаються з безлічі нейронів вхідних / прихованих і вихідних шарів, які взаємодіють один з одним за допомогою нервових закінчень (синапсів) [1]. Структура моделі нейрона представлена на



рисунку 1, і складається з вхідних елементів  $X_1 \dots X_n$ , синапсів  $W_1 \dots W_n$ , нейрона, що реалізує функцію  $S$ , і виходу  $Y$ .

Математичний апарат нейрона представлений як:

$$S = \sum_{j=1}^n W_j X_j + W_0, \quad (1)$$

або

$$y = f(S). \quad (2)$$

де  $W_j$ -вага синапсу ( $j=1,2,\dots,n$ );  $W_0$  – значення зміщення;  $S$  – результат підсумовування;  $X_j$  – вхідний сигнал ( $j=1,2,\dots,n$ );  $n$  – число входів нейрона;  $f$  – функція активації.

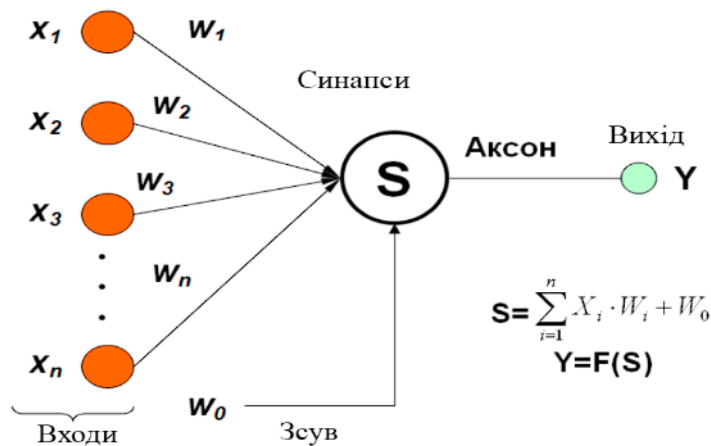


Рисунок 1 – Структура моделі нейрона короткострокового прогнозування електроспоживання.

В результаті функціонування нейрон формує вихідний сигнал  $S$ , відповідно до вхідними сигналами  $X_1 \dots X_n$ . При цьому для отримання прогнозу, нейронну мережу повинна бути навчена. У процесі навчання мережі підбираються значення зміщення ваг синапсів, таким чином, щоб вихідний сигнал мережі був якомога ближче до фактичного значення.

В даний час існує досить велика кількість методів навчання нейронної мережі, які було застосовано і для виконання завдань

Перевагами нейронної мережі є швидкі алгоритми навчання, а також, можливість роботи при наявності шумових вхідних сигналів. Надійність такої мережі може бути висока, при дотриманні вимог побудови структури з урахуванням надмірності нейронів, що залежать від кількості та вибірки інформативних ознак, сформованих для навчання штучної нейронної мережі.

Проаналізувавши сучасні моделі прогнозування електроспоживання підприємств, енергії на виробництві підприємств [2].

**Висновки.** Використання нейромережових моделей для прогнозування електричних навантажень значно підвищує точність прогнозів у порівнянні з традиційними методами [3]. Впровадження таких моделей сприяє оптимізації роботи енергосистеми, зниженню витрат і підвищенню надійності енергопостачання. Реалізація цих підходів є

перспективним напрямком для розвитку енергетичного сектору України та досягнення стратегічних цілей енергетичної безпеки та сталого розвитку.

**Список використаних джерел**

1. Jiachang Liu. Seasonal Short-Term Load Forecasting for Power Systems Based on Modal Decomposition and Feature-Fusion Multi-Algorithm Hybrid Neural Network Model/ Jiachang Liu ,Zhengwei Huang ,Junfeng Xiang,Lu Liu, Manlin Hu// Energy Engineering. October 2024. p. 3461-3486 <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2024EneE..121k3461L/abstract>
2. Калінчик В.П. ,Прогнозування показників енергоспоживання, генерації і вартості отриманої енергії/ Калінчик В.П., Буравльова М. Т., Калінчик В.В., Скосирев В.Г.// Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2020. - Том 31 (70) № 2, Частина 1. – С.243-249.
3. Лоскутов С.С. Прогнозування електричного навантаження на ієрархічних рівнях ОЕС України з використанням нейронної мережі типу LSTM / С.С.Лоскутов, П.В.Шиманюк // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. - 2021. - Вип. 59. - С. 81-85.

Синільник Я.С., магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент Веремійчук Ю.А.,  
кафедра електропостачання  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ЛІКУВАЛЬНО-ПРОФІЛАКТИЧНИХ ЗАКЛАДАХ

**Анотація.** У роботі розглянуто комплексний підхід до підвищення енергоефективності лікувально-профілактичних закладів, який передбачає створення сучасної енергетичної інфраструктури, що включає розподілену генерацію, інтеграцію сонячних електростанцій, систем накопичення енергії, модернізацію систем опалення, вентиляції та кондиціонування (HVAC), а також впровадження енергоменеджменту (EMS). Реалізація таких рішень забезпечує зниження енергоспоживання, витрат та екологічного впливу, водночас підвищуючи стабільність енергопостачання й автономність медичних установ [1, 3].

**Ключові слова:** енергоефективність, медичні заклади, розподілена генерація, системи накопичення енергії.

**Вступ.** Сучасна система охорони здоров'я України стикається з численними викликами у забезпеченні стабільного енергопостачання, що пов'язано з постійним зростанням цін на енергоносії, застарілістю інфраструктури та залежністю від централізованих енергетичних систем. Особливої актуальності ці питання набули в умовах повномасштабної війни, коли російська агресія спрямована на знищення енергетичної інфраструктури України. Ракетні удари та атаки дронами спричинили масштабні руйнування енергосистеми, що призвело до гострого дефіциту електроенергії у багатьох регіонах країни.

Лікувально-профілактичні заклади, як критично важливі об'єкти, особливо потребують безперервного енергопостачання для підтримання роботи життєво необхідного обладнання, включаючи апарати штучної вентиляції легенів, діагностичні установки та системи моніторингу. Відсутність електроенергії ставить під загрозу надання якісної медичної допомоги, що є неприпустимим у сучасних умовах.

У цих обставинах виникає нагальна потреба у модернізації енергетичних систем лікувально-профілактичних закладів з метою підвищення їхньої енергоефективності, забезпечення автономності та стабільності енергозабезпечення.

Ця робота присвячена розробці та обґрунтуванню впровадження сучасних енергетичних рішень для лікувально-профілактичних закладів. Проведені дослідження спрямовані на підвищення енергоефективності шляхом інтеграції розподіленої генерації, використання відновлюваних джерел енергії, модернізації систем HVAC та впровадження інтелектуальних систем управління енергоспоживанням.

**Мета та завдання досліджень.** Основною метою дослідження є підвищення енергоефективності лікувально-профілактичних закладів шляхом впровадження сучасних енергетичних технологій, які дозволяють зменшити витрати на енергопостачання, покращити екологічну стійкість, забезпечити стабільне енергопостачання та сприяти сталому розвитку медичної галузі [2].

**Матеріал і результати досліджень.** Сучасні лікувально-профілактичні заклади стикаються з численними енергетичними викликами, зумовленими зростанням витрат на енергоносії, застарілістю інфраструктури та залежністю від централізованих енергетичних мереж [3, 4]. Забезпечення стабільного енергопостачання є критично важливим для

підтримання роботи життєво необхідного обладнання, такого як апарати штучної вентиляції легенів чи діагностичні установки, особливо в умовах пікових навантажень або кризових ситуацій [5].

Для подолання цих викликів у роботі запропоновано впровадження розподіленої генерації, яка базується на використанні локальних джерел енергії [1]. Інтеграція сонячних електростанцій і систем накопичення енергії дозволяє медичним закладам забезпечити енергетичну автономність, що мінімізує залежність від зовнішніх постачальників енергії [2, 4]. У дослідженні враховано сезонну варіативність енергоспоживання: взимку потреби в енергії зростають через необхідність обігріву приміщень, тоді як влітку основне навантаження припадає на системи кондиціонування [6].

Одним із ключових рішень є модернізація систем HVAC, що дозволяє значно знизити тепловтрати та оптимізувати витрати енергії [3]. Крім того, передбачається впровадження системи управління енергією (EMS), яка забезпечує моніторинг і контроль усіх енергетичних потоків у закладі. Основними елементами EMS є датчики збору даних, програмні алгоритми аналізу, а також інтерфейс для візуалізації та управління енергосистемою [5].

У роботі також розглянуто резервне електропостачання на базі генераторів та систем накопичення енергії, що забезпечує надійність функціонування критично важливих підрозділів, таких як реанімація та операційні зали, навіть у разі перебоїв із зовнішнім постачанням енергії.

Економічний ефект від впровадження включає зниження витрат на енергоресурси до 30%, що позитивно впливає на бюджет медичних закладів. Екологічний ефект полягає у скороченні викидів CO<sub>2</sub> завдяки використанню відновлюваних джерел енергії. За оцінками, строк окупності запропонованих рішень становить 5–7 років залежно від масштабу інвестицій та умов експлуатації.

**Висновки.** Результати дослідження підтверджують доцільність впровадження енергоефективних рішень у лікувально-профілактичних закладах. Інтеграція сучасних технологій сприяє зниженню споживання енергії, забезпечує автономність та зменшує вплив на довкілля. Такі заходи є важливим кроком до сталого розвитку медичних установ та підвищення їх енергетичної безпеки.

#### **Список використаних джерел:**

1. СОХАЦЬКА, Олена Миколаївна. Сучасні підходи до управління енергоефективністю медичних закладів. Київ: Інститут енергетики, 2023.
2. ПРОЦЬ, Роман. Енергетична безпека медичних установ: інноваційні рішення. Науковий вісник, 2022, 18(3): 98–104.
3. СЕРЕДА, О. В.; ФЕДОРУСЬ, Л. А. Інтеграція відновлюваних джерел енергії у медичних закладах. Енергетичний форум, 2021, 3: 67–74.
4. ЄВРОПЕЙСЬКИЙ СОЮЗ. Програма розвитку енергоефективності в сфері охорони здоров'я в Україні. Брюссель, 2022.
5. ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ УКРАЇНИ. Рекомендації щодо модернізації енергетичних систем медичних закладів. Київ, 2023.
6. ПРОГРАМА ООН З РОЗВИТКУ. Енергоефективність у системі охорони здоров'я: аналітичний звіт. Київ, 2022

Загурський М.Ю., магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент Дерев'янку Д.Г.,  
кафедра електропостачання  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ГВП У БУДІВЛЯХ БЮДЖЕТНОЇ СФЕРИ

**Анотація.** У роботі розглянуто різноманітні технології ГВП у будівлях бюджетної сфери. Проведено співставний аналіз сучасних систем ГВП у будівлях бюджетної сфери. Проаналізовано переваги та недоліки впровадження різноманітних систем ГВП. Проаналізовано методи визначення параметрів різноманітних систем ГВП для будівель бюджетної сфери. На основі проведеного аналізу здійснено вибір оптимальної технології ГВП у будівлях бюджетної сфери залежно від бюджету та доступності енергоносіїв.

**Ключові слова:** енергоефективність, ГВП, будівлі, бюджетна сфера .

**Вступ.** Енергетична криза в Україні в наслідок ракетних обстрілів енергетичної інфраструктури та зростання цін на енергоресурси спонукають до впровадження сучасних технологій у системах гарячого водопостачання (ГВП) бюджетної сфери [2]. Дитячі садочки, школи, лікарні та адміністративні установи споживають значну частину енергоресурсів, що створює економічне навантаження на місцеві бюджети. У цьому контексті важливою є інтеграція енергоефективних та екологічно безпечних рішень, таких як теплові насоси, сонячні системи, газові котли та комбіновані системи. У даній роботі проведено порівняння ефективності основних технологій ГВП: теплових насосів (ТН) [3], сонячних систем [4], газових котлів і комбінованих рішень.

**Мета та завдання досліджень.** Мета цього дослідження – підвищення ефективності функціонування систем ГВП у будівлях бюджетної сфери шляхом вибору оптимальних технологічних рішень для умов України [2]. Впровадження сучасних технологій ГВП у будівлях бюджетної сфери є ключовим фактором для зменшення витрат на енергоресурси та скорочення викидів парникових газів.

**Матеріал і результати досліджень. Теплові насоси.** Теплові насоси забезпечують значну енергоефективність завдяки коефіцієнту перетворення (COP 3–5), використовуючи низькопотенційну енергію повітря, води або ґрунту [3]. Вони дозволяють зменшити залежність від традиційних енергоресурсів, проте потребують значних початкових інвестицій. Основними перевагами є низький рівень викидів CO<sub>2</sub> і стабільна робота впродовж усього року [1, 3]. Водночас витрати на встановлення залишаються бар'єром для впровадження у менш фінансово спроможних організаціях.

**Сонячні системи ГВП.** Сонячні колектори ефективні у регіонах із високою інсоляцією, забезпечуючи до 70% потреби у гарячій воді в літній період [4]. Проте, для зимових умов потрібні резервні джерела тепла. Високий рівень екологічності та низькі експлуатаційні витрати є головними перевагами цієї технології. Термін окупності залежить від рівня субсидій і тарифів на енергоносії, у середньому становить 6–10 років.

**Газові котли.** Газові котли залишаються найбільш розповсюдженим рішенням у бюджетній сфері через доступність природного газу та помірні початкові витрати. Водночас високий рівень викидів CO<sub>2</sub> і залежність від зростання цін на газ обмежують їхню доцільність у довгостроковій перспективі. Ефективність таких систем залежить від рівня модернізації теплотехнічного обладнання.

**Електричні котли.** Електричні котли є ефективним рішенням для гарячого водопостачання у будівлях бюджетної сфери, особливо в умовах доступу до стабільного

## VII НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МАГІСТРАНТІВ ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ВАСИЛЯ МИКОЛАЙОВИЧА ВІНОСЛАВСЬКОГО

електропостачання. Основні переваги електричних котлів включають: Відсутність прямих викидів CO<sub>2</sub>, що робить їх екологічно безпечними. Займають мінімум простору, що зручно для розташування у невеликих приміщеннях. Порівняно з тепловими насосами чи комбінованими системами, встановлення електричних котлів потребує менших початкових вкладень. Однак, електричні котли мають і певні недоліки: Через зростання тарифів на електроенергію. Їх ефективність знижується при перебоях в електропостачанні пов'язані з ракетними обстрілами енергетичної інфраструктури. Електричні котли доцільно використовувати у регіонах із низькими тарифами на електроенергію або за наявності резервного джерела живлення.

**Комбіновані системи.** Поєднання сонячних систем із газовими котлами або тепловими насосами дозволяє підвищити загальну ефективність систем ГВП. Такі системи забезпечують високу гнучкість, мінімізуючи експлуатаційні витрати, проте потребують значних капітальних вкладень. Їх ефективність досягає 80–90%, особливо у комплексних системах із автоматизованим регулюванням.

Таблиця 1 - Зведена таблиця порівняння технологій ГВП 1

Технологія	Енергоефективність (COP)	Викиди CO <sub>2</sub>	Початкові витрати	Експлуатаційні витрати	Екологічність	Гнучкість/Сезонність
Теплові насоси	3-5	низькі	високі	низькі	висока	висока
Сонячні системи	Залежність від сезону	низькі	високі	низькі	висока	Залежність від інсоляції
Газові котли	~0.9-1	високі	помірні	помірні	середня	стабільна
Електричні котли	~1	відсутні	низькі	високі	висока	стабільна
Комбіновані системи	4-6	низькі	Дуже високі	низькі	висока	висока

**Висновки.** Найкращою технологією ГВП для будівель бюджетної сфери є **комбіновані системи** (наприклад, теплові насоси разом із сонячними колекторами). Вони забезпечують високу енергоефективність, екологічність і низькі експлуатаційні витрати. Проте, у короткостроковій перспективі для обмежених бюджетів більш доцільним вибором можуть бути електричні або газові котли. Вибір технології залежить від кліматичних умов, бюджету та доступності енергоресурсів.

### Список використаних джерел:

1. Renewable Energy Systems: Design and Analysis, Elsevier, 2021.
2. Каплун В., "Енергетичний менеджмент бюджетної сфери", Київ, 2022.
3. Heinemeier K., "Heat Pump Applications in Low-Temperature Systems", IEA Heat Pump Centre, 2020.
4. Solar Water Heating Systems for Residential and Commercial Use: A Handbook for Planners and Installers, GIZ, 2022.

**СЕКЦІЇ 4-5. ІНЖИНІРИНГ ТА  
АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ  
КОМПЛЕКСІВ. МЕХАТРОНІКА  
ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ**

**Zeng Yan**, master's student  
supervisor: associate professor, Cand.tech.Sc. (Eng) **Торопов Антон**,  
Department of Automation of Electrotechnical and Mechatronic Complexes  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

## INVESTIGATIONS OF WASHING MACHINE DRUM DYNAMICS TAKING INTO ACCOUNT ECCENTRICITY OF TEXTILE POSITION

**Abstract.** *The paper proposes a mathematical model of an industrial washing machine considering the unevenness of the moment of inertia of the laundry. The model of an alternating current electric drive from the Simulink library is used and supplemented with a two-mass model of the kinematic part of the drum in discrete form.*

**Keywords:** *washing machine, drum, eccentricity, inertia oscillations, Simulink*

**Introduction.** Modern washing machines, especially in volumes in industry, have significant problems with the influence of eccentricity on bearings. For the old solutions this problem was solved by using robust housing with additional weight. But it leads to significant excess prices of machines and this solution would be replaced.

One of the possible ways of decreasing load eccentricity influence is uniform positioning of textiles while spinning. This would be solved by periodical low speed rotation at close of half rotation of drum and could be easily made using frequency inverter scheme for control induction motor for drum. Except of it there is a problem of solving task of defining eccentricity. This task could be solved using speed sensor of indirectly solved using voltage sensors of current sensors. It is easier to use speed sensor, installed at the shaft of induction motor. But for development of modern algorithms for positioning of textile would be used accurate mathematical model, which allows investigating drum dynamics with constant repeatability [2].

**Purpose and objectives.** The main aim of this work is to develop mathematical models of washing machine drum, controlled from frequency inverter.

**Material and results of the research.** One of the best solutions for modeling of high dynamics systems is to use MATLAB software and its appendix Simulink. The big advantage of this software is the existence of prepared models for AC current electric drives. For the typical electric drive with scalar control of voltage and frequency it is appropriate to use model called “AC2 Induction Motor Drive” [1]. This model has very big advantages such as the possibility to measure speed, DC voltage and stator currents, which should be used in control algorithm.

One of the disadvantages of such a scheme is absence of possibility to influence at inertia, connected to load shaft. This problem could be particularly solved using a two-mass model with separate parts of motor inertia and drum inertia. But, because of strong connection of them, it would be used significantly big value of rigidity gain. Another problem is that «AC2 Induction Motor Drive» model is in discrete format, so two-mass model should be also presented in discrete format.

Taking into account shown above advantages and disadvantages the model of washing machine electric drive takes a form, presented at figure 1. This model is presented in Simulink based on «AC2 Induction Motor Drive» with additional components from discrete library, which allows considering two-mass model with output value of drum speed.

Using oscilloscopes, it is possible to investigate behavior of motor parameters and influence of textile eccentricity and output rigid torque. Main parameter is rigid torque that is mainly



influences at bearing life. Also, there are used parameters for the hotel serving washing machine with 3 – phase induction motor 1,5 kW and nominal speed 1420 rpm. Control by IGBT transistors is made according to Kostenko law.

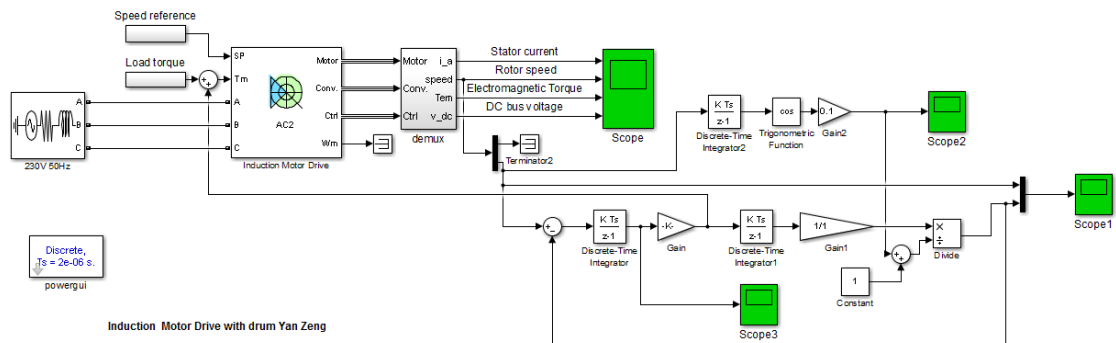


Figure 1 - Model of AC drive of washing machine considering eccentricity of load

For example, the trend of rigid torque with significant inertia changing while spinning is presented at figure 2. It is modeled start procedure with starting reference value as zero, for observing a transient, as a reaction for typical setpoint signal. At practice with reference value could be less different from zero.

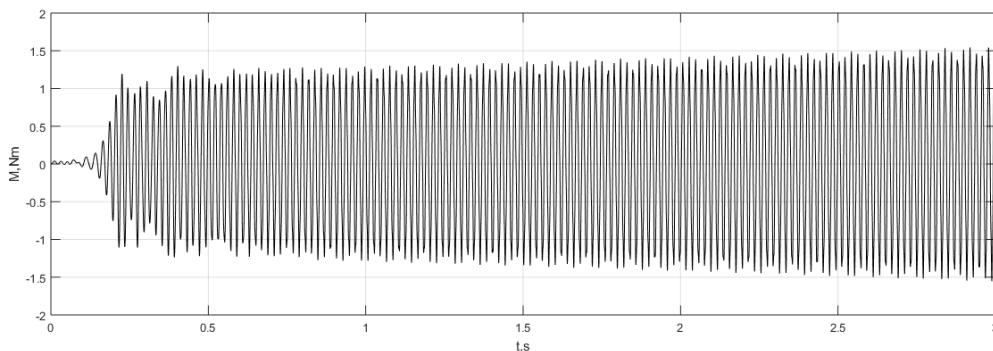


Figure 2 - Transient of rigid torque while spinning of drum

It is seen from transients that deviation of torque while spinning is 10% from nominal value. At high speeds it is not appropriate for use in long-term applications.

### Conclusions.

1. Using the two-mass model for the requested model of drum allows you to consider changing of inertia while rotation.
2. Fluctuations of rigid torque are significant while inappropriately positioning of laundry.
3. Existing of direct signals from actual speed, DC voltage and stator currents in this model allows to adjust regulator of speed and position while spinning of drum at high speeds.

### References:

1. Park, J.; Jeong, S.; Yoo, H. Dynamic Modeling of a Front-Loading Type Washing Machine and Model Reliability Investigation. *Machines* 2021, 9, 289. <https://doi.org/10.3390/machines9110289>
2. Pınar Boyraz, Mutlu Gündüz, Dynamic modeling of a horizontal washing machine and optimization of vibration characteristics using Genetic Algorithms, *Mechatronics*, Volume 23, Issue 6, 2013, Pages 581-593, ISSN 0957-4158, <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2013.05.006>.

UDC 621.311

**Trachuk A.R.**, PhD student,  
Scientific supervisor: Doctor of Technical Sciences, Prof. **Zaichenko Stefan**,  
Department of Automation of Electrotechnical and Mechatronic Complexes  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

## THE DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES AS A GUARANTEE OF IMPROVING UKRAINE'S ENERGY SECURITY

**Annotation.** *In the conditions of modern challenges, such as armed conflicts and global climate changes, the issue of Ukraine's energy security is gaining special importance in state policy. Renewable energy sources (RES), which include solar, wind energy and biomass, can significantly strengthen Ukraine's energy independence. The introduction of RES not only reduces dependence on imported energy resources, but also contributes to the creation of new jobs and economic growth.*

*The main factor in the development of RES is state support through the implementation of legislative initiatives and financial programs. Ukraine has significant potential in the fields of solar and wind energy, which allows reducing greenhouse gas emissions and reducing the negative impact on the environment. According to the data of the Ministry of Energy of Ukraine, by 2030 it is planned to significantly increase the share of RES in the overall energy balance.*

*The need to transition to RES is also emphasized by Ukraine's international obligations, particularly the association agreement with the EU, which provides for the integration of energy systems and the introduction of clean technologies. Investments in RES open new opportunities for technological development and reduction of energy costs in the long term.*

*Thus, the development of renewable energy sources is a decisive factor for improving Ukraine's energy security, ensuring energy independence and economic stability in the face of global challenges.*

**Keywords:** *RES (renewable energy sources), energy security, energy independence, solar energy, wind energy.*

**Introduction.** Today, in the conditions of the global energy crisis and climate change, the development of renewable energy sources is of strategic importance for Ukraine [1]. The use of natural resources, such as the sun, wind, water and biomass, not only contributes to environmental sustainability, but also significantly reduces the state's dependence on traditional sources of energy, especially imported ones [2]. Renewable energy makes it possible to diversify the country's energy resources, strengthening its energy security and independence [3].

**Purpose and objectives.** The main goal of the study is to analyze the potential of renewable energy sources in Ukraine and determine their role in ensuring Ukraine's energy security. Research tasks include:

- about the current state of development of renewable energy sources in Ukraine [2].
- finding legislative, economic and technical conditions for the introduction and stimulation of the use of renewable energy [3].
- in the definition of scientific novelty in the context of strategic approaches to the integration of renewable sources into the general energy system of Ukraine.
- proposals for optimizing the development of renewable sources, which will ensure the reliability and sustainability of the energy system in the long term.

**Material and results of the research.***Scientific novelty.* The scientific novelty consists in a comprehensive approach to considering renewable energy as a key element of the state's energy security [1]. For the first time, the study emphasizes the importance of integrating renewable sources into the energy system through infrastructure modernization and the creation of flexible and efficient energy markets [3].

*Assessment of the state of development.* Ukraine has significant potential for the use of renewable energy sources. For example, the potential of wind energy, especially in the coastal areas of the Black and Azov seas, is one of the highest in Europe. Solar energy, due to its spread, is also promising, especially in the southern regions of the country. However, the level of use of this potential remains at a low level due to various factors, such as an imperfect legal framework, lack of investment, and insufficient energy infrastructure.

*Economic and technical aspects.* To ensure the effective development of renewable energy, it is necessary to create a favorable environment for investors, with the help of state incentives and "green" tariffs. In addition, it is necessary to carry out research on the introduction of modern energy storage technologies and improve the efficiency of electricity transmission.

**Conclusions.** The development of renewable energy sources is an important component of Ukraine's energy security. It helps reduce dependence on imported fuel, reduce greenhouse gas emissions, and create new jobs. The state needs to develop a long-term strategy that will provide for the consistent introduction of renewable technologies and their integration into the overall energy system. Only a comprehensive approach to the development of renewable energy will be able to provide Ukraine with stability and independence in the energy sector, which is the basis for the country's sustainable economic development.

#### References:

1. World Bank. (2023). "Ukraine: Energy Sector Overview".
2. US Agency for International Development (USAID). (2021). "Ukraine Energy Security: An Analysis of the Current Situation and Future Opportunities".
3. European Bank for Reconstruction and Development (EBRD). (2022). "Energy Transition in Ukraine: Progress and Challenges".

**Головащенко В.С.**, магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент **Босак А.В.**,  
кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МАСЛОЕКСТРАКЦІЙНОГО ЗАВОДУ**

**Анотація.** *Стаття присвячена автоматизації технологічного процесу маслоекстракційного заводу з використанням програмного середовища TIA Portal від Siemens. Автори досліджують процес проектування, моделювання, програмування PLC, інтеграцію систем керування та датчиків, візуалізацію через HMI, а також налаштування системи моніторингу та діагностики. Застосування TIA Portal дозволяє підвищити ефективність управління, забезпечити гнучкість і швидкість реагування на зміни, що приводить до покращення продуктивності та безпеки виробничих процесів. Це програмне середовище допомагає знизити ризик помилок та забезпечити контроль над різними етапами виробництва.*

**Ключові слова:** *автоматизація, маслоекстракційний завод, TIA Portal, Siemens, програмування ПЛК, моніторинг, HMI, технологічний процес.*

**Вступ.** Розробка програмного забезпечення для управління технологічними процесами маслоекстракційного заводу є критично важливою в сучасній промисловості, оскільки такі програми сприяють підвищенню продуктивності, ефективному використанню ресурсів, забезпеченню безпеки робочих процесів та адаптації до вимог ринку, що є вирішальними факторами у підтримці конкурентоспроможності підприємств.

**Мета та завдання дослідження.** Метою даної роботи є розробка автоматизованої системи керування процесу пресування із використанням програмного середовища TIA Portal фірми Siemens.

**Матеріал та результати дослідження.** Автоматизація технологічного процесу пресування продукції з використанням програмного середовища TIA Portal від Siemens є ефективним способом оптимізації управління та моніторингу різноманітних виробничих процесів. Це середовище дозволяє створювати і надавати системи автоматизації для підприємств різних масштабів та галузей.

Основні етапи автоматизації процесу пресування з використанням TIA Portal включають:

**1. Проектування та моделювання.** TIA Portal дозволяє створювати проекти з використанням віртуальних моделей обладнання, що забезпечує симуляцію технологічних процесів для інсталяції фізичної системи. Моделювання окремих виявлених проблем, аналіз різних сценаріїв роботи та оптимізація продуктивності заздалегідь. Серед доступних інструментів — STEP 7 для програмування контролерів і WinCC для створення графічного інтерфейсу та відображення процесів [1].

**2. Програмування ПЛК.** Програмування контролерів (PLC) є ключовою частиною автоматизації. TIA Portal підтримує програмування за стандартом IEC 61131-3, включаючи графічний (LAD, FBD) та текстовий мови (STL). Використання таких контролерів, як Siemens S7-1200 і S7-1500, дозволяє створити логічну послідовність дій для кожного етапу пресування, забезпечуючи ефективний контроль над швидкістю, напрямком і маршрутом продукції [1].

**3. Інтеграція систем керування та датчиків.** TIA Portal дозволяє інтегрувати різні датчики та ефективні механізми для точного моніторингу та контролю за процесом пресування. Це включає підключення оптичних і ультразвукових датчиків, а також RFID

для ідентифікації продукції. Система автоматично обробляє дані з датчиків, що дає змогу коригувати процес у режимі реального часу, запобігаючи заторам і забезпечуючи безпеку продукції [2].

**4. Візуалізація та HMI.** Система HMI в TIA Portal дозволяє створити зручний інтерфейс для операторів. Це забезпечує наочне відображення процесу пресування, показує стан обладнання та попереджає про несправності. WinCC SCADA — один з інструментів для розробки комплексної візуалізації, що сприяє інтерактивному управлінню та швидкому регулюванню змін у процесі [5].

**5. Налаштування системи моніторингу та діагностики.** Система моніторингу TIA Portal містить інструменти для збору та аналізу даних у реальному часі. Це дозволяє не тільки досліджувати стан обладнання, але й завчасно виявляти можливості проблеми. Завдяки дистанційному доступу оператори можуть контролювати процеси без фізичної присутності, а система діагностики дозволить скоротити час простоїв і збільшити ефективність виробництва [5].

Потужність пресу регулюється швидкістю пристрою живлення (горизонтальний шнек). При нормальному функціонуванні швидкість пристрою живлення регулюється відповідними PIDAHL-SP30101 (W) на основі даних головного мотора пресу.

Основний мотор пресу не може бути запущений без пристрою живлення більш ніж на 2 хвилини, щоб уникнути пошкодження пресу (рис. 1).

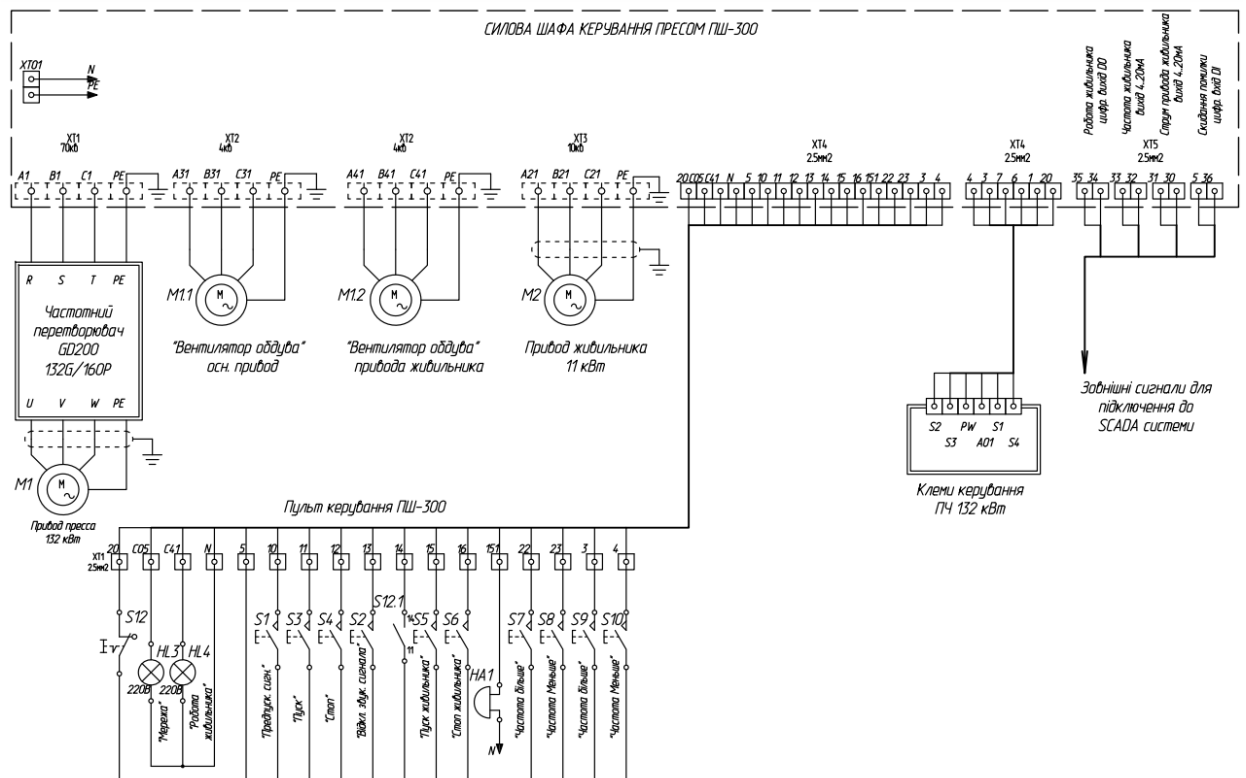


Рисунок 1 – Схема електрична принципова керування пресом

Алгоритм автоматичного пуску та циклу роботи:

- запуск секції очищення олії;
- оператор натискає кнопку запуску преса (з підтвердженням);
- при подачі сигналу з цеху екстракції запускається CC30101;
- запуск насоса з маслом SP30101 (перевірка тиску через час txx);

- запуск SP30101;
- запуск основного валу SP30101, а потім відбувається запуск живлення SP30101 і автоматичне відкриття шибера (GV-TSP30101C);
- автоматична система запускає пристрої живлення на мінімальній швидкості до тих пір, поки підсилювач головного мотора не досягне певного рівня (оповіщення);
- через час  $t_{xx}$  і досягнення мотором певного рівня (з оповіщенням) ПІД починає регулювати швидкість пристрою живлення;
- якщо під час роботи значення підсилювача мотора  $>$  макс. значення (1) кожні 30 секунд швидкість пристрою живлення буде знижуватися на 5%. (відкриття водного клапана у бункері);
- якщо під час роботи підсилювача  $>$  макс. значення (2) швидкість пристрою живлення буде знижуватися на 50% і відкриється відповідний водний клапан 01-SP01;
- якщо під час роботи підсилювача  $>$  екстра макс. значення двигун і живильні пристрої негайно зупиняються (приблизно за 2 секунди).

Блок-схема показана на рис. 2.

Система автоматичної зупинки.

Для зупинки преса (рис. 3) оператор виключає прес із графічної сторінки процесу та закриває відповідні клапани.

Можна відкрити водяні клапани в ручному режимі.

Якщо згодом значення підсилювача головного мотора  $<$  екстра хв., відбувається автоматична зупинка преса (приблизно за 4 хвилини).

Якщо в ході роботи заводу втрачається сигнал з екстракційного цеху, то автоматично закриваються клапани GV-T-SP30101C, через 1 хвилину відбувається зупинка пристроїв, що подають, а через 4 хвилини – зупинка головних валів (якщо в ході зупинки відновлюється сигнал з екстракційного цеху, то необхідно перезапустити подачі пристрою та відкрити відповідні клапани).

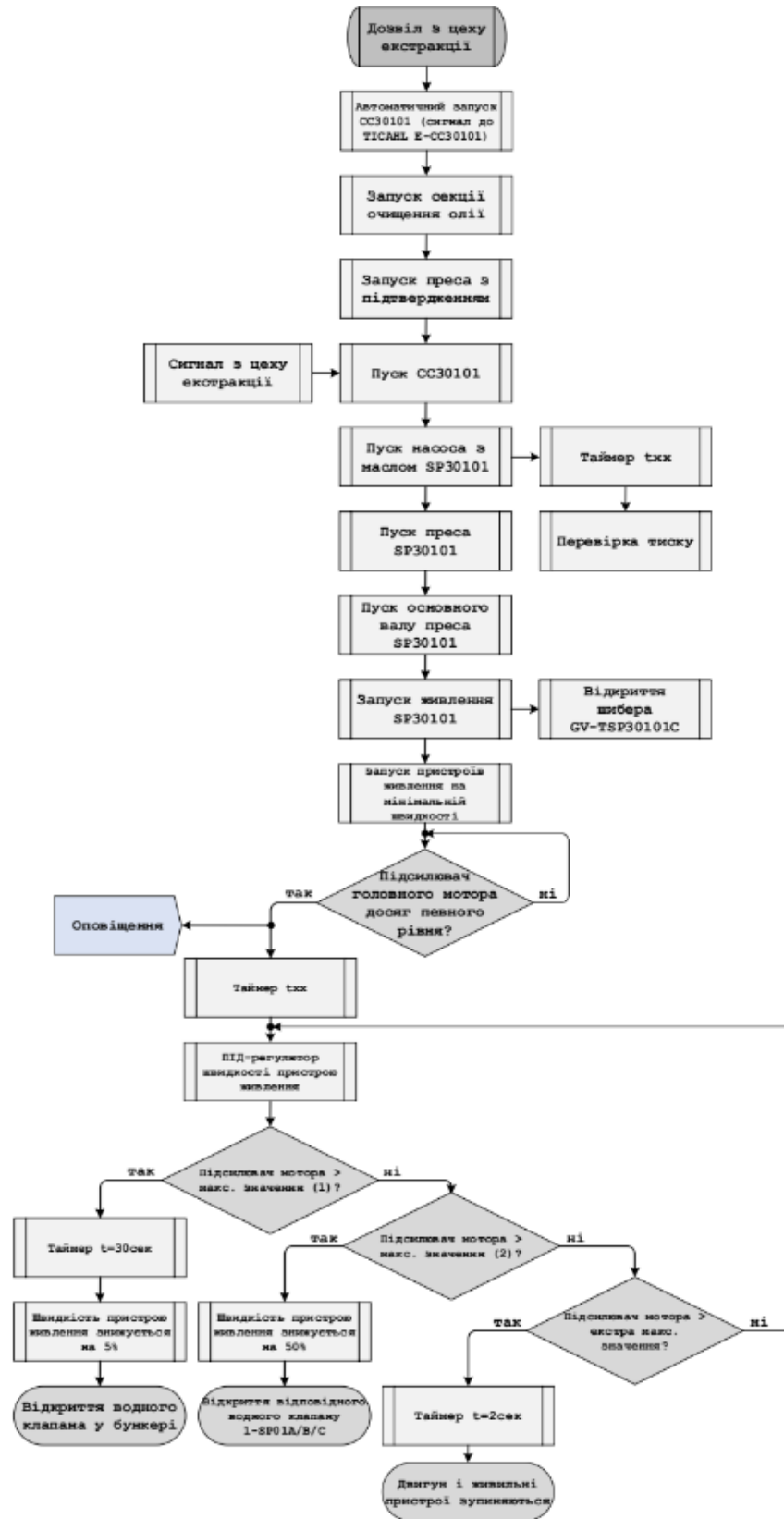


Рисунок 2 – Блок-схема запуску і роботи преса SP30101



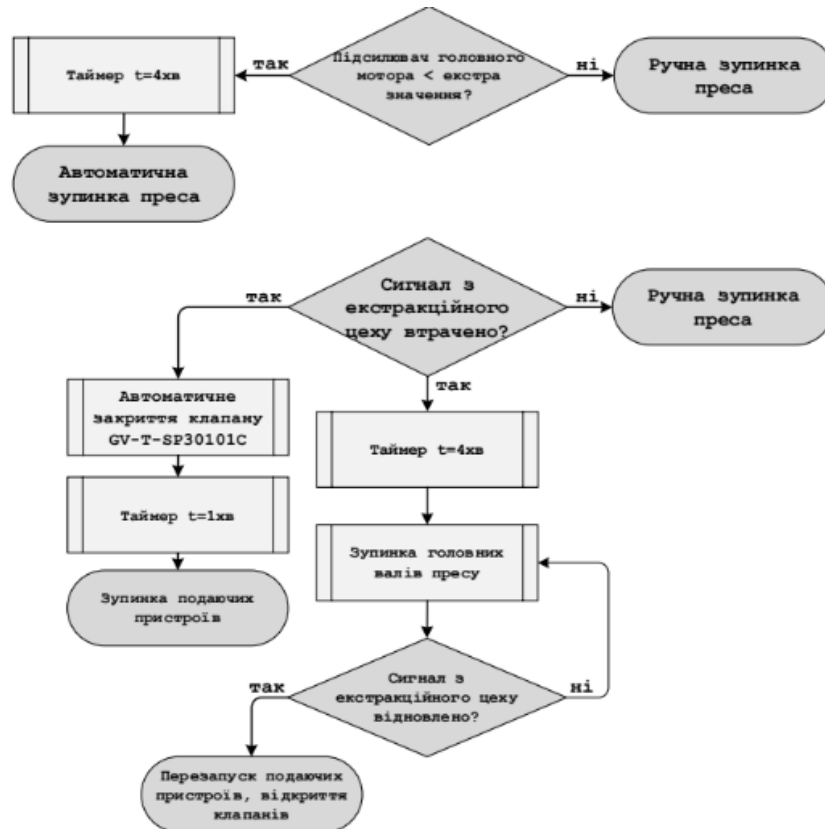


Рисунок 3 – Блок-схеми системи автоматичної зупинки преса SP30101

**Висновки.** Використання програмного середовища *TIA Portal* для автоматизації технологічних процесів має низку значних переваг, серед яких інтеграція всіх інструментів автоматизації в єдину платформу, що дозволяє спростити процес розробки та управління. *TIA Portal* забезпечує високу гнучкість, швидкість і продуктивність, надаючи можливості моделювання, оптимізації та діагностики в режимі реального часу. Це програмне середовище знижує ризик помилок, забезпечує точність управління та забезпечує прозорість роботи підприємства, дозволяючи краще контролювати етапи виробництва та швидко реагувати на зміни [2-4].

#### Список використаних джерел:

1. Програмне середовище TIA Portal.  
<https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/prohramne-zabezpechennya-dlya-promyslovosti/prohramne-zabezpechennya-dlya-avtomatyzatsiyi/tia-portal/prohramne-zabezpechennya-v-tia-portal.html> (дата звернення: 20.10.2024).
2. Hui, H., & McLaughlin, K. (2018, August). Investigating current plc security issues regarding siemens s7 communications and TIA portal. In *5th International Symposium for ICS & SCADA Cyber Security Research 2018*. BCS Learning & Development.
3. Balla, M., Haffner, O., Kučera, E., & Cigánek, J. (2023). Educational case studies: Creating a digital twin of the production line in TIA portal, unity, and game4automation framework. *Sensors*, 23(10), 4977.
4. Salih, H., Abdelwahab, H., & Abdallah, A. (2017, January). Automation design for a syrup production line using Siemens PLC S7-1200 and TIA Portal software. In *2017 international conference on communication, control, computing and electronics engineering (ICCCCEE)* (pp. 1-5). IEEE.

5. He, H., Long, Y., & Yu, W. (2021, March). Design and simulation of elevator emergency system based on TIA Portal V15. 1. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1802, No. 4, p. 042089). IOP Publishing.

**Сергієнко В.С.**, магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент **Босак А.В.**,  
кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ ЗАВОДУ З ВИРОБНИЦТВА КОРМІВ**

**Анотація.** У статті досліджено автоматизацію технологічного процесу роботи заводу з виробництва кормів. Завдяки впровадженню SCADA-систем та програмного забезпечення SIMATIC SCADA від Siemens, підприємства можуть підвищити ефективність управління виробництвом, оптимізувати процеси, зменшити ризики помилок і підвищити якість продукції. Описано функціональні можливості автоматизованої системи, зокрема два режими роботи елеватора: місцеве керування за допомогою постів ПУСК/СТОП та автоматичне керування з використанням АРМ оператора. Система контролює параметри зберігання зерна, що дозволяє підтримувати високу якість продукції та стабільність виробництва.

**Ключові слова:** автоматизація, технологічний процес, завод з виробництва кормів, SCADA-система, SIMATIC SCADA, управління виробництвом, ефективність, надійність, автоматизовані системи управління, TIA Portal.

**Вступ.** Автоматизація технологічних процесів на елеваторах стала необхідністю для оптимізації виробничих процесів у галузі сільського господарства та забезпечення конкурентоспроможності підприємств, оскільки вона сприяє збільшенню продуктивності за рахунок уникнення людських помилок та зниженню витрат на обслуговування обладнання [3]. Автоматизовані системи управління дозволяють гнучко реагувати на зміни у виробництві, швидко адаптуючись до різноманітних умов та підвищуючи рівень ефективності обробки зерна, що в свою чергу сприяє оптимізації всього технологічного процесу та зменшенню витрат. Контроль параметрів зберігання зерна за допомогою автоматизованих систем дозволяє підтримувати високу якість продукції, уникати його псування та зменшувати фінансові ризики, що забезпечує стабільність виробництва та сприяє підвищенню довіри споживачів до сільськогосподарської продукції [4-5].

**Мета та завдання дослідження.** Метою даної роботи є розробка автоматизованої системи керування процесу роботи заводу з виробництва кормів.

**Матеріал та результати дослідження.** При розробці системи автоматизації технологічних процесів заводу з виробництва кормів передбачено два режими роботи елеватора:

- режим місцевого (ручного) керування технологічними механізмами здійснюється за допомогою постів місцевого керування кнопки ПУСК і СТОП, розташованих безпосередньо біля технологічних механізмів, при встановленні режиму в положення місцевого керування, безпосередньо на щиту керування;

- режим автоматичного керування - передбачає управління з АРМ оператора, що влаштовано в операторській, на основі ПК з SCADA-системою моніторингу.

## VII НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МАГІСТРАНТІВ ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ВАСИЛЯ МИКОЛАЙОВИЧА ВІНОСЛАВСЬКОГО



Рисунок 1 – SCADA-система технологічного процесу виготовлення корму

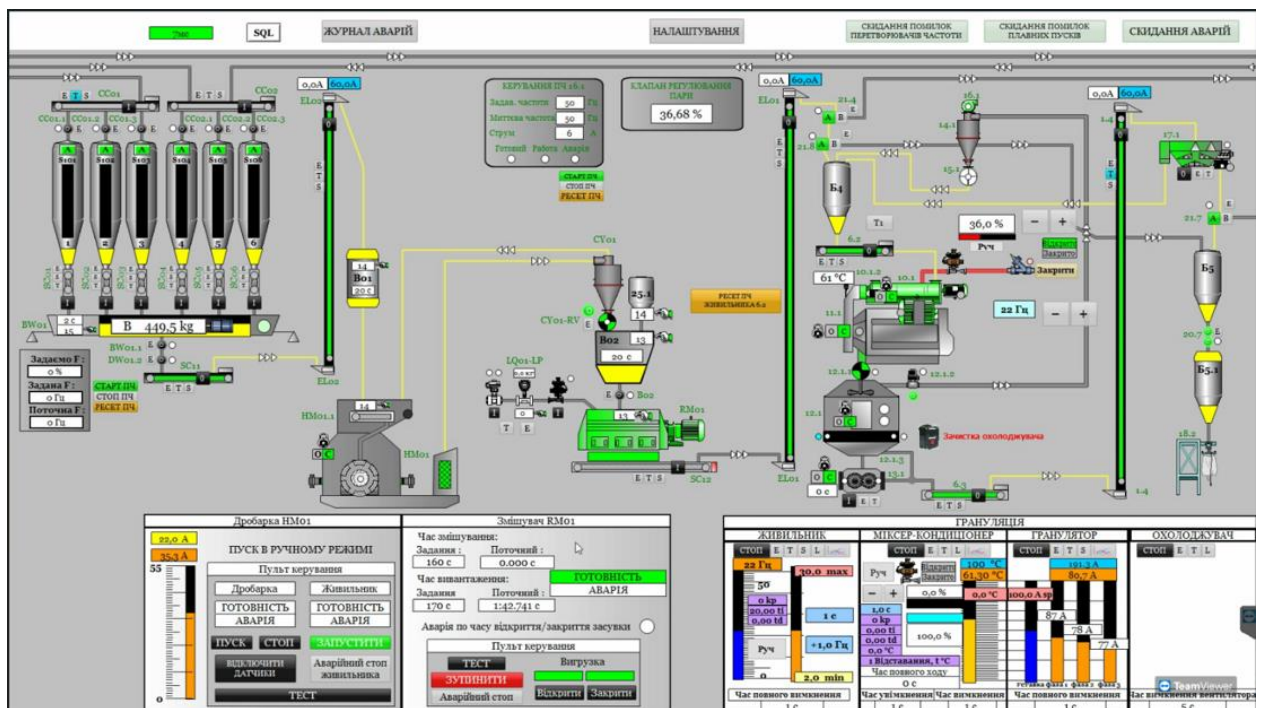


Рисунок 2 – SCADA-система технологічного процесу гранулювання корму

SIMATIC SCADA – це програмне забезпечення від Siemens, яке розроблено для супервізії, контролю та збору даних з різноманітним обладнанням і датчиками в реальному часі. Основна мета SIMATIC SCADA забезпечує у забезпеченні зручного і надійного інструменту для операторів, що дозволяє контролювати та контролювати технологічні процеси через графічний інтерфейс. Програма легко адаптується до різних промислових галузей, від нафтогазової промисловості до виробництва харчових продуктів, надаючи можливість автоматизації для широкого спектру використання [1].

Ключові риси SIMATIC SCADA включають інструменти для аналізу даних, які дозволяють оптимізувати процеси та підвищити продуктивність, а також скоротити час реагування операторів на зміну умов у реальному часі. Інтуїтивний інтерфейс спрощує взаємодію користувачів із системою, а вбудовані засоби забезпечують безпеку захисту від несанкціонованого доступу, що критично важливо для захисту виробничих даних та контролю.

SIMATIC SCADA використовується в різних галузях, включаючи виробництво, енергетику, транспорт та інфраструктуру для автоматизації та управління промисловими процесами [2].

Система АСУ заводу з виробництва кормів (рис. 3) оснащена датчиками та виконавчими механізмами, контролерами, комп'ютерами та іншими технічними засобами, що забезпечують роботу технологічного персоналу та оператора.

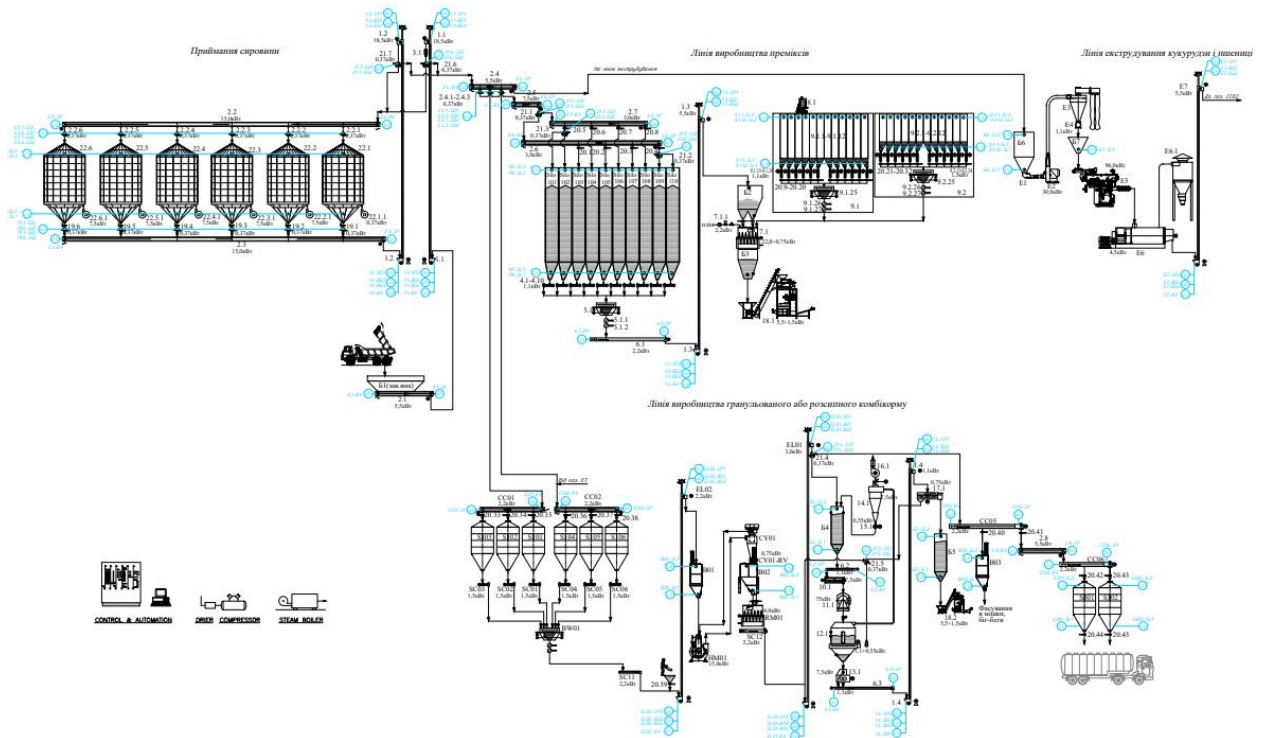


Рисунок 3 - Технологічна схема розміщення елементів автоматизації

Автоматизоване управління транспортним обладнанням полягає у виборі маршруту розподілення зернової маси. Для норій використовуються індуктивні датчики швидкості, датчики підпору та контролю сходу стрічки; для транспортерів – датчики підпору та індуктивні датчик швидкості; для засувки та клапанів – датчики контролю положення. В бункерах та силосах зберігання встановлюються датчики верхнього та нижнього рівнів.

Управління потоково-транспортною системою повинно контролюватися оператором.

Включення механізмів повинно здійснюватися автоматично послідовно з затриманням згідно заданого маршруту.

Перед запуском маршруту повинна виконуватися перевірка готовності механізмів. При неготовності якого-небудь механізму маршрут не вимикається і на екран монітору видається повідомлення.

Виключення маршруту повинно здійснюватися за командою оператора і виконуватися в порядку, зворотному включенню, з затримкою по кожному механізму для його повного очищення.

При аварійному відключенні якого-небудь механізму негайно повинні відключитися всі механізми перед ним, а наступні – з затримкою по кожному механізму.

Для режиму наладки, всі механізми включаються незалежно один від одного.

В процесі роботи в режимі наладки повинні контролюватися наступні параметри:

- відключення електродвигуна в результаті КЗ;
- відключення електродвигуна в результаті перевантаження по струму;
- включення пускача;
- завал норії / конвеєра;
- розтягування / обрив норійного ремня з ківшами;

- розтягнення / обрив ланцюга конвеєра;
- швидкість руху ланцюга конвеєрів зі скребками;
- наповнення силосів зберігання та бункерів.

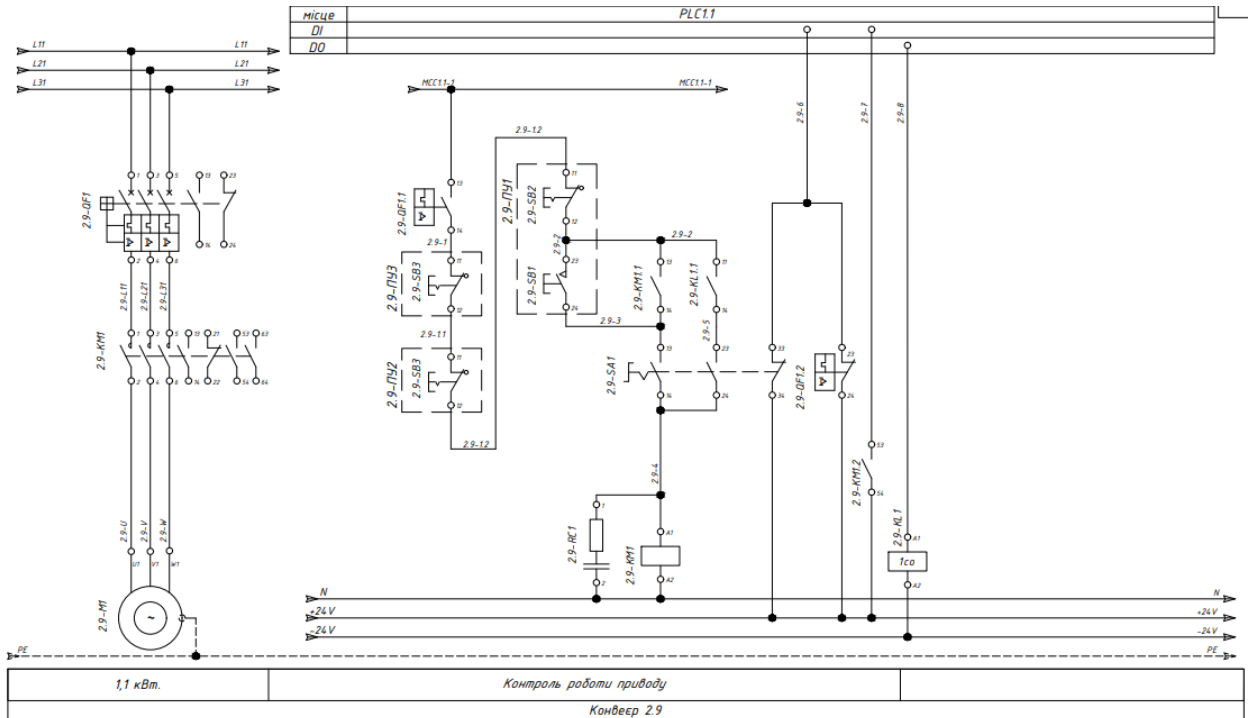


Рисунок 4 – Схема електрична принципова управління конвеєром

**Висновки.** Упровадження автоматизованої системи керування процесом роботи заводу з виробництва кормів за допомогою SCADA-технологій та програмного середовища TIA Portal не лише сприяє оптимізації технологічних процесів та підвищенню продуктивності, але й дозволяє забезпечити високу ефективність управління виробництвом, зменшити ризики помилок та підвищити якість продукції. Використання сучасних технологій автоматизації у галузі виробництва кормів відкриває шлях до ефективного контролю параметрів виробничих процесів, що сприяє підвищенню продуктивності та забезпечує більш точне та надійне управління виробництвом. Застосування SCADA-систем та програмного середовища TIA Portal дозволяє підприємствам забезпечити стабільність у виробництві, оптимізувати процеси та ефективно реагувати на зміни, що є ключовим для забезпечення конкурентоспроможності на ринку.

#### Список використаних джерел:

1. Pan, L., Zhizheng, W., & Fan, C. (2019, April). Design of SCADA System for CNC Grinder Workshop Based on SIMATIC NET. In *2019 IEEE International Conference on Smart Manufacturing, Industrial & Logistics Engineering (SMILE)* (pp. 98-102). IEEE.
2. Lahti, J. P., Shamsuzzoha, A., & Kankaanpää, T. (2011, November). Web-based technologies in power plant automation and SCADA systems: A review and evaluation. In *2011 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering* (pp. 279-284). IEEE.

3. Барало, О. В., Самойленко, П. Г., Гранат, С. Є., & Ковальов, В. О. (2010). Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: навчальний посібник. К.: *Аграрна освіта*.
4. Лукінюк, М. В. (2008). Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації.
5. Осадчий, С. І., & Волков, І. В. (2020). Автоматизація технологічних процесів.

**Кузь Є.О.**, магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент **Торопов А.В.**,  
кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ З МОЖЛИВІСТЮ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРИ ЗМІНІ НАПРУГО-ЧАСТОТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

**Анотація.** Досліджено енергоефективний закон керування двигуном змінного струму за допомогою перетворювача частоти *Altivar 930 Process* від компанії *Schneider Electric*. В результаті дослідження було визначено, що цей закон керування можна застосовувати при керуванні насосами, вентиляторами та горизонтальними конвеєрами. Також було встановлено, що досліджувана фізична модель може бути покращена за рахунок використання датчика швидкості для можливості формування моментних характеристик в електроприводі для отримання більш точних результатів.

**Ключові слова:** енергоефективність, напруго-частотна характеристика, електропривод, перетворювач частоти.

**Вступ.** В сучасних системах електроприводу все частіше піднімається питання підвищення їх енергоефективності. І, оскільки, більшість систем електроприводу змінного струму працюють не з повним навантаженням, потенціал енергозбереження в таких системах є досить високим [1]. Одним з перспективних напрямків є реалізація функції послаблення поля за рахунок зміни вигляду напруго – частотної характеристики.

**Мета та завдання дослідження.** Для оцінки можливості такого застосування необхідно розробити математичну або фізичну модель з можливістю формування довільних законів зміни навантаження.

**Матеріал та результати дослідження.** Для дослідження підвищення енергоефективності системи електроприводу з керуванням напруго-частотною характеристикою було зібрано спеціальний стенд, що складається з наступних компонентів від компанії *Schneider Electric*:

- Трифазний асинхронний двигун (навантаження). Даний двигун виступатиме в ролі навантаження для досліджуваної системи електроприводу (запускатиметься в реверс досліджуваному двигуну).
- Трифазний асинхронний двигун керований за допомогою перетворювача частоти з використанням енергоефективного закону керування.
- Частотний перетворювач серії *ATV930 Process* для керування двигуном навантаження.
- Частотний перетворювач серії *ATV930 Process* для керування досліджуваним двигуном.
- Пристрої захисту, комутації, живлення (автоматичні вимикачі, пускачі, блок живлення).
- Гальмівний резистор для скидання додаткової енергії гальмування при рекуперації в одному з перетворювачів.

Деякі пристрої даного стенду налаштовуються за допомогою спеціального програмного забезпечення. Для налаштування параметрів і закону керування перетворювачів частоти серії *ATV930 Process* використовується програма *SoMove*. Для



встановлення зв'язку з програмою SoMove, потрібно підключити перетворювач частоти до комп'ютера з встановленим ПЗ за допомогою Ethernet кабелю, попередньо налаштувавши комунікаційні параметри портів Ethernet так щоб ПЧ і комп'ютер знаходились в одній локальній мережі. За допомогою SoMove було налаштовано перетворювачі частоти відповідно до підключених двигунів і потреб дослідження. В якості закону керування було вибрано варіант Energy Saving,

Цей тип керування двигуном автоматично зменшує вихідний струм через послаблення поля електродвигуна відповідно до навантаження. Така автоматична адаптація рівня струму дозволяє зменшити енергоспоживання в періоди, коли навантаження мінімальне, і забезпечити продуктивність приводу аж до повного навантаження.

Під час аналізу формування вихідної частоти і напруги під час досліджень було встановлено, що даний закон керування (Energy Saving) працює так, що при зміні навантаження змінюється крива керування U/F. Також було визначено, що залежність напруго-частотної характеристики формується таким чином, щоб відповідно до навантаження на двигуні зменшувався магнітний потік, що в свою чергу призводило до зменшення струму намагнічування.

#### **Висновки.**

1. В результаті аналізу роботи електроприводу фізичної моделі перевірено, що даний закон керування можна застосовувати для видів навантаження типу насосів, вентиляторів, горизонтальних конвеєрів.
2. Подальше покращення фізичної моделі навантаження можливе за рахунок підключення датчика швидкості для можливості формування моментних характеристик в електроприводі.

#### **Список використаних джерел:**

1. Реуцкий, Н. А., Шинкаренко, В. Ф., & Торопов, А. В. Електромеханічні І енергозберігаючі системи: Розробка принципів управління перетворювачем частоти при формуванні навантажувальних характеристик асинхронної машини. Київ, 2012. С. 63-65.

УДК 697.3/93

**Петровський О.С.**, магістрант,  
науковий керівник: PhD, ст. викладач **Мугенов Д.Д.**,  
кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **АЛГОРИТМ РОБОТИ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ**

**Анотація.** У статті розглядається розробка алгоритму автоматичного управління комбінованою системою опалення житлового будинку, що складається з газового котла та сонячних колекторів. Основна ціль полягає в оптимальному використанні сонячної енергії для зменшення витрат на газ і підвищення енергоефективності. Алгоритм враховує внутрішню та зовнішню температуру, рівень інсоляції, і застосовує програмований логічний контролер для автоматичного регулювання системи. Такий підхід забезпечує комфортний температурний режим, мінімізує використання традиційного палива та адаптує роботу системи до змін у погодних умовах.

**Ключові слова:** комбінована система опалення, сонячні колектори, газовий котел, енергоефективність, автоматичне управління, програмований логічний контролер, алгоритм, інсоляція, комфортний мікроклімат.

**Вступ.** Сучасні комбіновані системи опалення використовують різні джерела теплової енергії, такі як традиційні котли, сонячні колектори, теплові насоси та геотермальні установки [1]. Такий підхід дозволяє значно підвищити енергоефективність та знизити експлуатаційні витрати, особливо в умовах нестабільних цін на енергоносії [2]. Проте комбіновані системи вимагають точного автоматичного управління, яке повинно забезпечити комфортний мікроклімат у приміщенні, мінімізуючи при цьому використання традиційного палива [3].

**Мета та завдання дослідження.** Метою роботи є розробка алгоритму автоматичного управління комбінованою системою опалення житлового будинку, що включає газовий котел та сонячні колектори, який дозволить оптимально використовувати наявну сонячну енергію і зменшити витрати газу.

**Матеріал та результати дослідження.** Запропонований алгоритм управління комбінованою системою опалення враховує температуру в приміщенні та поза його межами та рівень інсоляції, який є вирішальним фактором, що визначає ефективність сонячних колекторів [4].

В системі присутні датчики температури, що розміщені всередині приміщення і за його межами, а також датчик в контурі колектора сонячних панелей, а також в системі застосовується вимірювач інсоляції. Система управління реалізована із застосуванням програмованого логічного контролера, який дозволяє автоматично відслідковувати та регулювати параметри комбінованої системи опалення, забезпечуючи точне підтримання комфортної температури в приміщенні та оптимізацію витрат енергії. Завдяки гнучкості програмованого контролера існує можливість налаштування алгоритму управління залежно від сезонних змін, рівня інсоляції та інших факторів, що впливають на ефективність опалення. Інформація з датчиків надходить у реальному часі і дозволяє визначати, скільки теплової енергії можуть генерувати сонячні колектори. При достатньому рівні інсоляції система автоматично спрямовує теплоносій, нагрітий сонячними панелями, в опалювальну

систему будинку [2]. Це дає змогу ефективно використовувати сонячну енергію як основне джерело тепла, що знижує потребу в інших видах палива [3].

У випадках, коли рівень інсоляції падає, наприклад, через погіршення погодних умов або настання вечірніх годин, контролер фіксує зниження температури теплоносія в контурі сонячних колекторів. Алгоритм приймає рішення про необхідність включення додаткового джерела тепла – традиційного котла (газового, електричного або твердопаливного) [4]. Котел підключається автоматично лише в тому випадку, якщо сонячної енергії недостатньо для компенсації тепловтрат будівлі та підтримання комфортної температури. Такий підхід дозволяє використовувати сонячну енергію максимально ефективно, залишаючи котел у резерві для покриття теплових потреб у періоди низької інсоляції, що сприяє економії ресурсів [1].

За умов, коли температура повітря в приміщенні опускається нижче заданого рівня, відбувається перевірка на спроможність сонячних колекторів забезпечити необхідну кількість тепла. Якщо рівень інсоляції недостатній для підтримки температури в приміщенні, система автоматично активує котел для компенсації тепловтрат і підтримки комфортного мікроклімату. Це відбувається лише у випадку, коли сонячної енергії дійсно не вистачає для підтримання температурного балансу, що дозволяє економити паливо і використовувати його як резервне джерело тепла [2]. Котел працює доти, доки температура в приміщенні не досягне заданого рівня. Після досягнення комфортної температури контролер подає сигнал на вимкнення котла, що запобігає надмірному споживанню енергії [3].

**Висновки.** Запропонований алгоритм управління дозволяє ефективно комбінувати використання сонячних колекторів і газового котла, що забезпечує значне зниження витрат на опалення та покращення енергоефективності [4]. Використання такого алгоритму в автоматичній системі керування опаленням дозволяє зменшити залежність від традиційного палива та підтримувати стабільний комфортний клімат у приміщенні, адаптуючи роботу системи до зміни погодних умов [1].

#### **Список використаних джерел:**

1. Altork, Y., & Alamayreh, M. I. (2024). Optimizing Hybrid Heating Systems: Identifying Ideal Stations and Conducting Economic Analysis Heating Houses in Jordan. *International Journal of Heat & Technology*, 42(2).
2. Sarmouk, M. D., Smaili, A., Fellouah, H., & Merabtine, A. (2022). Energy and economic assessment of a hybrid solar/gas heating system using a combined statistical-based multi-objective optimization method. *Journal of Building Engineering*, 59, 105095.
3. Meng, F., Yu, Y., Wu, Y., Li, D., Zhao, X., Meng, L., & Wang, Z. (2023). Study on Energy Flow Characteristics of Solar–Gas Combined Heating System for Settling Tank of Oilfield. *Sustainability*, 15(16), 12229.
4. Mysak, S., & Shapoval, S. (2024). Analysis of the energy efficiency of a system with a hybrid solar collector and thermal energy storage. *Technology Audit and Production Reserves*, 2(1(76)), 51–56. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.301779>

**Мороз А.В.**, магістрант,  
кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ В ВИДОБУВНИЧІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

**Анотація.** У статті розглянуто можливості впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) на видобувних підприємствах, зокрема кар'єрах, у контексті сучасних енергетичних викликів в Україні. Обговорюються економічні та екологічні переваги переходу на ВДЕ, такі як зниження витрат на енергоносії та скорочення викидів CO<sub>2</sub>. Особливу увагу приділено практичному впровадженню ВДЕ на Малинському кар'єрі, де рекомендовано використання біогазу та сонячної енергії виходячи з місцевих особливостей. Обґрунтовано, що розвиток "зелених" технологій дозволить досягти енергетичної автономії, підвищити конкурентоспроможність підприємств та сприятиме стабільності виробництва.

**Ключові слова:** відновлювані джерела енергії, кар'єри, енергетична незалежність, сонячна енергія, біогаз, енергопостачання, скорочення викидів CO<sub>2</sub>, економічні переваги, стале виробництво.

**Вступ.** Видобувні підприємства, зокрема кар'єри, є одними з найбільших споживачів енергії в промисловому секторі та суттєвими джерелами викидів CO<sub>2</sub> (рис 1) [1]. Традиційні джерела енергії, такі як дизельне паливо та електроенергія з централізованої мережі, призводять до значних витрат та мають негативний вплив на довкілля [4]. В умовах сучасних енергетичних викликів, спричинених агресією росії та атакою на критичну інфраструктуру України, питання енергетичної незалежності та стабільності стало надзвичайно актуальним [3]. Використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) дозволяє підприємствам досягти автономії, зменшуючи залежність від централізованого енергопостачання [2].

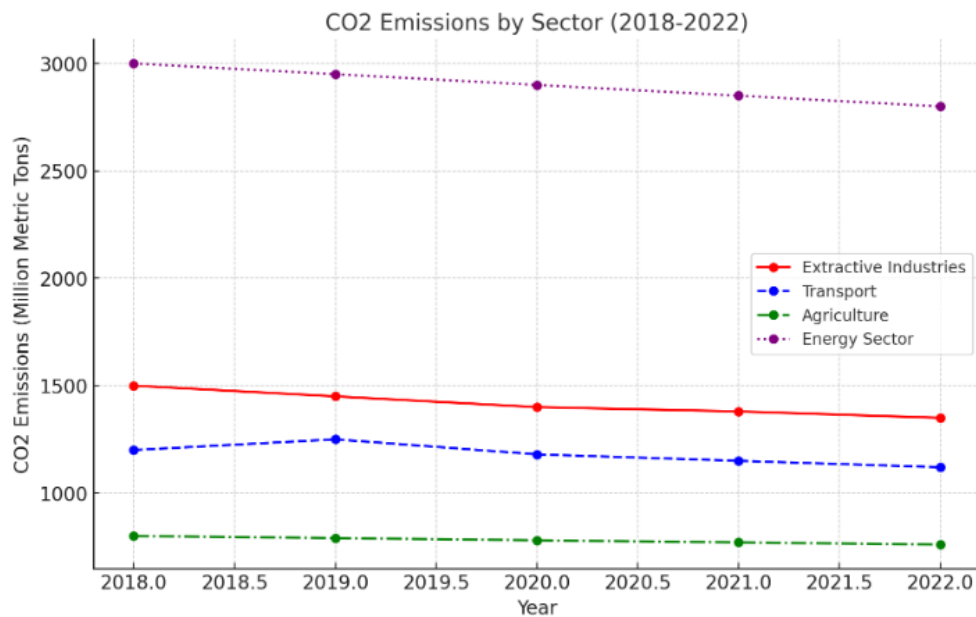


Рисунок 1- викиди CO<sub>2</sub> від різних секторів [1]

Впровадження ВДЕ на кар'єрах відкриває значні можливості для оптимізації енергоспоживання. Використання сонячних панелей та вітрових турбін може забезпечити енергетичну незалежність кар'єрів, що дозволяє знизити експлуатаційні витрати [5]. Наприклад, інтеграція сонячних установок на відкритих ділянках кар'єру або встановлення вітряків на підвищених місцевостях забезпечує стабільну генерацію енергії навіть у віддалених регіонах [6]. Цей підхід є особливо корисним під час війни, коли енергетична інфраструктура піддається атакам, що призводить до перебоїв у постачанні електроенергії [3].

**Мета та завдання дослідження.** Мета дослідження полягає у вивченні можливостей впровадження відновлюваних джерел енергії в видобувній промисловості, з акцентом на економічні та екологічні переваги такого переходу, а також виявленні ефективних способів інтеграції ВДЕ на кар'єрах з урахуванням місцевих умов, щоб забезпечити енергетичну незалежність і стале виробництво в умовах сучасних енергетичних викликів в Україні [7, 8].

**Матеріал та результати дослідження.** Перехід на відновлювані джерела енергії також має економічні переваги. Встановлення сонячних панелей і вітрових турбін потребує значних початкових інвестицій, однак окупність цих проектів може бути досягнута вже протягом 3-5 років завдяки значному зниженню витрат на паливо та електроенергію [5]. Крім того, використання власних джерел енергії допомагає підприємствам захистити себе від коливань цін на енергоресурси та забезпечити стабільність виробництва [4].

Використання ВДЕ сприяє значному зниженню викидів парникових газів, що є важливим аспектом у боротьбі зі зміною клімату. Кар'єри, які впроваджують "зелені" технології, покращують свій екологічний імідж, що є важливим фактором у сучасному бізнес-середовищі [9].

Незважаючи на численні переваги, впровадження ВДЕ на кар'єрах має і певні виклики. Значні початкові інвестиції можуть стати бар'єром для підприємств, особливо в умовах економічної нестабільності [10]. Крім того, для інтеграції відновлюваних джерел енергії необхідно адаптувати існуючу інфраструктуру та навчити персонал обслуговуванню нових установок [8]. Різноманітність кліматичних умов в різних регіонах також впливає на ефективність генерації енергії, що потребує ретельного планування і врахування локальних особливостей [11].

В роботі розглянуто використання ВДЕ для Малинського кар'єру. Виходячи з рельєфу, оточення та інших факторів місцевості найбільш вигідними джерелами ВДЕ визначено біогаз та сонячну енергію. Такий вибір обумовлений наступним:

1) поблизу об'єкта розташована ферма великої рогатої худоби, яка забезпечить стабільне надходження гною для біогазової установки;

2) наявність значної кількості відкритих галявин створює можливості для розміщення сонячних панелей.

Добове споживання електричної енергії кар'єру складає 2500 кВт·год. Ферма з чисельністю худоби в 750 голів виробляє достатньо гною для задоволення потреб малої біогазової установки на 100 кВт, яка в свою чергу зменшить споживання енергії з мережі на 46-52%. Пропонується розміщувати сонячні панелі на закинутих полях, оскільки вони представляють собою рівні площі без лісонасаджень. Припустивши, що для забезпечення потужності в 1 кВт необхідно 5-6 м<sup>2</sup> площі, то маючи в розпорядженні 1300 м<sup>2</sup> можна зменшити використання енергії з мережі ще на 30-33%.

**Висновки.** Інтеграція відновлюваних джерел енергії на видобувних підприємствах є важливим кроком до досягнення енергетичної незалежності та сталого розвитку. Використання ВДЕ на кар'єрах не тільки сприяє зниженню операційних витрат, але й допомагає зменшити вплив на навколишнє середовище. Таким чином, підприємства можуть

не лише підвищити свою конкурентоспроможність, але й зробити свій вклад у збереження екології для майбутніх поколінь.

**Список використаних джерел:**

1. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-co2-emissions-by-sector-2019-2022>.
2. Андрійчук, І. В. "Інтеграція відновлюваних джерел енергії у видобувну промисловість: досвід та перспективи". Київ: Технопрогрес, 2023.
3. Борисенко, О. С. "Енергетична незалежність в умовах воєнних загроз: роль ВДЕ в Україні". Харків: Екополіс, 2024.
4. Дубровін, М. П., та Ковальчук, Г. О. "Використання сонячної енергії на видобувних підприємствах". Журнал "Енергоефективність та екологія", вип. 11, 2023, с. 45-53.
5. Іваненко, В. М. "Переваги впровадження відновлюваних джерел енергії в кар'єрах: економічний та екологічний аспекти". Львів: Наукова думка, 2022.
6. Карпенко, А. В. "Вітрові електростанції на гірничодобувних об'єктах: можливості та виклики". Журнал "Енергетика України", вип. 9, 2024, с. 102-110.
7. Петров, О. С., та Смирнов, Д. О. "Перспективи використання ВДЕ для забезпечення енергетичної незалежності видобувних підприємств". Донецьк: Видавництво "Промінь", 2023.
8. Сидоренко, Л. Ю. "Сталий розвиток кар'єрів за рахунок інтеграції відновлюваних джерел енергії". Журнал "Гірнична справа і екологія", вип. 7, 2024, с. 68-75.
9. Федоренко, Н. О. "Застосування гібридних енергетичних систем на кар'єрах: аналіз і перспективи". Одеса: Видавництво "Екоенергія", 2023.
10. Чорний, Р. Г. "Імплементация 'зелених' технологій у видобувну галузь України". Журнал "Промислові інновації", вип. 3, 2023, с. 88-96.
11. Шевченко, І. А. "Аналіз впливу використання ВДЕ на операційну діяльність кар'єрів". Київ: Енергетичний центр, 2022.

Караульний К.Т., магістрант,  
кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ВОДНЕВА СИСТЕМА АВАРІЙНОГО АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

**Анотація.** У статті досліджується використання водневої системи на основі паливних елементів РЕМ для аварійного енергозабезпечення критичних об'єктів малої потужності. Основна увага приділяється створенню автономної системи, здатної працювати без підключення до електромережі. Оцінюються ефективність генерації електроенергії, тривалість автономної роботи, рівень викидів та експлуатаційні витрати. Результати свідчать про конкурентоздатність водневої системи в порівнянні з традиційними методами, незважаючи на вищі початкові витрати. Підкреслюються екологічні переваги та потенціал для використання у віддалених або аварійних умовах.

**Ключові слова:** воднева система, паливні елементи, резервне живлення, аварійне енергозабезпечення, екологічність, автономна система, критичні об'єкти, енергетична ефективність.

**Вступ.** В сучасному світі зростає потреба у надійних джерелах енергії для безперервного живлення важливих об'єктів, таких як сервери, медичне обладнання, телекомунікаційні станції тощо. Одна з перспективних технологій, яка розглядається для забезпечення автономного аварійного живлення, є воднева система з використанням паливних елементів (РЕМ) [1]. Водневі паливні елементи дають змогу генерувати електроенергію з мінімальним рівнем викидів, що робить їх екологічно чистими [2]. У рамках даного дослідження розглянуто можливість використання водневої системи для аварійного енергозабезпечення малої потужності.

Основною ідеєю є створення автономної системи резервного живлення на базі водневих паливних елементів, яка здатна працювати в умовах обмеженого доступу до електромережі або навіть в її повній відсутності. Така система є альтернативою традиційним акумуляторним та дизельним джерелам живлення, забезпечуючи тривале постачання електроенергії за рахунок хімічної реакції водню та кисню [3]. Окрім цього, водневі системи не потребують частого обслуговування, а їх використання сприяє зменшенню викидів парникових газів.

**Мета та завдання дослідження.** Метою дослідження є оцінка ефективності водневої системи аварійного автономного енергозабезпечення малої потужності для живлення критично важливих об'єктів та порівняння її характеристик з іншими системами аварійного живлення [4]. Дослідження також має на меті визначити оптимальні умови та параметри, при яких воднева система є найбільш доцільною у використанні.

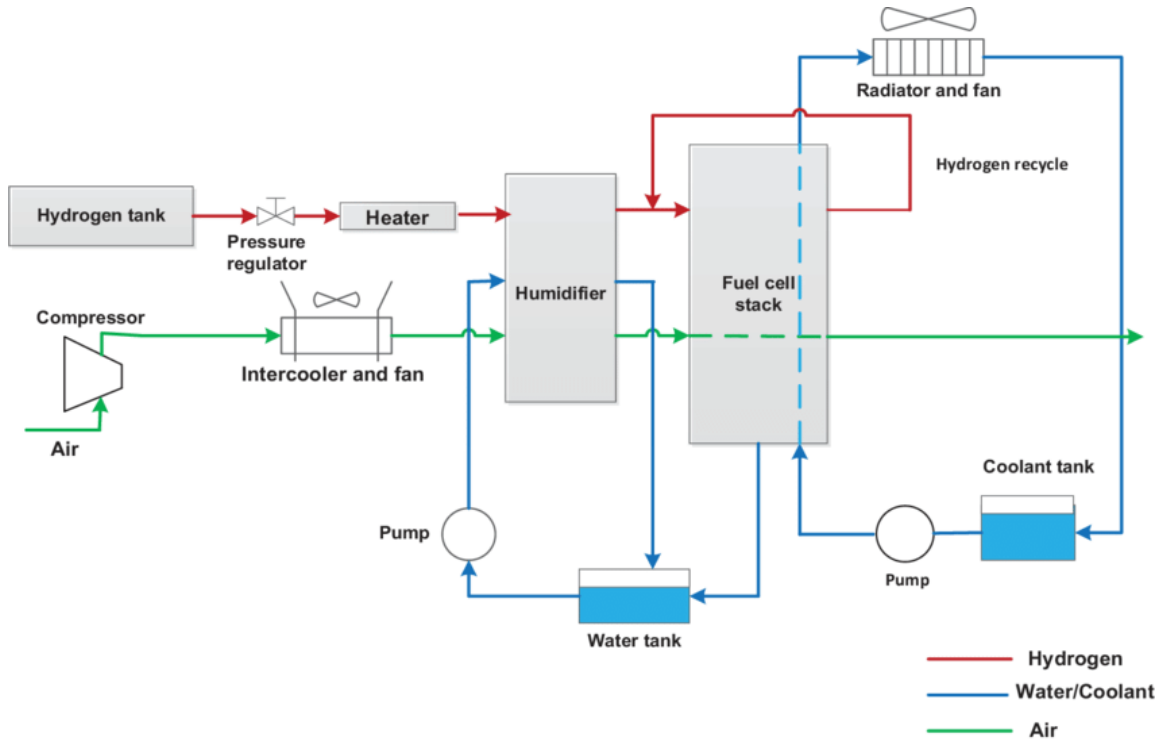


Рисунок 1- Принципова схема системи паливних елементів РЕМ [1]

**Матеріал і результати дослідження.** Для проведення дослідження було розглянуто моделі водневих систем живлення на основі РЕМ паливних елементів, а також обрано тестові зразки UPS-систем. До основних параметрів, які оцінювались, належали: тривалість автономної роботи, ефективність генерації електроенергії, рівень викидів, а також вартість експлуатації. Для випробувань була змодельована ситуація аварійного вимкнення живлення.

Тривалість автономної роботи системи визначається за формулою:

$$T = \frac{\eta * LHV * m}{P_{load}},$$

де:

- $m$  — кількість водню (кг),
- $P_{load}$  — навантаження системи (кВт),
- $\eta$  — ефективність паливного елемента (60%, або 0.6),
- $LHV$  — нижча теплотворна здатність водню (33,33 кВт\*год).

Дослідження показали, що воднева система може забезпечити стабільне постачання електроенергії протягом тривалого часу в умовах аварійної ситуації. При цьому коефіцієнт ефективності генерації залишався високим, а викиди були мінімальними. Система виявилась конкурентоздатною з іншими аварійними джерелами живлення за параметрами автономної роботи, але її вартість залишалась вищою у порівнянні з традиційними акумуляторами.

**Висновок.** Воднева система аварійного автономного енергозабезпечення є перспективним рішенням для живлення малопотужних критичних об'єктів, особливо в умовах обмеженого доступу до традиційних джерел енергії. Хоча такі системи потребують значних початкових інвестицій, їх екологічність та тривала автономність можуть стати вагомими перевагами у майбутньому.



**Список використаних джерел:**

1. Akroot, A.; Ekici, Ö.; Köksal, M. Process modeling of an automotive pem fuel cell system. Int. J. Green Energy, 2019
2. "Fuel Cell Systems Explained" – James Larminie, Andrew Dicks, 2003
3. "Energy Systems Engineering: Evaluation and Implementation" – Francis Vanek, Louis Albright, Largus Angenent, 2012
4. Ogden, J. M. "Prospects for building a hydrogen energy infrastructure." Annual Review of Energy and the Environment, 1999
5. "Hydrogen and Fuel Cells: Emerging Technologies and Applications" – Bent Sørensen, 2005

**Маламан Д.О.**, магістрант,  
кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З ВИДАЛЕННЯМ CO<sub>2</sub>**

**Анотація.** У статті досліджено перспективи оптимізації енергетичних технологічних установок (ЕТУ) для комбінованого виробництва водню та електроенергії з видаленням CO<sub>2</sub>. Розглянуто можливості підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД) завдяки утилізації надлишкового тепла і системам уловлювання CO<sub>2</sub>. Наведено розроблені комплексні моделі та оптимізаційні методи для ЕТУ на основі вугілля і природного газу, що враховують економічні аспекти видалення CO<sub>2</sub>. Показано, що інтеграція таких систем дозволяє підвищити ККД з 50% до 70%, знижуючи енергетичні втрати на 20% і скорочуючи витрати. Досліджено ефективність таких установок у виробництві водню та екологічно чистих синтетичних палив.

**Ключові слова:** енергетичні технологічні установки, водень, електроенергія, видалення CO<sub>2</sub>, утилізація тепла, енергоефективність, оптимізація, синтетичні палива, математичне моделювання, вугілля, природний газ.

**Вступ.** Запаси викопних палив, що забезпечують більшість світового енергоспоживання, виснажуються, а їх використання спричиняє викиди парникових газів, негативно впливаючи на клімат [1]. Тому світ переходить на екологічно чисті, відновлювані джерела енергії, такі як водень, продуктом використання якого є вода [5].

Водень – універсальне паливо з великим потенціалом для двигунів, паливних елементів і синтетичних палив. Оптимальним є комбіноване виробництво водню та електроенергії в одній установці, що підвищує ефективність системи за рахунок утилізації надлишкового тепла [6]. Для оптимізації цих процесів застосовуються математичне моделювання та інноваційні технології, зокрема паладієві мембрани для виділення водню, що дозволяє значно підвищити енергоефективність [4].

**Мета та завдання дослідження.** Мета — оптимізувати енерготехнологічні установки для комбінованого виробництва водню та електроенергії з органічного палива, з урахуванням витрат на видалення CO<sub>2</sub>.

*Основні завдання:*

- Розробка підходів для комплексного дослідження ЕТУ, що використовують водень і електроенергію з видаленням CO<sub>2</sub>.
- Створення математичних моделей для процесів ЕТУ на різних видах органічного палива, що враховують системи видалення CO<sub>2</sub> [3].
- Техніко-економічне обґрунтування та оптимізація параметрів ЕТУ для вугілля та природного газу з урахуванням вартості видалення CO<sub>2</sub> [7].

*Наукова новизна:*

- Вперше розроблено комплексні моделі та оптимізаційні методи для ЕТУ на вугіллі та природному газі з видаленням CO<sub>2</sub>, що визначають їх конкурентоспроможність [6].
- Проведено порівняння ефективності ЕТУ для виробництва водню та екологічно чистих рідких синтетичних палив (СЖТ), з урахуванням затрат на видалення CO<sub>2</sub> [5].

*Практична цінність:*

• Розроблені моделі дозволяють оцінювати техніко-економічну ефективність ЕТУ водню й електроенергії та приймати оптимальні рішення для їх проєктування [6].

**Матеріал і результати дослідження.** Впровадження комбінованої енергетичної установки для виробництва водню та електроенергії з видаленням CO<sub>2</sub> дозволяє оптимізувати енергоспоживання, підвищуючи загальний ККД за рахунок утилізації надлишкового тепла й зниження енергетичних втрат [4].

Система уловлювання CO<sub>2</sub> суттєво скорочує викиди парникових газів, що сприяє досягненню вуглецево-нейтрального балансу та відповідає екологічним стандартам [8].

Комбінований процес також зменшує капітальні витрати, оскільки одночасно генерує водень та електроенергію, підвищуючи конкурентоспроможність у порівнянні з традиційними методами [10].

Завдяки математичним моделям процес можна налаштовувати для досягнення максимальної продуктивності при мінімальних витратах, що підсилює економічну та енергетичну ефективність системи [3].

Припустимо, комбінована установка має початковий коефіцієнт корисної дії (ККД) 50%. За рахунок утилізації надлишкового тепла та видалення CO<sub>2</sub> ККД зростає до 70%. Якщо початковий рівень споживання енергії становить 1000 МВт·год, то при ККД 50% корисна енергія на виході дорівнює 500 МВт·год, а при 70% — 700 МВт·год. Це означає, що для досягнення того ж рівня продуктивності установка тепер витрачає на 200 МВт·год менше, скорочуючи витрати на 20%, а кількість викидів CO<sub>2</sub> пропорційно зменшується (рис. 1) [8].



Рисунок 1- Техніко-економічна ефективність енерготехнологічної установки (ЕТУ) для комбінованого виробництва водню та електроенергії з видаленням CO<sub>2</sub>

Такий підхід не тільки знижує витрати, а й зменшує енергетичні втрати, підвищуючи загальну ефективність процесу.

**Висновки.** Оптимізація енергетичних технологічних установок (ЕТУ) для комбінованого виробництва водню та електроенергії з видаленням CO<sub>2</sub> є перспективним шляхом для підвищення енергоефективності та зменшення екологічного впливу. Використання надлишкового тепла та інтеграція системи уловлювання CO<sub>2</sub> дозволяють підвищити ККД установок з 50% до 70%, що забезпечує зниження енергетичних втрат на 20% та відповідне скорочення витрат на виробництво.

Це не тільки зменшує залежність від викопних палив, а й сприяє досягненню вуглецево-нейтрального балансу, знижуючи викиди парникових газів. Використання математичних моделей для оптимізації системи робить такі установки конкурентоспроможними у порівнянні з традиційними технологіями, забезпечуючи високу

продуктивність за мінімальних витрат енергії та ресурсів. Таким чином, комбіновані установки з воднем і видаленням CO<sub>2</sub> становлять надійну основу для екологічно безпечного енергетичного майбутнього.

**Список використаних жерел:**

1. Швиденко, І. П. (2018). *Водневі технології та їх перспективи для енергетики України*. Київ: Наукова думка.
2. Литвин, В. М. (2019). *Інтеграція водню в енергетичні системи та роль водневих паливних елементів*. Енергетика та автоматика, 5(3), 12-24.
3. Гриценко, Ю. А. (2021). *Математичні моделі та їх застосування для оптимізації енергетичних установок з видаленням CO<sub>2</sub>*. Математичні моделі в техніці, 8(4), 56-72.
4. Алієв, І. М., та Коваленко, С. О. (2020). *Паладієві мембрани в процесах виділення водню*. Вісник хімічної технології, 2(10), 101-112.
5. Михайлов, В. О. (2017). *Використання водню в якості альтернативного палива для енергетики та транспорту*. Технічний вісник, 6(1), 45-56.
6. Фролов, О. П. (2022). *Оптимізація комбінованих енергетичних установок для виробництва водню та електроенергії з видаленням CO<sub>2</sub>*. Енергетика та екологія, 13(2), 34-48.
7. Мельник, О. В. (2019). *Техніко-економічне обґрунтування водневих енергетичних технологій*. Економіка та інноваційні технології, 8(6), 120-134
8. Семененко, В. І. (2020). *Сучасні технології видалення CO<sub>2</sub> в енергетичних установках*. Інженерні науки, 3(2), 78-93
9. Назаренко, В. М. (2018). *Проблеми та перспективи водневої економіки у світі та Україні*. Вісник енергетики, 5(3), 25-36.
10. Черкасов, Д. Ю., & Богданов, А. І. (2021). *Відновлювальні джерела енергії та їх роль у зниженні парникових газів*. Екологія та енергетика, 11(4), 101-115.

Понемасов Д.Є., магістрант,  
науковий керівник: PhD, ст. викладач Мугенов Д.Д.,  
кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ РЕГУЛЯТОРІВ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЛІФТА

**Анотація.** Стаття присвячена дослідженню нейромережевих регуляторів у системах управління електроприводами ліфтів. Вивчаються можливості підвищення енергоефективності, швидкодії та спрощення налаштувань завдяки впровадженню алгоритмів машинного навчання. На основі моделювання в Matlab/Simulink аналізуються традиційні П, ПІ, ПІД регулятори та нейромережєві регулятори, такі як Model Reference Controller, Model Predictive Controller та NARMA L2. Результати показують, що нейромережєві регулятори забезпечують менший час перехідного процесу та краще регулювання в порівнянні з традиційними методами. Зокрема, Model reference controller демонструє мінімальне перерегулювання та високу ефективність.

**Ключові слова:** нейромережєвий регулятор, електропривод ліфта, енергоефективність, машинне навчання, Matlab/Simulink, Model Reference Controller, NARMA L2.

**Вступ.** Зростання кількості багатоповерхових споруд в Україні та світі підвищує потребу в сучасних, енергоефективних та безпечних ліфтових системах. Основою роботи таких систем є автоматизовані системи керування електроприводами, які забезпечують надійне функціонування ліфта та комфорт пасажирів. Модернізація таких систем дозволяє підвищити енергоефективність, зменшити експлуатаційні витрати та покращити безпеку.

**Мета та завдання дослідження.** Метою роботи є дослідження нейромережєвих регуляторів в складі системи управління електроприводу ліфта.

**Матеріал та результати дослідження.** Електропривод ліфта є комплексною системою, що складається з електродвигуна, перетворювача частоти, датчиків положення та системи керування. Традиційні релейно-контакторні схеми мають низьку ефективність, високий рівень споживання електроенергії та складність обслуговування [1]. Сучасні частотно-регульовані приводи та мікропроцесорні системи керування надають можливість плавного розгону та гальмування, підвищують енергоефективність та зменшують знос механічних компонентів [2].

Робоча гіпотеза полягає в тому, що впровадження систем нейромережєвого керування дозволить підвищити ефективність роботи ліфтових систем, підвищити швидкодію електроприводу або спростить налаштування регуляторів в складі системи управління електроприводу [6]. Завдяки алгоритмам машинного навчання нейрорегулятор може автоматично оптимізувати параметри управління у відповідь на зміну умов експлуатації, таких як маса ліфта чи зношення компонентів [4, 5]. Нейрорегулятор не вимагає тривалого ручного налаштування, оскільки його навчання проводиться на експериментальних даних, які формуються під конкретний об'єкт [3].

Синтезовано модель електропривода ліфта за системою «Перетворювач частоти – асинхронний двигун» в середовищі Matlab/Simulink. Модель містить два контури регулювання – за струмом і за швидкістю. Для усіх випадків було застосовано пропорційно-інтегруючий регулятор струму. Подібні регулятори є стандартним рішенням для реалізації

керування контуром струму. Проведено дослідження різних типів регуляторів швидкості для створеної моделі. Були досліджені традиційні П, ПІ та ПІД регулятори, а також нейромережеві регулятори типів Model Reference Controller, Model Predictive Controller та NARMA L2.

Параметри пропорційного та пропорційно-інтегруючого регулятора налаштовані на симетричний оптимум. ПІД регулятор налаштовано методом Зіглера-Нікольса. Для налаштування нейромережевого регулятора сформовано навчальну вибірку – дані, на яких було проведено навчання штучної нейронної мережі (ШНМ). Такі дані представляють собою сигнали з входу і виходу об'єкта управління (ОУ). Для збору навчальних даних для кожного нейрорегулятора було проведено серії ідентифікацій об'єкта управління. Для цього послідовність випадкових ступінчатих сигналів подавалась на вхід об'єкта управління і фіксувалися вихідні сигнали ОУ. Таким чином для кожного моменту часу отримано пару сигналів: вхідний і вихідний. На рис.1. представлено структуру нейромережевого регулятора Model reference controller, та реакцію системи на одиничний ступінчатий вплив для 6 досліджених типів регуляторів.

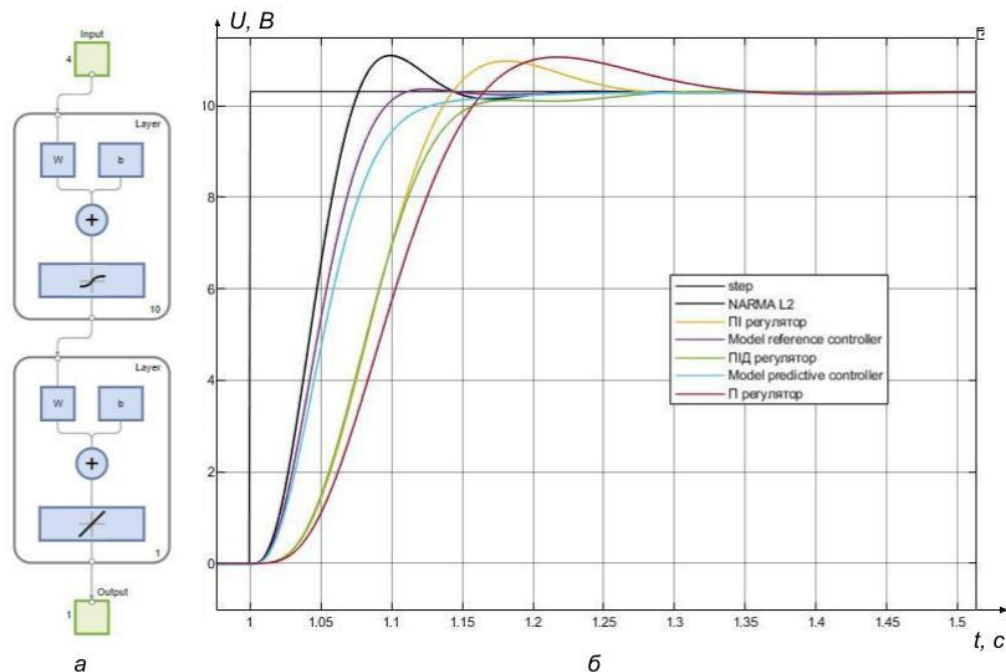


Рисунок 1 - Структура нейромережевого регулятора Model reference controller (а) та реакція системи на одиничний ступінчатий вплив (б)

**Висновки.** Дослідження синтезованих моделей електроприводів із різними типами регуляторів швидкості дозволяє зробити наступні висновки. Регулятори на основі штучних нейронних мереж демонструють менший час регулювання, ніж традиційні регулятори. Час перехідного процесу при використанні нейромережевого регулятора NARMA L2 в 1,75 рази менший за час перехідного процесу пропорційного регулятора. Нейромережеві регулятори Model reference controller та Model predictive controller демонструють схожий характер наростання регульованого сигналу, швидкість наростання вища за системи із традиційними регуляторами. Із досліджених неромережевих регуляторів найменше перерегулювання показав Model reference controller, час регулювання склав 0,15 с регулятор містить 10 нейронів із тангенційною функцією активації в прихованому шарі та один вихідний нейрон із лінійною функцією активації.

**Список використаних джерел:**

1. Васильєв О.В. “Електроприводи ліфтів: теорія та практика”. Київ: Техніка, 2020.
2. Коваленко М.П. “Частотно-регульовані приводи для підйомних механізмів”. Харків: Основа, 2019.
3. Smith J. “Elevator Control Systems: Modern Solutions”. Springer, 2021.
4. Іванченко С.О. “Інтеграція ліфтових систем з BMS”. Одеса: Порто-Франко, 2022.
5. Brown T. “IoT-based Monitoring in Elevator Systems”. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2023.
6. Лисенко І.В. “Енергоефективні системи керування ліфтами”. Львів: Політехніка, 2021.

**Huang Shuangshuang**, master's student  
Scientific supervisor: Ph.D., assoc. prof. **Gorodetskyi Viktor**  
Department of Automation of Electrotechnical and Mechatronic Complexes  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

## MODERNIZATION OF MINE HOIST CONTROL SYSTEM

**Abstract.** *This study focuses on the upgrade of the electronic control system for a mine hoist at Bai Dong Mine in Datong, Shanxi, China, crucial for operational safety. The paper outlines the system components and functions, analyzes electrical drive schemes, and selects Siemens S7-300 PLC and a frequency converter for hardware. Implementing a fuzzy adaptive tuning PID algorithm enhances control efficiency, and software design in STEP 7 with monitoring via a touch screen ensures real-time control, tested and debugged on a simulation platform.*

**Keywords:** *mine hoist, control system modernization, reliability, intelligence, operational efficiency*

**Introduction.** This paper takes the upgrade of the electronic control system of Baidong Mine in Datong City, Shanxi Province as a typical case, and upgrades the whole electronic control system. Starting from the mine's technical parameters and hoist system, the composition of hoist system and the function of each component are introduced, and then the electric drive scheme is analyzed, thus the transformation scheme of the whole electric control system is determined. By comparing the fuzzy adaptive tuning PID control algorithm with the traditional PID control algorithm, the superiority of the fuzzy adaptive tuning PID control algorithm is proved, and the algorithm can be applied to the stroke control of the elevator. After a brief introduction of the programmable controller and high voltage inverter, finally in terms of hardware, the S7-300 series PLC produced by Siemens of Germany and the AC-AC inverter produced by Shandong Xinfenghuang Company were selected [1]. In addition, the software part of the electronic control system is designed in STEP 7 programming software. The multi-dimensional touch screen is configured through the upper configuration software, and the operation of the hoist can be monitored in real time through the touch screen. Finally, the debugging of the electronic control system is completed on the test bench [2].

**Purpose and objectives.** The purpose of this study is to improve the reliability and safety of mine hoist electromechanical control system, so as to ensure the smooth progress of mine production and the safety of miners. Through the comprehensive analysis of the existing electronic control system in Baidong mine, combined with advanced technical means, the electronic control system is upgraded to meet the current high standard of safety performance of mine hoist.

**Research tasks.** System analysis: Based on the technical parameters and hoist system of Baidong Mine, the composition of hoist system and the functions of each part are elaborated in detail to provide a theoretical basis for the subsequent upgrading.

Electric drive scheme analysis: The existing electric drive scheme of Baidong mine is deeply analyzed, and the direction and target of the electric control system transformation are determined [3].

Application of intelligent control algorithm: Comparing fuzzy adaptive tuning PID control algorithm with traditional PID control algorithm through modeling and simulation, the superiority and application value of fuzzy adaptive tuning PID control algorithm in elevator stroke control are verified.



**Hardware selection and design:** In terms of hardware selection, select suitable PLC (such as S7-300 series of Siemens, Germany) and high voltage inverter (such as AC-AC inverter produced by Shandong Xinfenghuang Company), and complete the hardware design of the electronic control system [4].

**Software design and monitoring:** Complete the software design of the electronic control system in STEP 7 programming software and configure the multi-dimensional touch screen through the upper configuration software to realize real-time monitoring of the operating status of the hoist.

**System commissioning and verification:** Complete the commissioning of the electronic control system on the test bench to ensure that the system can run stably and meet the expected reliability and safety requirements.

Through the completion of the above tasks, this study will provide a feasible scheme for the upgrading of the hoist electromechanical control system and provide a strong guarantee for the safety and smooth progress of mine production.

### **Material and results of the research.**

#### **1. Speed curve optimization design.**

**"S" speed curve:** The traditional mine elevator speed curve is usually trapezoidal curve or linear acceleration, and the "S" curve can smooth the acceleration and deceleration process. Through the smooth transition of the nonlinear curve, the instantaneous acceleration can be effectively reduced, thereby reducing the mechanical shock and energy requirements of the equipment.

**Multi-stage speed curve:** According to different load and stroke, design multiple stages of different acceleration and deceleration curves to adapt to the energy requirements under different working conditions and ensure the stationarity of the system.

**Adjust the acceleration rate:** By analyzing the load characteristics of the mine hoist, the acceleration and deceleration rate of each stage are reasonably adjusted to avoid the impact of the system's excessive acceleration on the equipment during the acceleration stage.

#### **2. Application of modern control strategies.**

**Fuzzy control:** Speed is adjusted by fuzzy control during acceleration and deceleration, and acceleration can be adjusted according to real-time load and speed changes to achieve smooth transitions.

**PID controller improvement:** Based on the traditional PID controller, the fuzzy adaptive PID parameter adjustment method is introduced, so that the PID parameters can be adjusted in operation to meet the needs of different loads and working conditions [5].

**Predictive control:** By calculating the speed and load for a period in real time, the speed change of the elevator is adjusted in advance to achieve a smoother operation process.

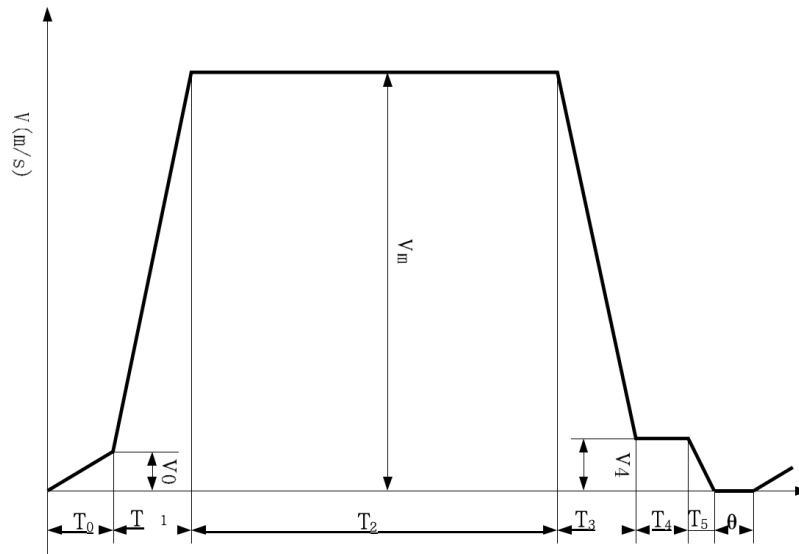


Figure 1 - Velocity diagram

**Conclusions.** On this basis, this paper upgrades the electronic control system of Baidong mine. Compared with the previous electronic control system, there are mainly the following innovations:

(1) PLC with high reliability coefficient in industrial controller is used for control, and a double PLC control system is designed. Due to the redundant structure of double PLC, the reliability of daily production of Baidong mine is greatly improved. And in the PLC programming software designs a reasonable safety loop, coupled with the original hardware safety loop of the system, improving the safety of the system [1].

(2) The vector control AC-AC frequency conversion speed regulation system replaces the rotor string resistance speed regulation system, which realizes the efficient use of energy and has a wider range of speed regulation.

(3) The fuzzy adaptive tuning PID algorithm in intelligent control can be used to replace the traditional PID algorithm in speed control, so that the lifting function can better run according to the ideal "S" speed diagram, and through Matlab simulink modeling and simulation. It is proved that the dynamic and static response of fuzzy adaptive tuning PID control is stronger than that of traditional PID control, and it has better control performance.

(4) The design of the upper computer monitoring system is completed, which meets the requirements of human-computer interaction. Through the monitoring screen of the multi-dimensional touch screen, you can understand the real-time working status of the elevator more intuitively and clearly.

#### References:

1. GAO Yong. Analysis of Electrical Control System of Aerial Construction Vehicle based on PLC [J]. Hebei Agricultural Machinery, 2021.  
[https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=123k0jq0f27d0g20d3060080v8299504&site=xueshu\\_se](https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=123k0jq0f27d0g20d3060080v8299504&site=xueshu_se)
2. Mao Yanrong. Tall, space work platform control system design research [D]. Chang 'an university, 2010. The DOI: 10.7666 / d.Y. 1730001.  
<https://www.doc88.com/p-843810317509.html>
3. Ye Shengwei, Miao Yunjiang. Based on PLC automatic mine cage door design [J].

Journal of hydraulic and pneumatic, 2011 (7) : 4. DOI: 10.3969 / j.i SSN. 1000-4858.2011.07.032.

[https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=2953b51f206ff7904e05dc233e2ea201&site=xueshu\\_se](https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=2953b51f206ff7904e05dc233e2ea201&site=xueshu_se)

4. Wang Fengzhou, Yang Zhicheng. Multi-functional elevator design of old residential building based on PLC control [J]. Electronic World, 2021, 000(019):136-138.

[https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=1v240g00uf2g0ck0bs150e60hf631505&site=xueshu\\_se](https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=1v240g00uf2g0ck0bs150e60hf631505&site=xueshu_se)

5. Liu Shengbao. Elevator type three-dimensional garage and bush roller chain transmitting double-track device thereof.2014[2024-11-15].

[https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=0da29dbc8ec18611b37d62b8f11a8517&site=xueshu\\_se](https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=0da29dbc8ec18611b37d62b8f11a8517&site=xueshu_se)

Шкапа Я.І., магістрант,  
науковий керівник: д.т.н., професор Розен В.П.,  
кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПЛАНУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГ РЕЖИМУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО БАСЕЙНУ

**Анотація.** У статті розглянуто питання планування та моніторингу режиму електроспоживання вугільних шахт Львівсько-Волинського басейну. Запропоновано математичну модель оптимізації електроспоживання, яка враховує виробничі навантаження та сезонні коливання. Проведено розрахунки енергетичних витрат і визначено ефективність впровадження системи моніторингу, що дозволяє знизити витрати на електроенергію на 15%.

**Ключові слова:** електроспоживання, моніторинг, енергоефективність, вугільні шахти, оптимізація.

**Вступ.** Вугільні шахти є одними з найбільших споживачів електроенергії в регіоні, що зумовлено використанням потужного гірничого обладнання та систем вентиляції [1]. Постійне зростання цін на електроенергію вимагає впровадження ефективних методів моніторингу та оптимізації споживання для зменшення витрат [2].

**Мета та завдання досліджень** Метою дослідження є розробка методології планування та моніторингу режиму електроспоживання, яка дозволяє зменшити енергетичні витрати шахт. Основні завдання включають:

1. Аналіз існуючих режимів електроспоживання.
2. Розробка математичної моделі для прогнозування споживання.
3. Проведення розрахунків енергетичних витрат.
4. Впровадження системи моніторингу для підвищення енергоефективності.

**Матеріал та результати досліджень.** 1. Математична модель оптимізації електроспоживання.

Для аналізу та прогнозування режимів електроспоживання використано модель на основі методів регресійного аналізу [3]:

$$E(t) = P(t) + L(t) + S(t),$$

де:

- $E(t)$  — загальне споживання електроенергії в момент часу  $t$ ;
- $P(t)$  — виробниче споживання (електроспоживання обладнання);
- $L(t)$  — втрати в електромережах;
- $S(t)$  — сезонні коливання споживання.

2. Розрахунок витрат електроенергії

Втрати електроенергії розраховано за формулою:

$$W_{loss} = I^2 R t$$

де:

$W_{loss}$  — втрати електроенергії (кВт·год);

$I$  — сила струму (А);  
 $R$  — опір мережі (Ом);  
 $t$  — час роботи обладнання (год).

При середньому значенні сили струму 150 А та опорі мережі 0,5 Ом за зміну тривалістю 8 годин, втрати електроенергії складають:

$$W_{\text{loss}} = (150)^2 \times 0,5 \times 8 = 90000 \text{ Вт\год} = 90 \text{ кВт\год}.$$

Це становить близько 5% від загального споживання за зміну.

3. Оцінка ефективності впровадження системи моніторингу.

Впровадження системи моніторингу дозволило знизити витрати на електроенергію за рахунок зменшення пікових навантажень та виявлення неефективної роботи обладнання. За результатами аналізу споживання за місяць до впровадження системи та після:

Середнє споживання до впровадження: 1800 кВт·год/день.

Середнє споживання після впровадження: 1530 кВт·год/день.

Економія становить:

$$\Delta E = 1800 - 1530 = 270 \text{ кВт год/день}.$$

При середній вартості електроенергії 2,5 грн/кВт·год, економія за місяць складає:

$$\text{Економія} = 270 \text{ кВт\год} \times 30 \text{ днів} \times 2,5 \text{ грн/кВт\год} = 20250 \text{ грн/міс}.$$

**Висновки.** Розроблена математична модель дозволяє ефективно прогнозувати споживання електроенергії з урахуванням виробничих навантажень та сезонних коливань.

Проведений розрахунок показав, що втрати електроенергії в мережі складають до 5%, що вимагає додаткових заходів для їх зменшення [4].

Впровадження системи моніторингу забезпечило зниження середнього споживання електроенергії на 15%, що дозволяє заощаджувати понад 20 000 грн на місяць для однієї шахти [5].

Використання запропонованих методів дозволяє підвищити енергоефективність вугільних шахт та знизити витрати на електроенергію, що є важливим чинником для стабільного розвитку підприємств галузі.

#### Список використаних джерел:

1. ДСТУ ISO 50001:2018. Системи енергетичного менеджменту — Вимоги та настанови щодо застосування. — Київ: ДП "УкрНДНЦ", 2018. — 28 с.
2. Андрієнко О.О., Козак В.М. Управління енергетичними ресурсами на підприємствах гірничої промисловості. — Київ: Наукова думка, 2020. — 240 с.
3. Тимошенко В.В., Іванов О.П. Моделювання режимів електроспоживання промислових підприємств // Енергетика та електрифікація. — 2021. — № 2. — С. 35-42.
4. Василенко П.В. Методи оптимізації споживання електроенергії у гірничих підприємствах // Журнал енергетичного менеджменту. — 2022. — Т. 3, № 1. — С. 14-22.
5. Демчук Р.О., Кривошапка М.Г. Впровадження систем моніторингу енергоспоживання на вугільних шахтах: досвід і перспективи // Вісник технічних наук. — 2023. — Т. 45, № 5. — С. 72-80.

**Босенко В.Е.**, магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент **Мейта О.В.**,  
кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## МОДЕРНІЗАЦІЯ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ

**Анотація** Розглянуто шляхи підвищення енергоефективності трансформаторної підстанції. Проведено розрахунок теплових характеристик трансформатора ТМН 4000/35. Запропоновано модернізацію трансформаторної підстанції, яка полягає у застосуванні керованої системи охолодження.

**Ключові слова:** трансформатор, насос, перегрів, система охолодження.

**Вступ.** Ефективність роботи трансформаторних підстанцій залежить від робочих навантажень та теплових умов роботи. Забезпечення ефективного охолодження трансформатора є важливим для надійності та тривалості його роботи. Перегрів призводить до деградації ізоляційного матеріалу обмоток, що скорочує термін експлуатації та підвищує ризик виникнення аварії [1]. Одним із шляхів модернізації є вдосконалення системи охолодження через застосування автоматичних систем моніторингу та контролю. Особливо важливо контролювати охолодження трансформатора у період, коли температура навколишнього середовища є високою.

**Мета та завдання досліджень.** Метою роботи є підвищення енергоефективності роботи трансформаторної підстанції. Для досягнення поставленої мети було проведено тепловий розрахунок параметрів трансформатора, визначена необхідна кількість охолоджуючої оливи, виконано вибір насоса та двигуна системи охолодження, розроблена система автоматичного керування охолодженням та алгоритм її роботи.

**Матеріал та результати досліджень.** Проведено аналіз умов охолодження трансформаторів, який показав необхідні параметри, що описують роботу системи охолодження такі як середнє перевищення температури обмотки над температурою оливи та різниця температур між обмотками трансформатора та навколишнім середовищем [2]. На температуру обмоток, а отже і на термін служби трансформатора впливають внутрішні теплові навантаження, які визначаються режимом роботи та ефективність охолодження.

Для оцінки впливу навантаження на температуру обмоток використовується залежність [3]:

$$Q_{\text{обм}} = Q_{\text{масл}} + \Delta Q_{\text{по-м}}$$

де  $Q_{\text{обм}}$  - температура обмоток трансформатора, °С;  $Q_{\text{масл}}$  - температура масла, °С;  $\Delta Q_{\text{по-м}}$  - перепад температури між поверхнею обмотки і маслом, °С.

Перевищення температури обмоток над маслом визначається як:

$$\Delta Q_{\text{по-м}} = 0,35 * k_1 * k_2 * k_3 * q^{0,6}$$

де  $k$  - коефіцієнти, що враховують умови охолодження;  $q$  - густина теплового потоку, Вт/м<sup>2</sup>.

Це демонструє, що збільшення навантаження призводить до зростання теплового потоку та підвищення температури обмоток, що може впливати на ресурс трансформатора.

На основі отриманих результатів було визначено потік масла  $Q$ , який забезпечує ефективне тепловідведення [4]:

$$Q = \frac{P}{c * \rho * \Delta T},$$

де  $Q$  – потік масла м<sup>3</sup>/год;  $P$  – теплові втрати трансформатора Вт;  $c$  – питома теплоємність охолоджуючої оливи Дж/(кг\*°C);  $\rho$  – густина оливи кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta T$  – допустимий температурний перепад.

Залежність потоку масла  $Q$  від умов охолодження означає, що при зростанні теплових втрат, або зниженні допустимого температурного перепаду, потік масла має збільшуватися, щоб забезпечити необхідне охолодження трансформатора. За результатами розрахунків, для досягнення необхідного потоку, було обрано насос МТТ 16/10 з вбудованим двигуном, який задовольняє необхідні потреби. Встановлені датчики температури контролюють температуру масла і за допомогою автоматичної системи керування регулюють роботу насоса системи охолодження в залежності від змін температури оточуючого середовища та обмоток трансформатора.

**Наукова новизна:** Вперше запропоновано систему керування охолодженням трансформатора, яка дозволяє забезпечити необхідну різницю температур між обмотками трансформатора та навколишнім середовищем за рахунок керування продуктивністю насоса охолоджуючої системи для запобігання передчасному старінню ізоляції.

**Висновки.** Модернізація системи охолодження трансформатора шляхом встановлення насоса та температурних датчиків дозволяє автоматично регулювати температурний режим і запобігати перегріву обмоток. Проведений тепловий розрахунок вказує, що для досягнення різниці температур між обмотками трансформатора та навколишнім середовищем не більше ніж 27,5 °C при якій не буде відбуватись пришвидшений знос ізоляції, необхідно забезпечувати потік охолоджуючої оливи з продуктивністю не менше ніж 4.89 м<sup>3</sup>/год

#### **Список використаних джерел:**

1. Берестовий, Денис Олександрович. "Діагностика ізоляції сухих силових трансформаторів." (2024). – 35 с.
2. Ананьєва, Ольга Михайлівна, Михайло Михайлович Бабаєв, and Надія Петрівна Карпенко. "Розрахунок силового масляного трансформатора: методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Електричні машини»." (2023). – 38 с.
3. Розрахунок і проектування трифазного силового масляного трансформатора: курсове проектування: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання. Вінниця: ВНТУ, 2023. 74 с.
4. А.М. Голунов, Н.С. Сещенко, Охолоджуючі пристрої масляних трансформаторів, Видавництво «Енергія», 1976. - 104 с.

**Хлань Я.Є.**, магістрант,  
науковий керівник: д.т.н., доцент, **Сліденко В.М.**,  
кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **НАНОГЕНЕРАТОР ІМПУЛЬСНОЇ ДІЇ НА ПРИВИБІЙНУ ЗОНУ НАФТОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ**

**Анотація.** *Наведені результати досліджень комбінованої дії електричного поля та кавітації на наноканали пористого середовища пластової системи нафтової свердловини, застосуванням п'єзогенератора з генератором імпульсного кавітаційного процесу, які поєднані в одному пристрої для підвищення ефективності видобутку вуглеводнів.*

**Ключові слова:** *наногенератор, наноканали, кавітація, імпульси, , видобуток вуглеводнів.*

**Вступ.** Для сучасного періоду промислового видобутку вуглеводнів в Україні характерна несприятлива геолого-технологічна структура їх запасів, в якій частка традиційних (технологічно освоєних) запасів набагато менша ніж важко видобувних запасів (низько проникні пласти, залишкові запаси, високов'язкі нафти). Тому все більше зростає актуальність нових технологій, здатних ефективно вести видобуток вуглеводнів в ускладнених умовах. Ускладнення, наприклад, при експлуатації нафтових родовищ пов'язані зі складною фізико-геологічною будовою покладів нафти в пластах низькою проникністю і неоднорідністю, дуже низьким пластовим тиском, великою глибиною залягання і розшаруванням продуктивних пластів, накопиченням забруднювачів і кальматантів в фільтраційних зонах свердловин [1].

Особливо актуальною є проблема витіснення покладів вуглеводнів з каналів низької провідності, фактично, з наноканалів пористого середовища пластової системи. Якщо врахувати те, що потреби в енергоресурсах, в тому числі нафті і газі, зростають, а нових потужних джерел відкривається все менше і менше, то актуальність і своєчасність проблеми, що розглядається в роботі є очевидною.

**Мета та завдання досліджень.** Обґрунтування структури та функцій наногенератора імпульсної дії на привибійну зону нафтової свердловини з встановленням його енергетичних характеристик.

**Матеріал та результати досліджень.** Виконаний аналіз інформації з досліджень процесу генерації кавітаційного режиму та процесу функціонування п'єзогенераторів [2]. Встановлено, що підсилення ефективності руйнуючого кавітаційного потоку сприяє додаткова активізуюча дія фізичних полів різноманітної природи. При цьому поняття "фізичне поле" трактується, як особлива форма матерії, яка здійснює взаємодію між частинками, що сприяє зміні параметрів кавітаційного потоку рідини з підвищенням його потужності. Так згенероване електромагнітне поле призводить до притягання або відштовхування частинок речовини, заряджених електрикою різного або однакового знаку (відповідно), що впливає на звуження потоку з концентрацією енергії кавітаційного потоку в центральній частині, що призводить до видовження кавітаційного факела [3].

Під дією електричного поля збільшується швидкість утворення та розмір кавітаційних бульбашок і, зрештою, це впливає на збільшення потужності кавітаційного потоку і ефективності впливу на гетерогенне пористе середовище нафтової свердловини [4].



**Наукова новизна** отриманих результатів:

вперше встановлено степеневу залежність впливу амплітудно-частотних характеристик кавітаційного процесу на потужність п'єзогенераторного модулю наногенератора;

вперше встановлено залежність напруженості електричного поля на довжину кавітаційного факелу та на частоту кавітаційних коливань.

В процесі виконання роботи запропоновані конструктивні рішення поєднання модулів п'єзогенератора та кавітації в одну конструкцію наногенератора, який рекомендується до впровадження у виробництво.

**Висновки.** Вплив електричного поля на процес кавітації та їх комбінування призводить до синергічної ефективної дії наногенератора на пористе середовище нафтової свердловини.

Впровадження наногенератора імпульсної дії на привибійну зону нафтової свердловини дозволить очистити наноканали пористого середовища пластової системи та підвищити продуктивність видобувних свердловин.

#### **Список використаних джерел:**

1. Світлицький В.М. Поточний та капітальний ремонт свердловин/ В.М. Світлицький, С.І. Ягодовський, Г.Р. Галустян. К.: Логос, 2001. 344с.
2. Новиков А.О. Нелінійна модель рекуперативного амортизаційного пристрою/А.О. Новиков, В.М. Сліденко/ Енергетика: економіка, технології, екологія. 2023. № 4 С.76-82 DOI 10.20535/1813-5420.4.2023.290899
3. Сліденко В.М., Поліщук В.О., Зубко А.В. Вплив фізичних полів на кавітаційні процеси генераторів коливань. Проблеми вдосконалення машин та обладнання електромеханічних та мехатронних систем: матеріали Першої міжнар. наук.-метод. конф. м.Київ, 10 груд.2019 р./ Нац. техн. ун-т КПІ ім. І. Сікорського, Київ, 2019. С. 45–47.
4. Долінский А.А., Авдеева Л.Ю., Жукотский Е.К., Макаренко А.А. Дослідження режимних параметрів гідродинамічної кавітації при обробці складних гетерогенних систем. Наукові праці Національного університету харчових технологій 2016, т. 22, №1 С.137-141

УДК 622.3

Лобань О.С., магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент Лістовщик Л.К.,  
кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АДАПТАЦІЇ ВІБРОКОВША ДЛЯ РУЙНУВАННЯ ПОРІД В УМОВАХ КЛЕСІВСЬКОГО КАР'ЄРУ НЕРУДНИХ КОПАЛИН

**Анотація.** Розглянуто систему адаптації віброковша для ефективного руйнування порід у Клесівському кар'єрі нерудних копалин.. Проаналізовано техніко-економічні показники впровадження адаптивної системи.

**Ключові слова:** віброковш, руйнування порід, адаптація, кар'єр, екскаватор.

**Вступ.** В умовах видобутку нерудних корисних копалин у Клесівському кар'єрі виникає необхідність забезпечення високої ефективності та екологічної безпеки при видобутку копалин відкритим способом [1]. Віброковш є одним із ключових інструментів, який, завдяки вібраційним коливанням, підвищує швидкість дроблення, знижує енерговитрати й забезпечує високу продуктивність. Проте, залежно від твердості й структури породи, параметри роботи віброковша мають адаптуватися для досягнення максимального ефекту [2].

**Мета та завдання досліджень.** Розробка адаптивної системи керування віброковшем для підвищення ефективності руйнування порід у складних кар'єрних умовах.

**Матеріал та результати досліджень.** Під час досліджень було проведено експериментальний аналіз різних режимів роботи віброковша, який показав залежність продуктивності від частоти вібрації та сили удару [3]. На основі отриманих даних були визначені оптимальні режими, що забезпечують ефективне руйнування порід з різною твердістю, а також обрані відповідні датчики для контролю робочих параметрів.

Для розрахунку максимально сили опору ґрунту використано залежність:

$$R^r = K \times h^{1.35}$$

де  $h$  — максимальна глибина різання.

**Наукова новизна:** Вперше запропоновано розрахувати параметри системи адаптації віброковша, що враховує зміну твердості породи й регулює параметри вібрації та сили удару в реальному часі.

В ході виконання роботи були розроблені електрична схема та конструктивні рішення для системи адаптації віброковша, які можуть бути застосовані для промислового використання.

**Висновки.** Впровадження системи адаптації віброковша для руйнування порід у Клесівському кар'єрі дозволить автоматично регулювати робочі характеристики, залежно від твердості порід, що забезпечує максимальну продуктивність та ефективність роботи. Запропонована система сприяє зниженню витрат енергії, зменшенню зносу обладнання й подовженню терміну його експлуатації.

Застосування датчика тиску в реальному часі дозволяє вмикати віброковш тільки при досягненні необхідного рівня тиску що забезпечує оптимальну ефективність та витрату енергії.

**Список використаних джерел:**

1. Технологія екологічнобезпечної відкритої розробки нерудних родовищ твердих корисних копалин: монографія. Симоненко В.І., Павличенко А.В., Анісімов О.О., Бондаренко А.О., Черняєв О.В., Гриценко Л.С. Дніпро: Журфонд, 2022. 365 с.
2. Сліденко В.М., Шевчук С.П. Стабілізація функціонування гірничої машини з імпульсним виконавчим органом: монографія, Київ: НТУУ "КПІ", 2010. 192 с.
3. Сліденко В.М., Шевчук С.П., Замаєва О.В. Лістовщик Л.К. Адаптивне функціонування імпульсних виконавчих органів гірничих машин: монографія. -К.: НТУУ "КПІ", 2013. -180 с.

УДК 621.51

**Зубаньов В.В.**, магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент **Мейта О.В.**,  
кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА ПРИВОДУ ЕСКАЛАТОРА**

**Анотація** *Робота присвячена розробці автоматизованої системи керування електромеханічним приводом ескалатора, що дозволить зменшити енергоспоживання за рахунок застосування адаптивного керування приводом в залежності від кількості пасажирів. Проведено розрахунок параметрів приводу з фазорегулятором та виконано симуляцію роботи спроектованої системи.*

**Ключові слова:** ескалатор, привід, система автоматичного керування, фазорегулятор, енергозбереження.

**Вступ.** Електромеханічні приводи ескалаторів є основним компонентом сучасних систем транспортування пасажирів. Значна енерговитратність таких систем вимагає використання ефективних методів автоматизації та керування для зменшення експлуатаційних витрат і підвищення надійності. Важливу роль відіграє система автоматичного керування, яка дозволяє регулювати швидкість руху ескалатора залежно від пасажиропотоку [1-2].

**Мета та завдання досліджень.** Метою роботи є підвищення енергоефективності привода ескалатора шляхом впровадження системи управління з фазорегулятором та рекуперації енергії в мережу. Для досягнення вказаної мети в роботі вирішено задачі:

- Розрахунок параметрів приводу ескалатора.
- Моделювання роботи приводу в пускових та номінальних режимах
- Розробка системи автоматичного керування приводом ескалатора
- Розробка алгоритму керування ескалатором

**Матеріал та результати досліджень.** Оптимізація роботи ескалатора дозволяє зменшити споживання електроенергії на 15-20% завдяки регулюванню робочих параметрів привода та використанню рекуперації. Автоматизована система керування приводом ескалатора поєднує використання фазорегулятора для плавного регулювання швидкості та системи рекуперації енергії для повернення частини спожитої електроенергії до мережі, забезпечуючи адаптацію до змін навантаження та пасажиропотоку. В роботі було проведено розрахунок параметрів приводу ескалатора, зокрема визначено необхідну потужність, силу та швидкість руху приводу в номінальному та пусковому режимах роботи. Розрахунок потужності приводу виконувався за методикою наведеною в джерелі [3]:

$$P = F \cdot v,$$

де  $P$  – потужність приводу, Вт;  $F$  – сила, необхідна для переміщення пасажирів і стрічки ескалатора, Н;  $v$  – швидкість руху стрічки ескалатора м/с.

Сила обчислюється як:

$$F = (m \cdot g + m_{\text{еск}}) \cdot f,$$

де  $m$  – загальна маса пасажирів, кг;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$m_{\text{еск}}$  – маса стрічки ескалятора, кг;  $f$  – коефіцієнт тертя.

Втрати енергії у системі з рекуперацією можуть бути визначені за формулою:

$$W_{\text{рек}} = \eta_{\text{рек}} \cdot (W_{\text{перед}} - W_{\text{втрат}}),$$

де  $W_{\text{рек}}$  – рекуперована енергія  $\eta_{\text{рек}}$  – коефіцієнт ефективності рекуперації,  $W_{\text{перед}}$  – загальна енергія передана на привід,  $W_{\text{втрат}}$  – втрати енергії.

Робота фазорегулятора описується формулою, що відображає залежність потужності, яка подається на електродвигун, від фазового кута керування  $\alpha$ . Ця залежність визначає кількість енергії, яка фактично надходить на двигун, і дозволяє забезпечити плавне регулювання швидкості, регулюючи витрати. Потужність  $P$  в навантаженні можна розрахувати за такою формулою:

$$P = P_{\text{max}} * \cos^2(\alpha).$$

Наведена залежність дозволяє фазорегулятору змінювати величину потужності, що фактично надходить на двигун, і забезпечує плавне регулювання швидкості обертання.

Проведено симуляцію роботи системи з фазорегулятором та рекуперацією та розроблено алгоритм, який автоматично змінює швидкість роботи ескалятора відповідно до пасажиропотоку, зменшуючи енергоспоживання під час простою або низького навантаження. Розрахунки показали, що енергоефективний привод ескалятора матиме наступні параметри:

- Потужність приводу:  $P=7.5$  кВт при номінальному режимі.
- Швидкість руху стрічки:  $v=0.5$  м/с (з можливістю регулювання до  $0.25$  м/с у режимі низького навантаження).
- Рекуперована енергія:  $W_{\text{рек}}=1.2$  кВт·год за зміну (8 годин роботи), що забезпечує економію до 18% електроенергії.

**Наукова новизна:** Наукова новизна роботи полягає в розробці та впровадженні автоматизованої системи керування електромеханічним приводом ескалятора, що поєднує використання фазорегулятора та системи рекуперації енергії.

**Висновки.** Запропонована автоматизована система керування електромеханічним приводом ескалятора з використанням фазорегулятора та системи рекуперації енергії, що дозволяє забезпечити економію енергії до 18 % за рахунок плавного регулювання швидкості ескалятора в залежності від навантаження та повернення частини спожитої енергії до мережі.

#### Список використаних джерел:

1. Мойсєєв І.В. "Системи рекуперації енергії". — Харків: НТУ «ХП», 2019. — 240 с.
2. Тарасов В.В. "Інтелектуальні системи керування енергоефективними приводами". — Львів: Львівська політехніка, 2020. — 275 с.
3. Калашник О.В., Белозерцев Ю.С. "Системи автоматизації та керування електроприводами". — Одеса: Одеський національний університет, 2017. — 320 с.

Брижук В.І., магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент Мейта О.В.,  
кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ РОБОТИ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ЗА КРИТЕРІЄМ МІНІМУМУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ КОМПРЕСОРНОЮ УСТАНОВКОЮ

*Анотація* У роботі розглянуто оптимізація режиму роботи системи охолодження компресорної установки з метою мінімізації електроспоживання. Запропоновано підхід, що передбачає аналіз температурних параметрів та ефективності енергоспоживання компресора з використанням регулювання потужності. Проведено розрахунки енерговитрат за різних умов роботи.

**Ключові слова:** компресор, система охолодження, енергоспоживання, оптимізація.

**Вступ.** Компресорні установки є кількома елементами різних промислових процесів, зокрема в металургії, хімічній та нафтовій промисловості, де вони використовують для стиснення газів або повітря. Однак, компресори споживають значну кількість електроенергії, причому суттєва частина цієї енергії йде на охолодження. Тому зниження енерговитрат на охолодження є завданням, яке сприяє загальному підвищенню енергоефективності промислових підприємств.

**Мета та завдання досліджень.** Метою роботи є зниження електроспоживання компресорною установкою. Основні завдання включають:

- аналіз режимів роботи компресора;
- розрахунок енерговитрат на охолодження при різних режимах роботи;
- розробка системи автоматичного керування продуктивністю охолодження компресорної установки в залежності від навантаження та умов охолодження.

**Матеріали та результати дослідження.** Було виконано вибір компресора та проведено аналіз його роботи при різних навантаженнях. Режим стиснення повітря описується рівнянням політропного процесу [1]:

$$L_{\text{пол}} = \frac{n}{n-1} 10^6 P_1 V_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right],$$

де  $P_1, P_2$  – тиски повітря при всмоктуванні і нагнітанні, МН/м<sup>2</sup>;  $V_1$  – об'єм одиниці маси повітря м<sup>3</sup>/кг,  $n$  - показник політропії.

На основі характеристик компресора було створено математичну модель для оцінки енерговитрат установки. Задача оптимізації полягає у мінімізації загального електроспоживання компресорної установки  $W_{\text{компр}}$  за рахунок знаходження балансу між витратами на стискання і охолодження та сформулюється наступним чином

$$W_{\text{компр}}(N_e, N_{ox}) \rightarrow \min$$
$$\begin{cases} Q = \text{const} \in [Q_{\min}, Q_{\max}] \\ i_1 = \text{const} \\ i_2 = \text{const} \end{cases}$$

Складова витрат на стискання залежить від продуктивності компресорної установки та ступеня стиснення газу [2]

$$N_e = Q_M + G_B(i_2 - i_1) + Q_p,$$

де  $N_e$  – ефективна потужність компресора;  $Q_M$  – тепло, що відводиться охолоджувачем;  $G_B$  – вагова витрата повітря;  $i_1$  та  $i_2$ , – ентальпія повітря до і після стиснення;  $Q_p$  – тепло, що розсіюється у довкілля через корпус компресора, дорівнює 6– 8 % від  $Q_M$ .

Складова витрат на охолодження залежить від властивостей охолоджуючої рідини, її температури та витрат рідини на охолодження [2]

$$N_{\text{ох}} = \frac{m_{\text{рідини}} \cdot p_{\text{рідини}}}{r_{\text{рідини}} \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{нас}}}; m_{\text{рідини}} = \frac{q_e}{c_p \cdot \Delta t_{\text{рідини}}},$$

де  $\eta_{\text{дв}}$  - ККД двигуна,  $\eta_{\text{пер}}$  - ККД механічної передачі,  $\eta_{\text{нас}}$  - ККД насоса,  $p_{\text{рідини}} = 0.15 \dots 0.25$  Мпа,  $\Delta t_{\text{рідини}}$  – температура рідини,  $r_{\text{рідини}}$  – густина рідини,  $q_e$  - повний тепловідвід в процесі стиснення повітря.

Було запропоновано систему керування потужністю охолодження, що забезпечує мінімум споживання електричної енергії компресорною установкою. Система керування включає температурні датчики, датчики тиску та контролер, який обробляє отримані дані й виконує адаптивне регулювання. Залежно від температури й тиску компресора, система автоматично підбирає потужність охолодження, підтримуючи необхідний режим роботи. Розроблено алгоритм керування компресорною установкою, який виконує регулювання потужності охолодження залежно від навантаження компресора та умов охолодження.

**Висновки.** Охолодження повітря при стисненні компресорах є необхідним заходом для забезпечення їх ефективної роботи. Оптимізація роботи системи охолодження дозволяє знизити загальні експлуатаційні витрати та споживання електричної енергії компресором на 5%.

#### Список використаних джерел:

1. Енерго та ресурсощадні установки. Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С. П. Шевчук, О. М. Попович, О. В. Мейта.– 183 с.
2. Г.Г. Леонт'єв, В.І.Дешко, В.В.Дубровська, О.В. Ленькин, Розрахунок системи постачання стисненого повітря промислової дільниці: Метод. вказівки до виконання розрахункової роботи з курсу „Системи виробництва та розподілу енергії” – К.: ІВЦ, Видавництво ”Політехніка”, 2004.- 33 с.

**Марченко Д.О.**, магістрант,  
науковий керівник: д.т.н., доцент, **Сліденко В.М.**,  
кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **АДАПТИВНИЙ ІМПЛОЗІЙНИЙ ДЕПРЕСАТОР НА ГНУЧКІЙ ТРУБІ КОЛТЮБІНГОВОЇ УСТАНОВКИ**

**Анотація.** *Наведені результати досліджень процесу депресійного імпульсного впливу на пластову систему нафтової свердловини, застосуванням депресатора встановленого на гнучкій трубі колтюрінгової установки для підвищення ефективності видобутку вуглеводнів. Запропоновано механізм генерації депресійних імпульсів з впливом на перфораційні отвори обсадної колони.*

**Ключові слова:** *адаптація, колтюрінг, депресійний генератор, імпульси, обсадна колона, видобуток вуглеводнів.*

**Вступ.** Збільшення об'ємів нафти і газу є головною задачею, яка стоїть перед представниками теплоенергетичної галузі як України, так і всього світу. В умовах відсутності нових родовищ нафти і газу перед інженерами нафтогазодобувної промисловості на перший план виходять проблеми, пов'язані з підвищенням ефективності розробки існуючих родовищ. І тут головною задачею, яка потребує свого суттєвого вирішення, стає проблема підвищення продуктивності свердловин [1].

З іншого боку, поступове погіршення структури розвіданих запасів, вироблення і їх виснаження приводять до неухильного зменшення видобутку нафти. Тому проблема інтенсифікації видобутку нафти стає актуальним завданням.

В проведених дослідженнях розглядалися процеси формування депресійних імпульсів на основі реалізації ефекту імпульсу поєднаних з прямим гідравлічним ударом.

**Мета та завдання досліджень.** Обґрунтування структури та функцій адаптивного імпульсного депресатора з встановленням його енергетичних характеристик та з розробкою адаптивної системи керування імпульсним режимом.

**Матеріал та результати досліджень.** Проаналізована інформація з досліджень процесу адаптивного керування та процесу генерації депресивних імпульсів генератора, який встановлюється на гнучкій трубі колтюрінгової установки, а також розроблена структура депресивного генератора імпульсів. Причому, для забезпечення системи адаптивного функціонування розглянуто можливість установки пристрою адаптації на поверхні. Це дозволить забезпечити ефективність обслуговування та надійність експлуатації.

На основі досліджень було визначено параметри депресивного генератора та встановлено оптимальну довжину імпульсної камери, при якій досягається максимальна швидкість імпульсного потоку робочої рідини [2]:

$$p(x, p_0) = \rho \cdot c \cdot \varphi \sqrt{\frac{2 p_0 d}{\rho \cdot \lambda \cdot x} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\lambda (x - l_0)}{d}\right) \right]}$$

де  $\varphi$  коефіцієнт швидкості, прийнятий для даної конструкції  $\varphi=0,71$ ;  $p_0$ – перепад тиску на клапані,  $p_0=11$  МПа;  $\rho$  – густина рідини,  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>;  $d$  – внутрішній діаметр каналу,  $d=0,059$  м;  $\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного опору тертя,  $\lambda =0,02$ ;  $x$  – довжина імпульсного каналу;  $l_0$  - розмір, який характеризує втрати довжини імпульсного каналу через



розташування імпульсного клапану,  $l = 0,01$  м, що відповідає параметрам для імпульсного генератора та рекомендаціям [ста].

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- вперше встановлено степеневу залежність впливу амплітудних характеристик депресійних імпульсів на пластову систему нафтової свердловини;

- вперше встановлено залежності впливу електротехнічних параметрів електромагнітного клапана на швидкість реакції адаптивної системи при зміні параметрів подачі робочої рідини від насосного агрегату.

В процесі виконання роботи запропоновані електрична схема та конструктивні рішення модулю адаптації та генератора депресивних імпульсів, які можуть бути впроваджені в практику.

**Висновки.** Впровадження адаптивного імпульсного депресатора дозволить підвищити продуктивність видобувних свердловин за рахунок очищення перфораційних отворів обсадної колони та порових каналів пластової системи.

Установка депресатора на гнучкій трубі колтюбінгової установки дозволить значно знизити затрати часу на спуско-підйомні операції та забезпечить мобільність обслуговування родовища в цілому.

**Список використаних джерел:**

1. Світлицький В.М. Поточний та капітальний ремонт свердловин/ В.М. Світлицький, С.І. Ягодовський, Г.Р. Галустян. К.: Логос, 2001. 344с. 2. Сліденко В.М. Статистична оцінка ефективності імпульсного генератора для активізації видобутку вуглеводнів/ В.М. Сліденко, Л.Р. Марчук// Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 3/2023 (140). С. 132-148 DOI <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.3.15>

2. Лістовщик Л.К. Мехатронна система імпульсного впливу на привибійну зону пласта нафтової свердловини/Л.К. Лістовщик, В.М. Сліденко, О.П. Лісовол/// Енергетика, економіка, технології, екологія. Науковий журнал (фах. кат. «Б») Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського. №4(46). 2016. С.66-71.

**Безп'ятий Я. В.**, магістрант,  
науковий керівник: д.т.н., доцент, **Сліденко В.М.**,  
кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИЙ ГЕНЕРАТОР ІМПУЛЬСІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ВИДОБУТКУ ВУГЛЕВОДНІВ**

**Анотація.** *Наведено інформацію з дослідження процесу функціонування електрогідролічного генератора імпульсів заснованого на ефекті Юткіна для підвищення ефективності видобутку вуглеводнів. Запропоновано механізм генерації електрогідролічних імпульсів для ефективного впливу на продуктивність видобувних свердловин.*

**Ключові слова:** *електрогідролічний генератор, імпульси, видобуток вуглеводнів, підвищення продуктивності.*

**Вступ.** Забезпечення високої ефективності видобутку вуглеводнів є актуальною проблемою для нафтогазової промисловості [1]. Основні проблеми, пов'язані зі збільшенням дебіту вуглеводнів, включають: зниження пластового тиску, що пов'язано зі зменшенням кількості нафти, яка природним чином надходить у свердловину; обводненість нафтових свердловин; засмічування пористого середовища пластової системи через накопичення парафінів, асфальтенів та інших твердих відкладень, які знижують проникність пласта і ускладнюють рух нафти до свердловини. Застосування імпульсного впливу дозволяє підвищити проникність пластів, що сприяє покращенню продуктивності видобувних свердловин.

В проведених дослідженнях розглядалися процеси формування електрогідролічних імпульсів на основі ефекту Юткіна та їх передача з поверхні в привибійну зону нафтової свердловини [2].

**Мета та завдання досліджень.** Обґрунтування структури та функцій електрогідролічного генератора імпульсів з встановленням його енергетичних характеристик та з розробкою автоматизованої системи керування імпульсним режимом.

**Матеріал та результати досліджень.** Проведено аналіз інформації з досліджень процесу генерації імпульсів електрогідролічним методом, розроблена структура електрогідролічного генератора імпульсів з можливістю його установки на поверхні [3]. Причому, для забезпечення передачі імпульсів з поверхні на глибину до 4000 м розроблена автоматична система пролонгації імпульсів тиску, яка відрізняється від відомих можливістю функціонування в резонансному режимі коливань.

На основі досліджень було визначено параметри імпульсів, що забезпечують оптимальний вплив на пласти. При цьому енергія імпульсу в розрядній камері визначалась залежністю  $E=0,5 \cdot C \cdot V^2$ , де  $C$  – ємність конденсатора,  $V$  – напруга електричного струму. Амплітуда імпульсу тиску на виході з модулю резонансної пролонгації визначалась за формулою Жуковського непрямого гідроудару:  $p = \rho \cdot c \cdot v$ , де  $\rho$ ,  $c$  – відповідно густина рідини та швидкість звуку в ній,  $v$  – швидкість плунжера модулю пролонгації імпульсу.

**Наукова новизна** отриманих результатів:

- вперше встановлено експоненціальну залежність амплітудної характеристики електрогідролічного імпульсу в розрядній камері від геометричних параметрів камери;

- вперше розроблено структуру та параметри електрогідравлічного генератора імпульсів, а також визначені амплітудні і частотні характеристики пролонгованого імпульсу тиску, який передається в привибійну зону нафтової свердловини.

В процесі виконання роботи запропоновані електрична схема та конструктивні рішення генератора імпульсів, які можуть бути впроваджені в практику промислового використання.

**Висновки.** Впровадження електрогідравлічного генератора імпульсів дозволить підвищити продуктивність видобувних свердловин за рахунок збільшення проникності пластів. Розраховані параметри імпульсів забезпечують ефективну дію на привибійну зону нафтової свердловини та пластову систему, що сприяє ефективному видобутку вуглеводнів.

Застосування електрогідравлічної імпульсної системи для впливу безпосередньо з поверхні важливо для ефективної і безпечної експлуатації високовольтної розрядної системи. А при передачі імпульсів тиску по затрубному просторі нафтової свердловини дозволить проводити обробку привибійної зони і впливати на пластову систему практично без зупинки промислового видобутку вуглеводнів

#### **Список використаних джерел:**

1. Катеринчук П.О. Освоєння, інтенсифікація та ремонт свердловин/ П.О. Катеринчук, Д.В. Римчук, С.В. Цибулько, О.Л. Шудрик – Х.: Пром-Арт, 2018. – 608 с.
2. Антонєць І.О. Імпульсне джерело живлення електрогідравлічної установки/ І.О. Антонєць, О.М. Антонєць, В.М. Глушенко// Вісник Національного технічного університету України "КПІ" Серія - Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2006. - № 33. С.71-75
3. Слідєнко В.М., Лістовщик Л.К., Бут В.О. Адаптивна мехатронна система імпульсно-хвильової дії на гірський масив // Електромеханічні та енергетичні системи. Методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць XVI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів (м. Кременчук 12–13 квітня 2018 р.) Кременчук, КрНУ, 2018. С. 27-28.

**Ковальчук В.В.**, магістрант  
науковий керівник: д.т.н., професор **Зайченко С.В.**  
кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СИСТЕМА ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ЛІНІЙНОГО ГАЗОПРОВОДУ ЗІ СТАБІЛІЗАЦІЄЮ ШВИДКОСТІ

**Анотація.** У цій роботі розглянуто розробку електромагнітної системи діагностики лінійного газопроводу з інноваційною стабілізацією швидкості руху. Запропонована система сприяє підвищенню точності та чутливості виявлення дефектів, зменшуючи вплив коливань швидкості на результати вимірювань. В роботі проаналізовано вплив стабілізації швидкості на рівномірність сигналу, що забезпечує однорідність діагностичних даних по всій довжині трубопроводу. Важливими елементами є адаптивність системи до змінних умов середовища та оптимізація енергоспоживання. Результати дослідження свідчать про ефективність системи у виявленні мікродефектів та забезпеченні стабільної роботи при експлуатації у складних умовах.

**Ключові слова:** електромагнітна діагностика, лінійні газопроводи, стабілізація швидкості, дефектоскопія.

**Вступ.** Забезпечення надійності та безпеки газотранспортної інфраструктури є важливим завданням для сучасної енергетики. Газопроводи піддаються постійному зносу, корозії та іншим дефектам, що можуть призвести до аварій і значних економічних збитків. Традиційні методи діагностики, зокрема електромагнітні, мають обмеження через нерівномірність швидкості руху діагностичного обладнання, що може спричинити коливання сигналу та знижувати точність виявлення дефектів [1]. У зв'язку з цим дослідження стабілізації швидкості руху приладів у системах електромагнітної діагностики є актуальним і перспективним напрямком, який здатен забезпечити підвищення ефективності та надійності моніторингу газопроводів.

**Мета та завдання досліджень.** Метою цього дослідження є розробка електромагнітної системи діагностики лінійних газопроводів з функцією стабілізації швидкості руху, що забезпечує підвищену точність і чутливість виявлення дефектів. Для досягнення цієї мети необхідно проаналізувати вплив стабілізації швидкості на рівномірність сигналу, дослідити адаптацію системи до змінних умов середовища, оптимізувати енергоспоживання, а також оцінити ефективність системи у виявленні мікродефектів у складних експлуатаційних умовах [2].

**Матеріал та результати досліджень.** У дослідженні розроблено електромагнітну систему діагностики для лінійних газопроводів з функцією стабілізації швидкості руху діагностичного обладнання. Основою системи є механізм підтримання постійної швидкості руху, який мінімізує коливання сигналу і підвищує точність виявлення дефектів, таких як тріщини і корозійні пошкодження. Застосування стабілізатора швидкості дозволяє забезпечити рівномірність сигналу по всій довжині трубопроводу, що особливо важливо для раннього виявлення мікродефектів [3].

**Наукова новизна** дослідження полягає у впровадженні адаптивної стабілізації швидкості, що дозволяє враховувати змінні умови середовища (тиск, температуру) та знижувати енергоспоживання системи під час діагностики. Результати показали, що стабілізація швидкості підвищує точність і чутливість діагностичних даних, зменшуючи вплив перешкод і шумів, що забезпечує виявлення дефектів навіть у складних умовах експлуатації.

**Висновок.** Розроблена електромагнітна система діагностики лінійних газопроводів зі стабілізацією швидкості руху довела свою ефективність у підвищенні точності та чутливості виявлення дефектів. Впровадження механізму стабілізації швидкості забезпечує рівномірність сигналу по довжині трубопроводу, що дозволяє виявляти навіть мікродефекти. Адаптивна система також демонструє стійкість до змінних умов середовища та оптимізує енергоспоживання, що робить її придатною для використання у складних експлуатаційних умовахст.

**Список використаних джерел:**

1. Іванов, І. О. "Методи електромагнітної діагностики газопроводів: теорія та практика." Вісник інженерної академії, 2022.
2. Петренко, О. І., Сидоренко, М. П. "Системи стабілізації швидкості у діагностичних приладах." Журнал промислових технологій, 2021.
3. Smith, J., & Brown, A. "Adaptive Systems for Pipeline Diagnostics in Variable Conditions." International Journal of Engineering Technology, 2023.
4. Zhang, L. et al. "Optimization of Energy Consumption in Electromagnetic Diagnostic Systems." Energy Engineering, 2020.
5. Миколайчук, Т. "Мікродефекти в газопроводах: виявлення та моніторинг." Енергетична безпека, 2019.
6. Johnson, R., & Lee, K. "Signal Uniformity and Noise Reduction in Electromagnetic Systems." Journal of Applied Physics, 2022.

**Колесніков М.Ю.**, магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент **Торопов А.В.**,  
кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА ЗІ ЗМІННОЮ ДОВЖИНОЮ ТРАНСПОРТУВАННЯ**

**Анотація.** У роботі запропоновано математичну модель електроприводу конвеєрної установки змінної довжини. Використана модель електроприводу, для керування яким застосовується сучасний перетворювач, доповнений можливістю контролю за близько 50 параметрами приводу (частота, струм, напруга, момент, коефіцієнт потужності тощо).

**Ключові слова:** конвеєр, змінна довжина транспортування, статичне і динамічне натягнення, працюючий привод, розрахунок, техніко-економічне обґрунтування, керування електроприводом.

**Вступ.** Широке використання стрічкових конвеєрів у прохідницьких вибоях стало підставою для формування ряд завдань, об'єктивно пов'язаних із можливістю зміни довжини стрічкового конвеєра в короткий проміжок часу за мінімальних трудових витрат. Саме це стає підставою для створення та вдосконалення телескопічних стрічкових конвеєрів.

**Мета та завдання досліджень.** Мета дослідження полягає у створенні та вдосконаленні конструкцій телескопічних стрічкових конвеєрів, які дозволяють швидко змінювати довжину конвеєра з мінімальними трудовими витратами для підвищення ефективності роботи у прохідницьких вибоях.

**Матеріал та результати досліджень.** Проведені за останні роки роботи з удосконалення конструкцій телескопічних конвеєрів призвели до створення конвеєрів з покращеними запасними пристроями, натяжними станціями та перевантажувальними пристроями на кінцевому (виносному) барабані.

Надійність роботи стрічкового конвеєра, що працює при довжині що змінюється, залежить від конструктивних особливостей елементів і всієї транспортної машини в цілому, а також комплексу факторів, що характеризують умови експлуатації, які можна розділити на дві групи: зовнішні фактори та фактори, що залежать від режиму навантаження.

До першої групи факторів відносяться: стислість робочого простору, різноманітність кутів транспортування, наявність вибухонебезпечного і агресивного газу, пару, пилоповітряного середовища, високої відносної вологості, капежа, обмежень можливості для організації ремонту, кусковатість гірської маси та інше.

Навантажувальні режими стрічкових конвеєрних установок характеризуються числом включень за добу та часом перебування у роботі, рівномірністю транспортування вантажу, зміною довжини транспортування та іншими показниками.

Наявність телескопічного пристрою з системою автоматичного контролю натягнення стрічки дозволяє подовжувати конвеєр під час його роботи [1, 2].

Використання стрічковим конвеєром зі змінною довжиною транспортування в технологічній схемі рис.1,а, в порівнянні з існуючою рис.1,б, дозволяє: збільшити машинний час прохідницького комбайна за рахунок скорочення технологічних операцій пов'язаних з подовженням конвеєра, виключити перевантажувачі [1, 2].

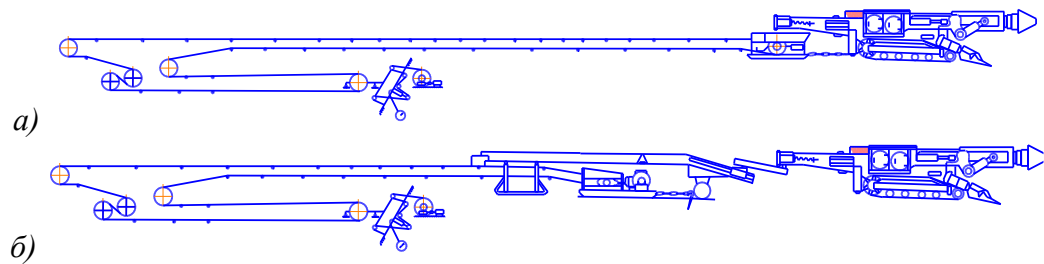


Рисунок 1 – Технологічні схеми робочого процесу будівництва тунелю з застосуванням стрічкового конвеєра зі змінною довжиною транспортування (а) і традиційним методом (б)

Отримані залежності для визначення оптимальних параметрів стрічкового конвеєра зі змінною довжиною транспортування та режими його роботи.

Зміна довжини транспортування конвеєра відбувається завдяки роботі ходового механізму прохідницького комбайна, що переміщує пересувну кінцеву станцію конвеєра.

Теоретичні дослідження здійснено в декілька етапів.

На першому етапі теоретичних досліджень з'ясовано, як параметри механізму зміни довжини транспортування стрічкового конвеєра і параметри конвеєра впливають на швидкості та прискорення пересувної станції і порожньої та вантажної гілок конвеєра [2].

На другому етапі теоретичних досліджень з'ясовано, як параметри механізму зміни довжини транспортування і параметри конвеєра впливають на збільшення динамічного навантаження стрічки під час подовження конвеєра [2].

На третьому етапі теоретичних досліджень було визначено натягнення стрічки під час подовження конвеєра з працюючим приводом [2].

Натяг стрічки, що виникає на барабані пересувної станції під час зміни довжини:

- для конвеєра із працюючим приводом, визначається як сума натягу стрічки перед початком подовження конвеєра  $S_{6H}^{np.}$ , статичного  $S_{ст.пр.}$  і динамічного  $S_{дин.пр.}$  збільшення навантаження стрічки під час подовження конвеєра

$$S_{6пр.} = S_{6H}^{np.} + S_{ст.пр.} + S_{дин.пр.}, H \quad (1)$$

**Висновки.** Встановлено, що натягнення стрічки під час зміни довжини транспортування не перевищує 10% від початкового.

Виконано розрахунок стрічкового конвеєра зі змінною довжиною транспортування.

Обґрунтовано використання стрічкових конвеєрів зі зміною довжиною транспортування

#### Список використаних джерел:

1. Разумний, Ю. Т., and В. М. Прокуда. "Енергоефективність магістрального конвеєрного транспорту вугільних шахт." (2018).
2. Gavryukov A., Kolesnikov M., Zapryvoda A., Lutsenko V ., Bondarchuk O. determination of the Mechanism for Calculating the T ensions of a Working Conveyor Belt During a change in the T ransportation Length. Eastern-European Journal of Enterprise T echnologies, № 2/7 (128) 2024., P. 56 – 66. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.300648.

Швець К.С., магістрант,  
науковий керівник: д. т. н., професор Бойченко С.В.,  
кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## РОБОТИЗОВАНА СИСТЕМА ГЕНЕРАЦІЇ ВОДНЮ ТА ПРОЄКТИ ЗАПРАВКИ НИМ АВТОТРАНСПОРТУ

**Анотація.** *Стаття присвячена дослідженню і розробці технологій автоматизації процесів в водневій енергетиці, яка є одним із найперспективніших напрямків сучасності. Розглядаються основні виклики і переваги водневих технологій, а також роль роботизованих систем у виробництві, зберіганні та використанні водню. Описані різні методи синтезу водню, такі як зелений, блакитний і сірий водень, та їхній вплив на екологічність і ефективність. Визначені перспективи інтеграції водню в транспортну інфраструктуру та промисловість, а також внесок у зменшення екологічного впливу і стимулювання "зеленої" енергетики.*

**Ключові слова:** водневі технології, зелений водень, блакитний водень, сірий водень, роботизовані системи, автоматизація, енергетична ефективність, екологічність, воднева економіка, відновлювані джерела енергії.

**Вступ.** Водневі технології є одним із найперспективніших напрямів сучасної енергетики, що дозволяють вирішувати одночасно кілька глобальних викликів: енергетичну залежність, екологічні проблеми та технологічний прогрес [1]. У центрі цієї галузі — водень, який розглядається як універсальне джерело енергії для транспорту, промисловості та побутових потреб [2]. Утім, розвиток водневої економіки потребує впровадження високотехнологічних рішень, серед яких роботизовані системи займають особливе місце.

**Мета та завдання досліджень.** Метою цього дослідження є розробка та оптимізація технологій автоматизації процесів генерації водню та заправки водневого транспорту.

Об'єкт дослідження: вся система технологій, процесів і інфраструктури, які забезпечують виробництво, зберігання, транспортування і використання водню як енергетичного ресурсу для автотранспортного засобу.

**Матеріал і результати дослідження.** Водень ( $H_2$ ) — це хімічний елемент, найпоширеніший у Всесвіті, але в природі він зазвичай зустрічається в складі сполук (наприклад, вода, метан). Для отримання чистого водню використовують спеціальні технології. Його цінність як енергоресурсу полягає в наступному [3]:

- Висока енергоємність: При спалюванні водню виділяється велика кількість енергії, а єдиним побічним продуктом є вода [4].

- Екологічність: Водень може бути повністю "чистим" паливом, якщо його виробництво базується на відновлювальних джерелах енергії [5].

- Універсальність: Водень використовується в паливних елементах для транспорту, генерації електроенергії, зберігання енергії та у важкій промисловості [6].

На сьогоднішній день можна зустріти різні методи синтезування водню, залежно від процедури та сировини. На основі розглянутих промислових комплексів можна виділити три основні види водню, що отримують та використовують в промисловості [7]:

Зелений водень – відновлювані джерела енергії та практично нульові викиди. Зелений водень виробляється шляхом електролізу шляхом розщеплення молекул води на окремі елементи. Під час цього процесу виробляються лише водень і кисень. Кисень може безпечно викидатися в атмосферу як побічний продукт. Електроліз потребує електричної енергії,



виробленої за допомогою відновлюваних джерел, як-от вітрової та сонячної енергії у випадку зеленого водню. На додаток до електролізу, зелений водень також можна виробляти шляхом парової конверсії біометану та піролізу біогенної сировини. Зелений водень — це найчистіший спосіб виробництва водню з найменшими (близькими до нуля) викидами CO<sub>2</sub>.

Блакитний водень – паровий риформінг, уловлювання та зберігання вуглецю. Блакитний водень отримують шляхом розщеплення природного газу на водень і CO<sub>2</sub>, наприклад, за допомогою парової конверсії метану (SMR). CO<sub>2</sub> не викидається в атмосферу, а вловлюється в процесі і зберігається. Цей процес уловлювання та зберігання вуглецю (CCS) пом'якшує вплив на навколишнє середовище.

Сірий водень – виробляється з викопного палива. Сірий водень виробляється подібно до блакитного водню з викопного палива, наприклад вугілля або природного газу. Однак викиди вуглецю викидаються в атмосферу, що робить цю технологію менш безпечною для навколишнього середовища.

**Роботизовані системи у водневій інфраструктурі.** Роботизація впроваджується в усі ключові етапи водневої економіки [8]:

- Генерація водню: Автоматизовані системи керують процесами електролізу або газифікації, забезпечуючи точність і контроль.
- Зберігання і транспортування: Роботи допомагають ефективно керувати високотисковими резервуарами, які використовуються для транспортування та зберігання водню.
- Заправка транспорту: На заправних станціях роботизовані маніпулятори з'єднують бак автомобіля з системою подачі водню, забезпечуючи швидкість і безпеку.

**Виклики та перспективи.** Хоча водневі технології мають значний потенціал, існують і певні перешкоди:

- Енергозатратність виробництва: Особливо для зеленого водню.
- Вартість інфраструктури: Створення мережі водневих станцій і резервуарів є дорогим.
- Технологічна складність: Роботизація вимагає впровадження передових сенсорів, штучного інтелекту та безпечних матеріалів.

Незважаючи на це, інтерес до водневої енергетики стрімко зростає. Провідні країни світу інвестують у розробку та впровадження таких технологій, адже водень розглядається як ключовий елемент енергетичного переходу до вуглецевої нейтральності.

**Висновок.** Водневі технології та роботизовані системи, які забезпечують їхню ефективність, є ключовими інструментами у глобальному переході до сталого енергетичного майбутнього [9]. На тлі зростання попиту на чисту енергію, зменшення викидів вуглекислого газу та розробки інноваційних технологій водень займає центральне місце в енергетичній трансформації. Розвиток роботизованих систем у цій сфері відкриває нові можливості для підвищення ефективності, безпеки та доступності водневої інфраструктури.

**Технологічний прорив у водневій енергетиці.** Сучасні роботизовані системи, що автоматизують процеси генерації, зберігання та заправки водню, значно розширюють можливості його використання:

- Інновації у виробництві водню (зокрема зеленого водню) сприяють екологічності та енергоефективності. Використання роботів для управління електролізом і газифікацією дозволяє мінімізувати витрати та оптимізувати процеси.
- Роботизація заправних станцій робить їх швидшими, безпечнішими та зручнішими для транспорту.

Ці технології формують основу для інтеграції водню в транспортну інфраструктуру, промисловість і системи зберігання енергії.

**Екологічні та соціальні переваги.** Впровадження водневих технологій сприяє досягненню екологічних цілей:

- Зниження залежності від викопного палива та викидів парникових газів.
- Зменшення впливу транспорту на навколишнє середовище.
- Стимулювання розвитку "зеленої" енергетики, що сприяє формуванню екологічної свідомості серед населення.

Використання роботизованих систем також підвищує рівень безпеки завдяки зменшенню людського втручання у складні й небезпечні процеси.

#### **Список використаних джерел:**

1. Al-Baghdadi, Maher. "An Overview of Hydrogen as an Alternative Fuel." Encyclopedia, 2020, Web.
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. [Online]. URL: <https://www.tuvsud.com/en/themes/hydrogen>.
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.
5. Dincer, Ibrahim, and Marc Rosen. Hydrogen Energy: Challenges and Solutions for a Cleaner Future. Elsevier, 2015.
6. Stiller, Christoph, et al. "Fuel cells: Technologies and applications for the hydrogen economy." Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering, vol. 12, 2021, pp. 123-145.
7. "Global Hydrogen Review 2023." International Energy Agency (IEA). [Online]. URL: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023> (дата звернення 20.11.2023).
8. Thomas, Seth, et al. "Hydrogen Storage Technologies: New Perspectives and Materials for Future Energy Systems." Nature Reviews Materials, vol. 7, no. 1, 2022, pp. 1-18.
9. Eberle, Ulrich, et al. "Fuel cell electric vehicles and hydrogen infrastructure: Status 2020." Energy & Environmental Science, vol. 14, no. 2, 2021, pp. 850-887.

**Мосьондз В.В.**, магістрант,  
науковий керівник: д.т.н., доцент, Сліденко В.М.,  
кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **АДАПТИВНА УДАРНА СИСТЕМА З МЕХАТРОННИМ КЕРУВАННЯМ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА СТАНЦІЇ МЕТРОПОЛІТЕНУ ВІДКРИТИМ СПОСОБОМ**

**Анотація.** *Наведено результати дослідження ударної системи з адаптивною зміною об'єму камери пневмоакумулятора гідромолота за показаннями датчика переміщення його інструмента у відповідності до змінних характеристик вибою при будівництві станції метрополітену відкритим способом.*

**Ключові слова:** *адаптація, ударна система, гідромолот, інструмент, пневмоакумулятор, станція метрополітену, вибій.*

**Вступ.** При роботі гідравлічного екскаватора на будівництві станції метрополітену відкритим способом однією з поширених проблем є не достатньо прогнозована зміна характеристик робочого середовища [1]. Найбільше вона проявляється при застосуванні ударних виконавчих органів – гідромолотів, оскільки при перевищенні енергії удару її надлишкова частина направлена на руйнування корпусу гідромолота і на негативний вплив на робоче обладнання та оператора за рахунок збільшення реакції віддачі [2]. Тому застосування робочих механізмів та ударних машин з керованою енергією удару, яка залежить від технологічних характеристик робочого середовища і не перевищує прогнозованих норм надійності і безпеки є актуальною задачею [3].

**Мета та завдання досліджень.** Обґрунтування структури та функцій адаптивної ударної системи для будівництва станції метрополітену відкритим способом з розробкою адаптивної мехатронної системи керування енергією удару.

**Матеріал та результати досліджень.** Проаналізована інформація з досліджень процесу адаптивного керування ударною системою зміною енергії удару в залежності від змінних параметрів міцності гірської породи або міцного ґрунта при будівництві станції метрополітену за технологією “стіна в ґрунті” [4]. Причому, для забезпечення системи адаптивного функціонування розглянута можливість монтування виконавчого модуля адаптації безпосередньо в конструкції виконавчого органа – гідромолота, а контролер керування – в кабіні оператора. Це дозволить забезпечити ефективність обслуговування та надійність експлуатації мехатронної системи керування.

На основі досліджень було визначено параметри пневмоакумулятора змінного об'єму, який забезпечує можливість адекватної зміни енергії зарядки і, відповідно, енергії удару:

$$L(x, z) = \frac{P_{ак0} \cdot V_{ак0}}{n-1} \left[ \left( \frac{V_{ак0}}{V_{ак0} - S_n x - S_{na} z} \right)^{n-1} - 1 \right],$$

де  $P_{ак0}$ , - початковий тиск зарядки пневмоакумулятора азотом;  $V_{ак0}$  - об'єм пневмоакумулятора;  $n$  - показник політропи;  $S_n, x$  - відповідно площа поршня пневмоакумулятора та його переміщення;  $S_{na}, z$  - відповідно площа поршня модулю адаптації та його переміщення.

З наведеної залежності випливає, що найбільш впливовими є параметри поточної зміни об'єму камери пневмоакумулятора та початковий тиск його зарядки азотом.

**Наукова новизна** отриманих результатів:

- вперше встановлено степеневу залежність впливу ходу поршня модулю адаптації камери пневмоакумулятора на енергію удару гідромолота;
- вперше встановлено залежності характеристик електромангітного клапана подачі азоту від величини початкового тиску зарядки пневмоакумулятора.

В процесі виконання роботи запропоновані електрична схема та конструктивні рішення модулю адаптації та пневмоакумулятора змінного об'єму, які можуть бути впроваджені в практику.

**Висновки.** Впровадження адаптивної ударної системи з мехатронним керуванням для будівництва станції метрополітену відкритим способом дозволить підвищити надійність обладнання гідравлічного екскаватора та підвищити його продуктивність.

Застосування пневмоакумулятора змінного об'єму з можливістю зміни початкового тиску його зарядки в процесі виконання земляних робіт розширить можливості реакції адаптивної системи керування на змінні характеристики технологічного процесу.

#### **Список використаних джерел:**

1. Київський метрополітен» відкрив станції «Деміївська», «Голосіївська» і «Васильківська»: URL: <https://www.unian.ua/economics/transport/437962-kijivskiy-metropoliten-vidkriv-stantsiji-demijivska-golosijivska-i-vasilkivska.html> (дата звернення 11.10.24)
2. Сліденко В.М. Шевчук С.П. Стабілізація функціонування гірничої машини з імпульсним виконавчим органом: монографія. Київ: НТУУ "КПІ", 2010. 192с.
3. Державні будівельні норми України: Споруди транспорту. Метрополітени. ДБН В.2.3-7-2010/ Державне підприємство "ПІ Укрметротунельпроект" Мінрегіонбуду України. Київ: Мінрегіонбуд України. 2011. 192 с.
4. Технологія "Стіна в ґрунті" URL: <https://medium.com/@spib2014>(дата звернення: 14.10.24)

**СЕКЦІЇ 6-8. ПРОБЛЕМИ ВИДОБУТКУ  
КОРИСНИХ КОПАЛИН. ГЕОТЕХНІЧНЕ І  
МІСЬКЕ ПІДЗЕМНЕ БУДІВНИЦТВО.  
ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ ТА  
РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ**

Артёмов Р. М., магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент Гребенюк Т.В.,  
кафедра геоінженерії  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ПРОЕКТУВАННЯ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ЗАСОЛЕНОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВОД ТА ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ВОДИ

**Анотація.** *Стаття присвячена проблемі засолення підземних вод та рішенням, що допомагають мінімізувати цей вплив на екосистеми і здоров'я людей. Основна увага приділяється розробці інноваційних дренажних систем, які поєднують механічні, хімічні та біологічні методи очищення. Використання геосинтетичних матеріалів, сорбційних та біоремедіаційних фільтрів дозволяє ефективно знижувати концентрацію солей та забруднюючих речовин у підземних водах. Перспективи впровадження таких систем включають застосування автоматизованих технологій для контролю якості води в реальному часі, що робить їх адаптованими до різних регіональних умов.*

**Ключові слова:** *засолення підземних вод, дренажні системи, геосинтетичні матеріали, сорбційні фільтри, біоремедіація, аерація, водопостачання, екологічні стандарти.*

**Вступ.** Засолення підземних вод є серйозною екологічною проблемою, яка впливає на водні ресурси і стан ґрунтів, особливо в регіонах із значним техногенним навантаженням [1, 2]. Високий рівень солей у підземних водах створює ризики для їх якості, що впливає на екосистеми та здоров'я людей [3]. Одним із ключових способів запобігання розповсюдження розсолів є проектування дренажних систем, які знижують рівень солей у водоносних горизонтах [4]. Інноваційні підходи допомагають мінімізувати ризики та забезпечити стабільну якість води, яка відповідає екологічним стандартам.

**Мета та завдання дослідження.** Метою дослідження є розробка та впровадження інноваційних дренажних систем для зниження засоленості підземних вод.

**Матеріал та результати досліджень.** В сучасних дренажних системах застосовують нові матеріали та методи підвищення ефективності очищення води від солей та інших забруднювачів [1]. Одним із таких методів є використання геосинтетичних матеріалів, які мають високу водопроникність, але здатні утримувати тверді забруднювачі. Це забезпечує додаткову фільтрацію, що знижує концентрацію солі у воді, яка проходить через дренаж.

Також широко використовуються багатошарові дренажні системи, які дозволяють воді проходити через кілька шарів фільтруючих матеріалів, що забезпечує ефективність очищення. Така структура проводить селективну фільтрацію, виявляючи як механічні частинки, так і хімічні забруднювачі.

Окрім механічної фільтрації, дренажні системи також мають хімічні та біологічні методи очищення для зниження рівня солей і підвищення якості вод [4]. Одним із популярних методів є використання сорбційних матеріалів, таких як активоване вугілля або цеоліти, які здатні ефективно утримувати іони натрію та хлориду, що є основними компонентами засоленості [5]. Сорбційні речовини розміщуються у фільтруючих шарах дренажної системи, що дозволяє проводити очистку під час проходження води через систему.

Крім того, в сучасних системах застосовуються методи біоремедіації, які використовують природні мікроорганізми для розкладання та нейтралізації забруднювачів [1]. У випадку засолених вод біоремедіаційні фільтри містять бактерії, що сприяють зниженню рівня токсичних речовин і, водночас, знижують солоність води.

Високу ефективність також показує аераційний метод очистки, під час якого забезпечується підвищений доступ кисню до води, що проходить через дренажні шари [2]. Процес аерації видаляє важкі метали та знижує рівень хімічного забруднення. Такий підхід дозволяє використовувати очищену воду для господарських і промислових потреб.

Використання інноваційних дренажних систем, що об'єднують механічні, хімічні та біологічні методи очищення, є перспективним рішенням для покращення якості підземних вод у районах із високим рівнем засолення [3]. Геосинтетичні матеріали, сорбційні та біоремедіаційні фільтри ефективно знижують концентрацію солей та інших забруднюючих речовин, що покращує екологічний стан ґрунту та підземних водоносних горизонтів. Впровадження таких систем забезпечує стабільне та чисте водопостачання, зменшуючи ризики для екосистем та здоров'я людей.

**Висновки.** Перспективи розвитку дренажних систем включають інтеграцію автоматизованих систем, які дозволяють контролювати якість води в реальному часі та оперативно регулювати параметри очищення. Такий підхід робить дренажні системи більш ефективними, адаптованими до конкретних умов конкретного регіону, що забезпечує тривалий і стабільний результат у боротьбі з проблемою засолення підземних вод.

#### Список використаних джерел:

1. Інкін В. М. Інженерні споруди: навчальний посібник / В. М. Інкін. – Запоріжжя: ЗНУ, 2020. – 224 с.
2. Дренажні системи: види, принцип роботи, особливості використання. Sitemasters. Посилання: <https://sitemasters.com.ua/pidkazka-znavcja/drenazhni-sistemi-vidi-princip-roboti-osoblivosti-vikoristannya> (дата звернення: 10.11.2024).
3. Дренажні системи (Захист від підтоплення) - Компанія "ВіК". Компанія "ВіК". Посилання: [https://vik.com.ua/pages/view/proektuvannya\\_zaxistu\\_vid\\_pidtoplennya](https://vik.com.ua/pages/view/proektuvannya_zaxistu_vid_pidtoplennya) (дата звернення: 10.11.2024).
4. Види дренажів: типи систем, плани і схеми їх пристроїв. Каналізація дома. Посилання: <https://kanalizaciya doma.com.ua/vidy-drenazhej.htm> (дата звернення: 10.11.2024).
5. Дренажна система та причини її необхідності - Кератерм. Кератерм. Посилання: <https://keraterm.ua/knowledge/drenazhna-systema-ta-pychyny-ii-neobkhidnost/> (дата звернення: 10.11.2024).

**Комаріцин В.А.**, магістрант,  
науковий керівник: д.т.н., професор, **Ремез Н.С.**,  
кафедра геоінженерії  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ПРОЕКТУВАННЯ ПІДЗЕМНОГО ПАРКІНГУ З ВИБОРОМ КРІПЛЕННЯ КОТЛОВАНУ

**Анотація.** У статті розглянуто актуальність будівництва підземних паркінгів в умовах міської урбанізації та висвітлено основні виклики, пов'язані зі забезпеченням стійкості котлованів. Пропонується новий підхід до вибору методів кріплення котлованів, що полягає у використанні комбінованих рішень, які поєднують традиційні механічні технології з новітніми матеріалами, такими як геосинтетика та армовані конструкції. Через комп'ютерне моделювання досліджено вплив цих методів на стабільність конструкцій та економічну ефективність. Показано, що запропоновані комбіновані рішення підвищують стабільність та безпеку конструкцій, знижують витрати на будівництво і екологічний вплив.

**Ключові слова:** підземні паркінги, кріплення котлованів, геосинтетика, армовані конструкції, гідрогеологічні умови, економічна ефективність, екологічний вплив.

**Вступ.** Будівництво підземних паркінгів у сучасних умовах урбанізації стає все більш актуальним через високий рівень забудованості міст та дефіцит вільного простору. Підземні паркінги дозволяють максимально ефективно використовувати територію, забезпечуючи зручність для мешканців та мінімізуючи навантаження на інфраструктуру. Водночас такі проекти супроводжуються низкою інженерних викликів, основним із яких є забезпечення стійкості котлованів під час будівництва [1].

Складні геологічні умови, насиченість ґрунтів водою, висока щільність навколишньої забудови та техногенний вплив на природні системи вимагають впровадження новітніх технологій кріплення котлованів [2].

Додатковим аспектом є забезпечення безпеки будівельних робіт та мінімізація ризиків для навколишніх споруд. Неправильно обрані методи кріплення можуть призвести до зсувів, осідання ґрунтів та пошкодження інфраструктури, що створює значні економічні та екологічні загрози [3]. Дослідження та впровадження сучасних методів кріплення котлованів є ключовим завданням для інженерів у процесі будівництва підземних споруд [4]. Інтеграція нових матеріалів, автоматизованих систем моніторингу та комплексного підходу до моделювання геотехнічних параметрів дозволить забезпечити довговічність, стабільність та безпечність конструкцій підземних паркінгів [5].

Будівництво підземних паркінгів у сучасних умовах урбанізації стає все більш актуальним. Основною проблемою, пов'язаною із їх спорудженням, є забезпечення стійкості котлованів під час будівельних робіт, особливо у складних геологічних умовах.

**Мета та завдання дослідження.** Метою дослідження є розробка та впровадження ефективних технологій кріплення котловану для забезпечення безпеки та довговічності конструкції підземного паркінгу.

**Матеріал та результати досліджень.** У цьому дослідженні розглянуто новий підхід до вибору методів кріплення котловану для будівництва підземних паркінгів [3]. Зокрема, запропоновано комбіновані рішення, що поєднують традиційні механічні методи з новими матеріалами, такими як геосинтетика та армовані конструкції [5]. Це дозволяє підвищити



ефективність захисту котловану від зсувів і осідань, особливо в умовах складних геологічних і гідрогеологічних факторів.

Аналіз методів кріплення: для забезпечення стабільності котловану при будівництві підземного паркінгу застосовуються різні технології кріплення, які можуть бути тимчасовими або постійними. Вибір методу залежить від типу ґрунтів, рівня ґрунтових вод, а також від глибини котловану. Серед найпоширеніших методів виділяють: монолітні залізобетонні стіни, буронабивні палі, геосинтетичні.

Результати моделювання: для оцінки ефективності вибору методів кріплення використовувалися комп'ютерні моделі, які дозволяють точно розрахувати вплив різних факторів на стійкість конструкцій. Моделювання показало, що поєднання геосинтетичних матеріалів з буронабивними пальями дозволяє зменшити осідання ґрунту на 25–30% порівняно з традиційними методами. Крім того, такі комбіновані системи значно знижують вартість проектування та будівництва, оскільки дозволяють скоротити обсяги використання бетонних і сталевих конструкцій.

Вплив гідрогеологічних умов: у районах з високим рівнем ґрунтових вод застосування геосинтетичних матеріалів виявилось особливо ефективним, оскільки вони сприяють збереженню стабільності котловану навіть при підвищеному рівні водонасичення ґрунтів. Зокрема, використання геомембран у поєднанні з армованими стінками дозволяє значно зменшити ризики зсувів і проникнення води в котлован.

Економічна та екологічна ефективність: окрім підвищення стабільності конструкцій, застосування новітніх матеріалів і методів кріплення дозволяє скоротити витрати на будівництво. Використання геосинтетики та комбінованих методів дає змогу зменшити обсяги використаного бетону і сталі, що знижує не лише витрати, а й екологічний вплив на навколишнє середовище. Також ці матеріали мають високу довговічність, що забезпечує стабільність підземних паркінгів протягом багатьох років експлуатації.

**Висновки.** Запропоновані методи кріплення котлованів для підземних паркінгів з використанням комбінованих рішень на основі геосинтетичних матеріалів і армованих конструкцій довели свою високу ефективність і надійність, що дозволяє значно підвищити безпеку будівельних робіт, зменшити час на їх виконання та забезпечити збереження навколишнього середовища.

#### **Список використаних джерел:**

1. Будівництво підземних споруд: керівництво для інженерів / В. П. Коваленко, О. Г. Ткаченко. – Київ: Основа, 2021. – 340 с.
2. Інженерна геологія: навчальний посібник / В. М. Кравченко. – Львів: Техніка, 2019. – 412 с.
3. Системи кріплення котлованів: сучасні підходи / Інженерна справа.  
Посилання: <https://engineeringua.com/kriplennya-kotlovaniv> (дата звернення: 15.11.2024).
4. Використання геосинтетичних матеріалів у будівництві / Геобудівництво.  
Посилання: <https://geobuild.com.ua/geosintetiki> (дата звернення: 15.11.2024).
5. Сучасні технології у фундаментобудуванні / Інженер-проектувальник.  
Посилання: <https://project-engineering.ua/fundament> (дата звернення: 15.11.2024).

**Мельник В.Е.**, магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент **Вапнічна В.В.**,  
кафедра геоінженерії  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **АКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ВОДОПОНИЖЕННЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ КОЛЕКТОРА**

**Анотація.** У статті розглянуто важливість реконструкції каналізаційних колекторів у міських умовах, де інфраструктура постійно піддається фізичному зношенню та впливу агресивних середовищ. Обговорюються методи водопониження, які є критично важливими для успішного виконання будівельних робіт, зокрема застосування голкофільтрів і свердловинного методу. Зазначено переваги та обмеження кожного методу в різних гідрогеологічних умовах. Також надано практичні рекомендації з вибору та впровадження оптимальних рішень для забезпечення стабільної роботи колекторів. Аналіз показує, що для глинистих ґрунтів із низькою проникністю більш доцільним є застосування свердловинного методу.

**Ключові слова:** реконструкція каналізаційних колекторів, водопониження, голкофільтри, свердловинний метод, гідрогеологія, інженерні мережі, міська інфраструктура.

**Вступ.** Сучасна міська інфраструктура неможлива без ефективних систем водовідведення, що забезпечують безпечно і безперервне відведення стічних вод. Каналізаційні колектори відіграють ключову роль у підтримці санітарно-гігієнічних умов, попередженні забруднення водних ресурсів та забезпеченні екологічної безпеки міських територій [1]. Проте багато колекторів, особливо у великих містах, функціонують на межі своїх можливостей через їхній тривалий термін експлуатації, фізичне зношення, вплив агресивного середовища та зростання обсягів стічних вод [2, 3]. В умовах урбанізації, зміни клімату та підвищення рівня ґрунтових вод, питання реконструкції каналізаційних колекторів стає все більш **актуальним**.

Реконструкція каналізаційного колектора є складним інженерним завданням, що потребує ретельного проектування та врахування численних факторів. Одним з найважливіших аспектів під час проведення таких робіт є забезпечення водопониження — зниження рівня ґрунтових вод у зоні будівництва, що створює необхідні умови для виконання будівельних робіт та знижує ризик затоплення [4]. Вибір та обґрунтування заходів з водопониження потребують врахування гідрогеологічних характеристик ділянки, типу ґрунтів, рівня ґрунтових вод, глибини закладання колектора та інших особливостей об'єкта реконструкції.

На сьогодні існує кілька ефективних методів водопониження, серед яких голкофільтри, водопонижувальні свердловини, заморожування ґрунту та електроосмос. Кожен з цих методів має свої переваги та обмеження, що робить вибір технології критично важливим для досягнення необхідних технічних результатів з мінімальними витратами та впливом на довкілля [5]. Розробка і впровадження оптимальних рішень з водопониження дозволяють забезпечити стабільну і безпечну експлуатацію каналізаційних колекторів навіть у складних гідрогеологічних умовах (рис. 1-2).

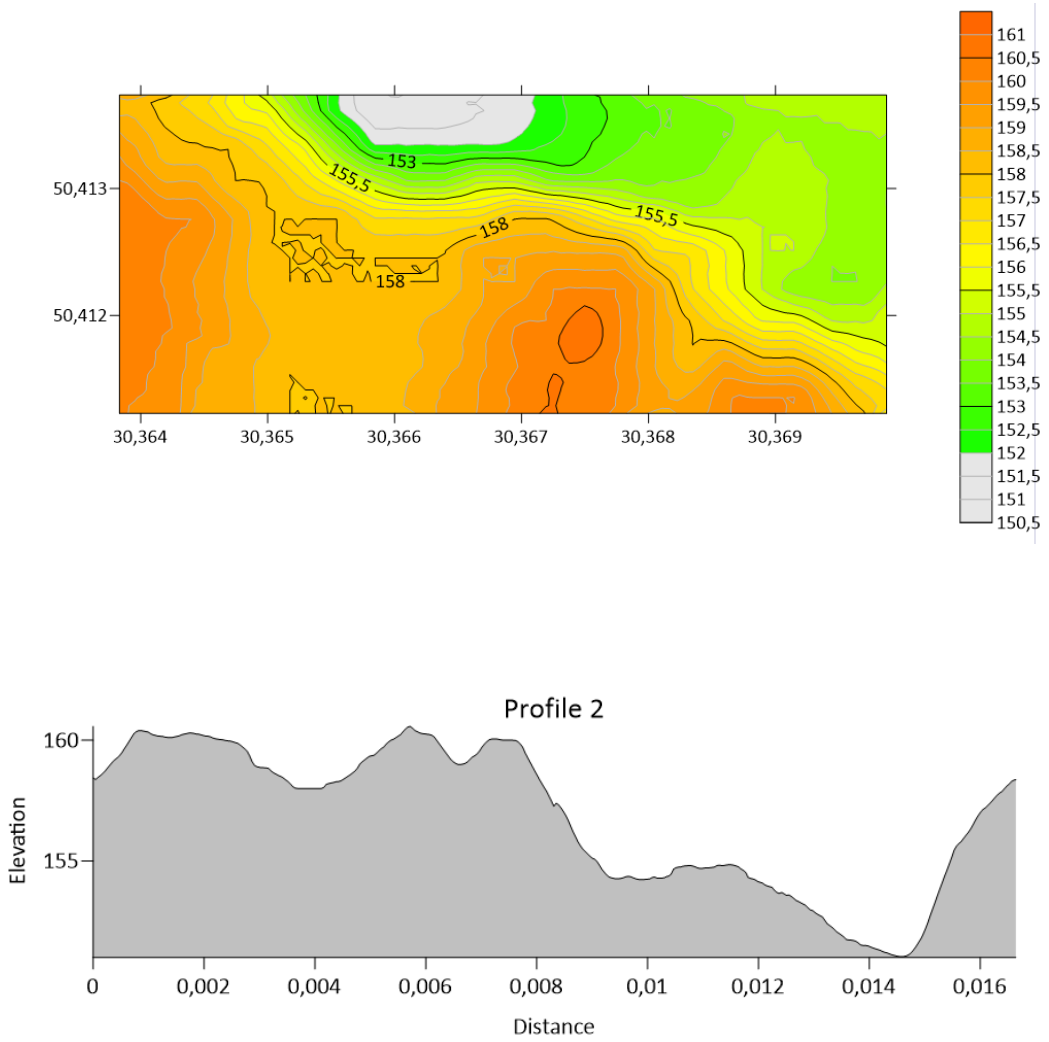


Рисунок 1 – Профіль досліджуваної ділянки

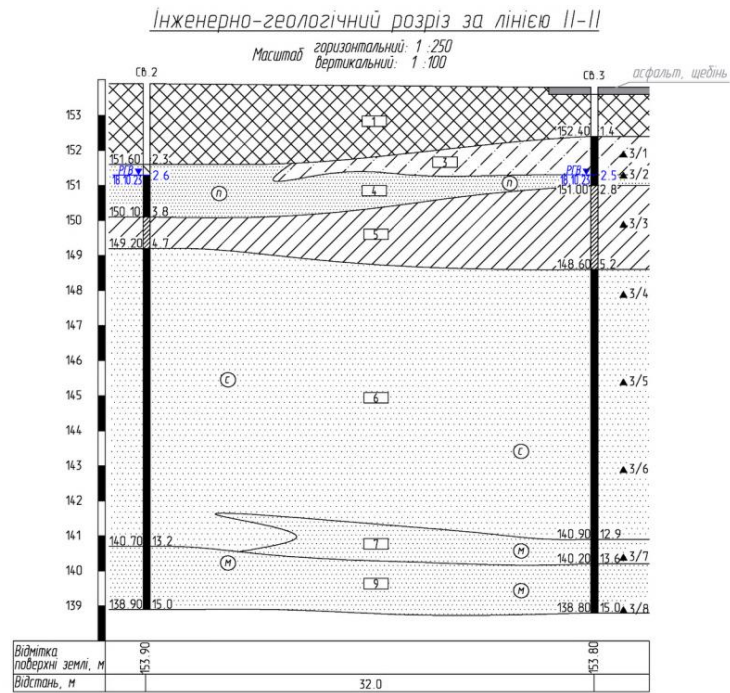


Рисунок 2 – Інженерно-геологічний розріз

**Мета і завдання дослідження.** Метою є розробити інженерні заходи з водопониження для реконструкції каналізаційного колектора з урахуванням специфіки умов експлуатації та сучасних технологічних можливостей. Для досягнення цієї мети було визначено такі завдання:

1. Провести аналіз сучасного стану та основних проблем, пов'язаних із зношенням та аварійністю каналізаційних колекторів.
2. Дослідити методи водопониження, що використовуються у практиці реконструкції підземних інженерних мереж, їх переваги та недоліки.
3. Обґрунтувати вибір інженерних заходів з водопониження для конкретних типів ґрунтів та гідрогеологічних умов.
4. Розробити практичні рекомендації щодо застосування ефективних заходів з водопониження для підвищення надійності та безпеки експлуатації реконструйованого колектора.

**Матеріал та результати досліджень.** Розглянемо водопониження колектора голкофільтрами є ефективним методом для тимчасового зниження рівня ґрунтових вод під час будівництва або ремонту підземних інженерних споруд, таких як колектори, тунелі чи дренажні системи. Ця технологія забезпечує осушення ґрунту, зменшує тиск води та створює умови для безпечного виконання робіт.

**Основні аспекти методу:** голкофільтри — це тонкі труби з перфорацією в нижній частині, яка покрита фільтрувальним матеріалом. Вони встановлюються вертикально в ґрунт для збору ґрунтових вод. Голкофільтри підключаються до колектора (розподільчої труби), який приєднаний до вакуумного насоса. Вакуум створює розрідження, яке "тягне" воду з ґрунту до голкофільтрів. Вода перекачується в приймальну ємність або в систему водовідведення. Існують певні етапи виконання робіт: геологічне дослідження, визначення рівня ґрунтових вод, типу ґрунтів та оцінка необхідної глибини водопониження.

При проектуванні розраховують кількість голкофільтрів, їх розташування та

продуктивності насосного обладнання. Монтаж системи передбачає буріння свердловин, встановлення голкофільтрів, з'єднання їх із колектором. Запуск насосів для постійного відведення води.

Які ж переваги цього методу: висока ефективність у піщаних та супіщаних ґрунтах, можливість осушення великих площ, мінімізація осідання ґрунту, що знижує ризик пошкодження конструкцій. Є обмеження: не підходить для щільних глинистих ґрунтів, крім того має високі енергетичні витрати при тривалій експлуатації насосів і є необхідність постійного моніторингу роботи системи.

Цей спосіб знайшов застосування в будівництві колекторів, дренажних систем та інших інженерних споруд, а також при ліквідації аварій, пов'язаних із підтопленнями.

Грамотна спроектована система голкофільтрів забезпечує ефективне водопониження, підвищуючи безпеку та якість виконання будівельних робіт.

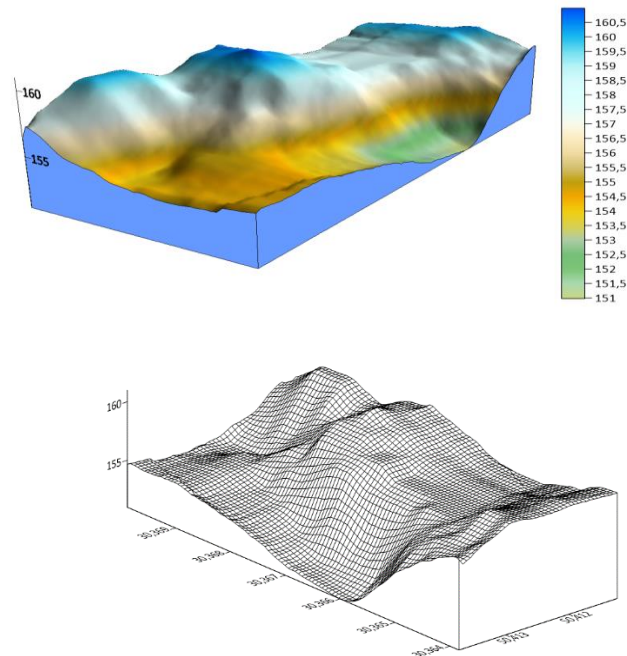


Рисунок 3 – 3D модель досліджуваної ділянки

Ще одним методом водопониження є **свердловинний метод**, тобто ефективна технологія для зниження рівня ґрунтових вод на значних глибинах або в умовах низькопроникних ґрунтів. Цей метод добре підходить для будівництва колекторів, де необхідно забезпечити сухі умови.

**Основні аспекти свердловинного методу водопониження:** свердловини встановлюються вздовж траси колектора або по периметру котловану. Зі свердловин відкачується вода за допомогою глибинних насосів, забезпечуючи зниження рівня ґрунтових вод. Свердловини обладнуються фільтрами, які затримують частинки ґрунту, пропускаючи воду. Глибина свердловин залежить від рівня залягання водоносних горизонтів і необхідної глибини водозниження. Використовуються занурювані насоси, які забезпечують постійну відкачку води. Крім того, можливе застосування автоматизованих систем управління для контролю рівня води. Перевагами методу є, він ефективний для

глибоких котлованів (до 20-30 м і більше). Можливість локального зниження рівня води в проблемних зонах. Висока продуктивність навіть у слабопроникних ґрунтах. Є також і обмеження, тобто висока вартість обладнання та монтажу свердловин і необхідність регулярного обслуговування насосів і фільтрів.

При будівництві колектора здійснюють підготовчі роботи, що включають геологічні дослідження для визначення складу ґрунтів і рівня ґрунтових вод. Розробляють схеми розташування свердловин відповідно до проєкту колектора. Далі свердловини бурять на потрібну глибину, після чого встановлюють обсадні труби з фільтрами. Насоси підключають до системи збору води, яка відводиться за межі будівельного майданчика. Наступним етапом є моніторинг і управління, регулярно контролюють рівень води для підтримки стабільних умов. Якщо потрібно, то замінюють або очищають фільтри. У разі складних умов, свердловинний метод можна поєднувати з іншими системами водозниження, наприклад, із застосуванням шпунтових огорожень.

**Висновок.** Для водозниження у глинистих ґрунтах, які мають низьку проникність (коефіцієнт фільтрації 0,01–0,1 м/добу), доцільніше застосовувати свердловинний метод замість системи голкофільтрів. Голкофільтри менш ефективні через слабку фільтрацію води. Свердловинний метод, який використовує глибинні насоси, забезпечує надійне зниження рівня ґрунтових вод навіть у слабопроникних шарах, дозволяючи уникнути затримок у будівельних роботах і додаткових витрат.

#### **Список використаних джерел:**

1. Технологія, механізація та організація геотехнічного будівництва - 2. Технологія та організація геотехнічного будівництва: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Геоінженерія» / Л.В. Гембарський, С.М. Стовпник; В.В. Вапнічна; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 160 с.
2. Будівництво підземних споруд: керівництво для інженерів / В. П. Коваленко, О. Г. Ткаченко. – Київ: Основа, 2021. – 340 с.
3. Водозниження за допомогою голкофільтрів. Посилання: <https://yak.koshachek.com/articles/vodoznizhennja-za-dopomogoj-golkofiltriv.html> (дата звернення: 15.11.2024).
4. Голкофільтрувальна установка. Посилання: <https://uk.wikipedia.org/wiki/> (дата звернення: 15.11.2024).
5. Технології геотехнічного будівництва / Снісаренко В.І., Гембарський Л.В., Гембарська М.О. – К. : НДІ ПІДЗЕМСПЕЦБУД, 2018. – 552 с.

## **ГЕОПОЛІМЕРНІ СУМІШІ НА ОСНОВІ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ВІДХОДІВ ЩЕБЕНЕВОЇ СИРОВИНИ**

**Анотація.** У статті розглядається перспектива використання геополімерних матеріалів для переробки дрібнодисперсних відходів природного каменю з Лезниківського родовища. Метою дослідження є розробка складів геополімерних сумішей, що базуються на цих відходах. Обрані методи включали сушіння відходів, підготовку розчину гідроксиду натрію, додавання рідкого скла та формування кубічних зразків. Аналіз результатів виявив, що міцність на стиск варіюється від 10 до 20 МПа, зокрема для сумішей на основі дрібнодисперсних відходів каменевидобування. Використання цих відходів потенційно знижує екологічне навантаження шляхом створення високоякісних будівельних матеріалів.

**Ключові слова:** геополімери, дрібнодисперсні відходи, природний камінь, Лезниківське родовище, міцність на стиск, будівельні матеріали, екологічна утилізація.

**Вступ.** На сучасному етапі глобалізації та інтенсивного розвитку промисловості питання раціонального використання ресурсів і зниження негативного впливу на навколишнє середовище стає особливо актуальним. В Україні, як і в багатьох інших країнах, проблема накопичення промислових відходів посідає чільне місце серед екологічних викликів [3]. Одним із перспективних рішень є розробка та застосування геополімерних матеріалів, здатних переробляти відходи різних промислових галузей, включаючи каменевидобувну та каменеобробну. Геополімери користуються попитом у будівництві та промисловості завдяки своїм властивостям: високій міцності, термостійкості, а також мінімальним викидам вуглекислого газу при виробництві [1].

Дослідження показують, що такі відходи сприяють підвищенню механічних характеристик і довговічності геополімерів, роблячи їх ефективним матеріалом для широкого кола будівельних і промислових застосувань [2].

**Мета та завдання дослідження.** Метою роботи є розробка складів геополімерних сумішей на основі дрібнодисперсних відходів природного каменю.

Для досягнення мети було поставлено наступні задачі:

- Проаналізувати сучасний стан досліджень з використання дрібнодисперсних відходів природного каменю у геополімерних сумішах;
- Розробити оптимальний склад геополімерних сумішей з використанням дрібнодисперсних відходів природного каменю.

**Наукова новизна** полягає в оцінці впливу складу геополімерних сумішей на їх міцнісні властивості.

**Матеріал і результати досліджень.** Для виготовлення геополімерів у цьому дослідженні використовували дрібнодисперсні відходи Лезниківського родовища граніту. Методика її включала такі кроки:

1. В дослідженні використовувалося 2,2 кг дрібнодисперсних відходів каменевидобувного виробництва, що висушувалися до постійної маси при температурі 105°C.

2. Під час висушення дрібнодисперсних відходів, готувався 2-молярний розчин гідроксиду натрію (NaOH) загальним об'ємом 220 мл (10% до маси висушених дрібнодисперсних відходів). За для цього в 100 мл дистильованої води було розчинено 8 г

NaOH. І при взаємодії гідроксиду натрію з дистильованою водою відбувалося виділення тепла. Розчин залишали у скляній колбі на 24 години.

3. До розчину гідроксиду натрію додавалося рідке скло ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) з розрахунку 10% до маси висушених дрібнодисперсних відходів. Після додавання рідке скло ретельно змішувалося з розчином лугу.

4. У висушені відходи додавали розчин гідроксиду натрію та рідкого скла ( $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) і ретельно перемішували до однорідності.

5. Надалі формувалися кубічні зразки розмірами 70×70×70 мм. Для цього суміш укладалася у форми і проводилося пресування із тиском 10 МПа.

6. Отримані зразки тверділи при поступовій тепловій обробці температури 200 °С, що пришвидшило реакцію геополімеризації.

7. Дані кубічні зразки випробовувалися на міцність на стиск, які показали непогані результати.

**Висновки.** Застосування розчину гідроксиду натрію та рідкого скла дало змогу отримати геополімерні суміші з використанням дрібнодисперсних відходів каменевидобування з міцністю при стиску від 10 до 20 МПа. При цьому геополімерні суміші з дрібнодисперсних відходів каменеобробного виробництва мають меншу міцність на стиск. Характеристики досліджуваних зразків показано в табл. 1.

Таблиця 1 - Характеристика досліджуваних геополімерних сумішей

№ п/п	Тип відходів, маса сухої суміші, кг	Витрата розчину лугу ( $\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}$ ), мл	Витрата рідкого скла ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), кг	Міцність при стиску, МПа
1	Дрібнодисперсні відходи каменевидобування, 2,2 кг	220	0,220	17,18
2		220	0,176	14,95
3		220	0,132	10,01

Таким чином, використання дрібнодисперсних відходів каменевидобування та каменеобробного виробництва дає змогу отримати нові матеріали та відкриває нові можливості утилізації відходів каменевидобування у будівельній галузі [4].

#### Список використаних джерел:

1. Башинський С.І., Блецко М.І., Панасюк А.В., Припотень Ю.К., Остафійчук Н.М. Дослідження фізико-хімічних властивостей дрібнодисперсних відходів каменеобробних підприємств з метою визначення стратегії поведінки. Технічна інженерія. 2023. Вип. 1 (91). С. 271-279
2. Наумов Я.О., Скиба Г.В. Склад і виготовлення геополімерного бетону із використанням пульпи як наповнювача. Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених “Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції”. Житомир, 2021. С. 29
3. Terrones-Saeta, J.M.; Suárez-Macías, J.; Corpas-Iglesias, F.A.; Korobiichuk, V.; Shamrai, V. Development of Ceramic Materials for the Manufacture of Bricks with Stone Cutting Sludge From Granite. Minerals 2020, 10, 621.
4. Шамрай В.І., Мельник-Шамрай В.В., Темченко А.Г., Махно А.М., Ігнатюк Р.М. Дослідження якісних властивостей відходів каменевидобування та каменеобробки з метою їх використання як сировини для виготовлення геополімерного бетону. Технічна інженерія. 2023. Вип. 1(91). С. 385–397. [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-385-397](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-385-397)



Шуляк А.В., магістрант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент Шамрай В.І.,  
Державний університет «Житомирська політехніка»

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ВІДХОДІВ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ В ГЕОПОЛІМЕРНИХ СУМІШАХ

**Анотація.** У статті досліджується потенціал використання дрібнодисперсних відходів каменю в геополімерних сумішах з метою поліпшення технічних та екологічних характеристик матеріалів. Зокрема, аналізується хімічний склад відходів природного каменю Житомирської області, зокрема гранітів, габро та лабрадоритів, для визначення їхньої придатності до застосування у різних рівнях співвідношення Si/Al в геополімерах. Результати дослідження вказують на можливості використання цих відходів для створення герметизуючих покриттів, хоча відходи лабрадориту потребують подальших досліджень для уточнення їхніх експлуатаційних характеристик.

**Ключові слова:** дрібнодисперсні відходи каменю, геополімерні суміші, хімічний склад, Si/Al співвідношення, Житомирська область, утилізація відходів, граніти, габро, лабрадорити.

**Вступ.** На сучасному етапі економічного розвитку України та світу, суспільство стикається як з новими можливостями, так і з новими загрозами. Більше того, невирішені проблеми, пов'язані з наслідками глобалізації, стають все більш серйозними і потребують нагального вирішення. Серед невирішених проблем сучасного суспільства є питання поводження з промисловими відходами. У деяких випадках питання переробки та утилізації промислових відходів навіть розглядається як частина національної безпеки. В Україні обсяг відходів гірничодобувної промисловості перевищує 25 мільярдів тонн, а їхня площа становить 150 000 га.

Особливе місце в мінерально-сировинному потенціалі Житомирської області займають поклади магматичних інтрузивних порід (граніти, габро, лабрадорити), які забезпечують мінеральну-сировинну базу для гірничих підприємств з видобутку та виробництву декоративно-облицювальної сировини з каменю. Каменевидобувні та каменеобробні підприємства утворюють велику кількість відходів каменю. З усіх видів відходів вище наведених виробництв, дрібнозернисті відходи найменше піддаються переробці. В цьому дослідженні розглядається використання дрібнозернистих відходів каменю в геополімерних сумішах, які характеризуються високими технічними та екологічними показниками [1].

**Мета та завдання дослідження.** Метою роботи є дослідження хімічного складу дрібнодисперсних відходів нерудної будівельної сировини для визначення його придатності до застосування у геополімерних сумішах.

Для досягнення мети було поставлено наступні задачі:

- Проаналізувати сучасний стан досліджень з використання дрібнодисперсних відходів природного каменю у геополімерних сумішах;
- Дослідити хімічний склад дрібнодисперсних відходів природного каменю.

**Наукова новизна** полягає в обґрунтуванні шляхів утилізації дрібнодисперсних відходів нерудної будівельної сировини у геополімерних сумішах.

**Матеріал і результати досліджень.** На території області користувачам надано 92 родовища природного каменю з загальними запасами 140 млн. м<sup>3</sup>. Це створює високу концентрацію переробних підприємств у регіоні. Як і будь-які переробні підприємства,

каменеобробні також створюють відходи. За окремими оцінками щорічний обсяг утворення відходів під час обробки природного каменю підприємствами у Житомирському регіоні може сягати до 50 тис. м<sup>3</sup>.

Дрібнодисперсні відходи природного каменю можна розділити за місцем їх утворення [2]:

- на відходи каменеобробного виробництва, що утворюються на підприємствах з обробки природного (блочного) каменю. Вони характеризуються мінливістю якісного складу, що спричинене переробкою різнотипних гірських порід за мінералогічним та хімічним складом;

- на відходи каменевидобувного виробництва, що утворюються на підприємствах з видобування природного каменю (як блочної, так і було-щебеневої сировини). Які характеризується переважною сталістю якісного складу, що спричинене незначним коливанням мінералогічного та хімічного складу гірської породи в межах родовища.

Одним з найперспективніших напрямків утилізації дрібнодисперсних відходів нерудної будівельної індустрії є геополімерні матеріали, сфера застосування яких є надзвичайно різноманітною [3]. Для визначення сфери застосування геополімерів вивчають хімічний склад їхніх компонентів.

Відповідні властивості, структури та застосування геополімерів залежать від співвідношення Si/Al:

- Si/Al = 1 – матеріали для виготовлення цегли, кераміки та вогнестійких виробів;
- Si/Al = 2 – матеріали для виробництва в'язучих, бетонів з низьким виділенням вуглекислого газу при виробництві, та матеріали для капсулювання отруйних та токсичних відходів;
- Si/Al = 3 – матеріали для виготовлення скловолокна, для виробництва обладнання, що використовується у ливарному виробництві;
- Si/Al > 3 – матеріали для виготовлення герметизуючих покриттів;
- 20 < Si/Al < 35 – матеріали для виготовлення вогнестійких та стійких до впливу високих температур фіброматеріалів.

Було досліджено хімічний склад дрібнодисперсних відходів каменевидобувного виробництва для найбільш поширених видів гірських порід Житомирської області (граніти, габро, лабрадорити), що показав наступні відношення Si/Al: Бистріївське родовище габро – 3,27; Невирівське родовище лабрадориту – 2,63; Лезниківське родовище граніту – 4,94.

**Висновки.** Отже, дрібнодисперсні відходи каменевидобувного виробництва можна використовувати при виготовлення геополімерів для герметизуючих покриттів. Але при дослідженні відходів з Невирівського лабрадориту було виявлено, що відношення Si/Al не відповідає жодному складу компонентів геополімерної суміші, що використовується при виготовленні відповідного матеріалу. Тому для використання відходів лабрадориту у геополімерних сумішах необхідно детально дослідити їх експлуатаційні характеристики.

#### **Список використаних джерел:**

1. Башинський С.І., Блецко М.І., Панасюк А.В., Припотень Ю.К., Остафійчук Н.М. Дослідження фізико-хімічних властивостей дрібнодисперсних відходів каменеобробних підприємств з метою визначення стратегії поведінки. Технічна інженерія. 2023. Вип. 1 (91). С. 271-279.
2. Terrones-Saeta, J.M.; Suárez-Macías, J.; Corpas-Iglesias, F.A.; Korobiichuk, V.; Shamrai, V. Development of Ceramic Materials for the Manufacture of Bricks with Stone Cutting Sludge From Granite. Minerals 2020, 10, 621.

3. Шамрай В.І., Мельник-Шамрай В.В., Темченко А.Г., Махно А.М., Ігнатюк Р.М. Дослідження якісних властивостей відходів каменевидобування та каменеобробки з метою їх використання як сировини для виготовлення геополімерного бетону. Технічна інженерія. 2023. Вип. 1(91). С. 385–397. [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-385-397](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-385-397)

УДК 622.

**Куницька М.С.**, ст. викладач,  
**С.М. Шишко**, аспірант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент **Криворучко А.О.**,  
кафедра маркшейдерії,  
Державний університет «Житомирська політехніка»

## **ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЩЕБЕНЕВОЇ СИРОВИНИ В УМОВАХ ПРАТ «ТНК «ГРАНІТ»**

**Анотація:** У статті розглянуто застосування статистичних методів для моделювання просторового розподілу кількісних та якісних показників щебеневої сировини на прикладі Коростенського родовища. Метою дослідження є виявлення та оцінка варіацій якості сировини в залежності від місця розташування, що є важливим для планування видобутку. Проведено кореляційно-регресійний аналіз даних та побудовані моделі із використанням методу крігінгу. Встановлено, що максимальна якість сировини спостерігається в центральній та південній частинах родовища. Результати дослідження можуть бути використані для прогнозування та ефективного планування гірничих робіт.

**Ключові слова:** геометризація родовищ, щебенева сировина, просторовий розподіл, кореляційно-регресійний аналіз, крігінг, якість сировини, Коростенське родовище.

**Вступ.** Застосування статистичних методів для моделювання кількісних та якісних показників дозволяє узагальнити наявні вимірювання та створювати різноманітні моделі їх просторового розподілу [1]. Основними проблемами при роботі з такими даними є отримання просторових оцінок та вимірювання якісних показників. Під час аналізу та геометризації родовищ створюються різноманітні карти, що відображають якість та розподіл корисних копалин у межах родовищ [2]. Однак питання якості та точності цих карт, неоднозначність оцінок, чутливість методів інтерполяції та інші фактори залишаються актуальними. Геометризація родовищ щебеневої сировини та будівельних корисних копалин є особливо важливим завданням для сучасної гірничої промисловості [3, 4].

**Мета та завдання дослідження.** Метою дослідження є виявлення та оцінка варіацій якості щебеневої сировини в різних частинах родовища, що дає змогу зрозуміти, як змінюється якість сировини в залежності від місця розташування. Оцінити просторовий розподіл параметрів, що визначають якість щебеневої сировини, сприяє прогнозуванню ресурсів, що є важливим для планування процесу видобування гранітоїдів.

**Матеріал і результати досліджень.** На першому етапі геометризації покладу гранітів у Коростенському родовищі було проведено кореляційно-регресійний аналіз. Спочатку здійснили перевірку даних для виявлення можливих викидів або грубих помилок. Результати досліджень свідчать про відсутність значних грубих помилок у межах кожної з розвідувальних ліній, які були об'єктом аналізу.

На другому етапі геометризації покладу Коростенського родовища гранітів було виконано побудову моделей, що характеризують геопросторову мінливість показників якості булощебеневої сировини в умовах ПРАТ «ТНК «Граніт», з використанням методу інтерполяції – крігінг (рис. 1 - 5).

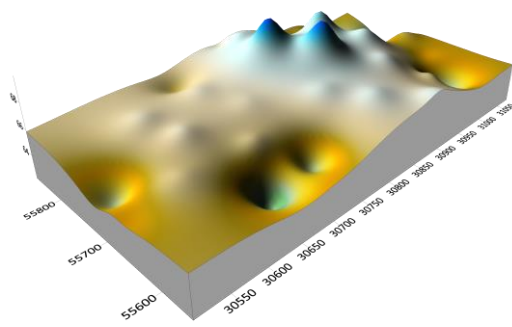


Рисунок 1 - Гірничо-геометрична модель зміни вмісту кварцу в межах родовища, %

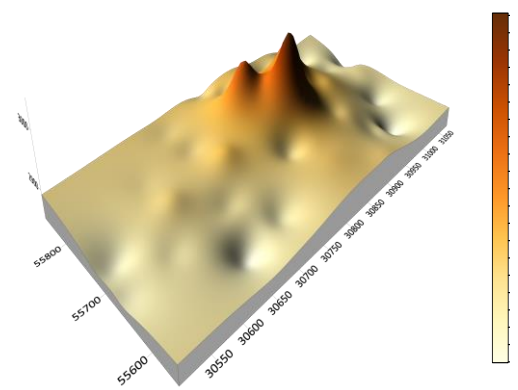


Рисунок 2 - Гірничо-геометрична модель зміни густини породи в межах родовища, кг/м<sup>3</sup>

Максимальну концентрацію кварцу можна спостерігати в центральній частині родовища та в південній частині. Мінімальні показники на південному заході та північному сході.

Густина породи переважно залежить від вмісту кварцу, відповідно максимальна густина простежується в центральній та південній частині.

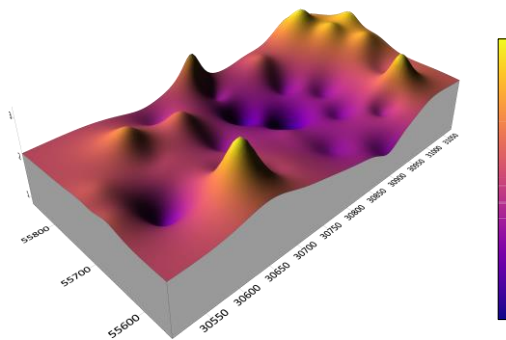


Рисунок 3 - Гірничо-геометрична модель зміни пористості в межах родовища, %

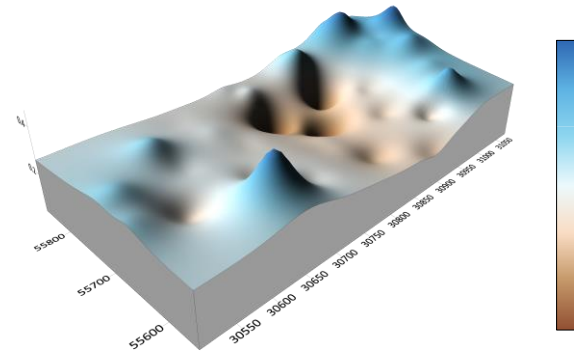


Рисунок 4 - Гірничо-геометрична модель зміни водопоглинання в межах родовища, %

Пористість граніту родовища знижується до центру, мінімальні значення можна спостерігати в східній частині, південно західній та північно західній.

Загалом модель водопоглинання подібна до моделі пористості, тому що переважно сама пористість впливає на водопоглинання.

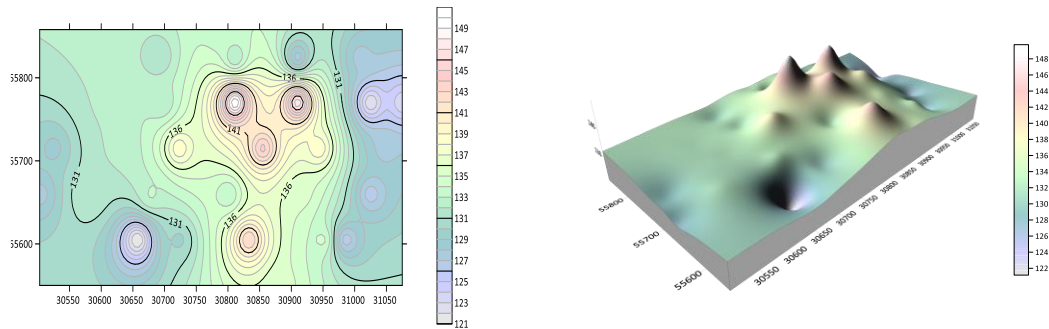


Рисунок 5 - Гірничо-геометрична модель зміни міцності на стиск в межах родовища, МПа

**Висновки.** Сучасні автоматизовані підходи до організації гірничих робіт базуються на використанні тривимірних цифрових моделей. Дані моделі є ключовим джерелом даних про геометричні характеристики, просторове розташування та властивості об'єктів, що використовуються при розробці родовищ.

Використання алгоритмів, інтерактивних, та автоматизованих програмних засобів дає змогу застосовувати різні типи моделей для отримання точних і обґрунтованих рішень при проектуванні та плануванні гірничих робіт.

Аналіз гірничо-геометричних моделей показав, що найвища якість сировини спостерігається в центральній та південній частинах родовища, тоді як найнижча якість — у східній. Варто зазначити, що всі породи родовища повністю відповідають вимогам стандартів.

#### Список використаних джерел:

1. Криворучко, А. О., Котенко, В. В., Горшкальов, С. А., & Бруй, Г. В. (2024). Аналіз структурних особливостей та геометризація якісних властивостей габроїдних порід східної частини Володарськ-Волинського масиву основних порід Коростенського плутону. *Технічна інженерія*, (1(93)), 372–382. [https://doi.org/10.26642/ten-2024-1\(93\)-372-382](https://doi.org/10.26642/ten-2024-1(93)-372-382)
2. Криворучко А.О. Геометризація родовищ кварц-польовошпатової сировини з урахуванням перспектив селективного відпрацювання / А.О. Криворучко, О.О. Ладжигун // Тези Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Іноваційний розвиток гірничодобувної галузі». – Кривий Ріг : КНУ, 2016. – С. 153.
3. Криворучко, А. О., Іськов, С. С., Куницька, М. С., Олійник, О. В., & Шлапак, В. О. (2023). Дослідження просторової мінливості показників якості покладу Мурзинського родовища вторинних каолінів. *Технічна інженерія*, (1(91)), 347–355. [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-347-355](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-347-355)
4. Криворучко А.О. Геометризація структурних і якісних характеристик родовища з метою удосконалення процесу ведення видобувних робіт / А.О. Криворучко, А.Ю. Осадчук, Г.М. Ломаков // Тези Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Іноваційний розвиток гірничодобувної галузі». – Кривий Ріг : КНУ, 2016. – С. 155.

## ПОРІВНЯННЯ ТОЧНОСТІ, ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ВИТРАТ ЧАСУ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ GPS-МЕТОДУ З RTK І ДРОНОВОЇ ЗЙОМКИ З ВИКОРИСТАННЯМ КОНТРОЛЬНИХ ТОЧОК

**Анотація.** У статті досліджується ефективність і точність двох методів зйомки для обліку обсягів гірничих робіт у піщаних кар'єрах: GPS-метод з RTK і дрона зйомка. Проводиться порівняння цих методів за такими показниками, як щільність даних, витрати часу, площа покриття та об'єм гірничої маси. Результати показують, що дрона зйомка забезпечує значно вищу деталізацію моделювання, швидкість виконання та більшу площу покриття, що робить її оптимальним вибором для великих ділянок. У той же час GPS RTK може бути використаний за обмеженого бюджету чи браку доступу до сучасних дронів.

**Ключові слова:** GPS RTK, дрона зйомка, облік гірничих робіт, точність, ефективність, піщаний кар'єр, моделювання поверхонь.

**Вступ.** Зйомка видобувних уступів є важливим етапом обліку обсягів гірничих робіт. Вибір методу впливає на точність, оперативність та економічну ефективність виконання зйомки. У дослідженні порівнюються два методи: GPS-метод з використанням RTK і дрона зйомка з наземними контрольними точками.

**Мета та завдання дослідження.** Дослідити та порівняти ефективність і точність двох методів зйомки – GPS RTK та дрона зйомки – для виконання облікової зйомки видобувного уступу піщаного кар'єру.

**Наукова новизна:** Здійснено детальне порівняння точності, щільності даних, витрат часу та площі покриття для GPS RTK та дрона зйомки, що дозволяє обґрунтувати вибір оптимального методу залежно від умов роботи.

**Матеріал і результати досліджень.** Методи виконання зйомки видобувного уступу піщаного кар'єру суттєво відрізняються за точністю, щільністю точок моделювання та витратами часу. GPS-метод з RTK забезпечує задовільну точність (1 точка на 116 м<sup>2</sup>), але є більш трудомістким через необхідність безпосереднього збору даних із фізичних точок, що потребує покриття маршруту довжиною 750 м. Натомість дрона зйомка (щільність 7,46 точок/м<sup>2</sup>, 1 точка на 0,133 м<sup>2</sup>) демонструє значно вищу деталізацію моделювання поверхонь, зменшення часу польоту (6 хв 40 с) та ефективність покриття ділянок значно більшої площі (13 900 м<sup>2</sup> проти 4640 м<sup>2</sup> [1]). Хоча різниця в обчисленні об'єму гірничих робіт для двох методів є незначною (4271,49 м<sup>3</sup> для GPS проти 4071,96 м<sup>3</sup> для дрона [2]), дрона зйомка забезпечує кращу оперативність та візуалізацію.

Таблиця 1 – Зведені показники порівняння методів знімання

	GPS RTK	Дрона зйомка
Об'єм гірничої маси (м <sup>3</sup> )	4271.49	4071.96
Щільність точок (точок/м <sup>2</sup> )	0.008	7.46
Площа поверхні (м <sup>2</sup> )	4640	13900
Час виконання (хв)	60	6.67
Довжина маршруту (м)	750	450

**Ключові результати порівняння:**

1. **Точність:** дронева зйомка демонструє щільніше покриття (у 933 рази вища щільність точок моделювання).
2. **Ефективність:** маршрут для закріплення контрольних точок і польоту дрона (450 м) вдвічі коротший за маршрут GPS-зйомки (750 м).
3. **Оперативність:** час збору даних дроном значно менший.
4. **Обладнання та обробка:** дрон DJI Mini 3 Pro [3] у поєднанні з програмою Agisoft Metashape забезпечує високу деталізацію моделі за короткий час.

**Висновки.** Для регулярної зйомки піщаних кар'єрів доцільніше застосовувати дронева зйомку, оскільки вона дозволяє зекономити час і отримати точніші результати, особливо для великих ділянок. Однак у випадках, де бюджет обмежений або доступ до сучасних дронів ускладнений, GPS-метод з RTK може залишатися прийнятною альтернативою.

**Список використаних джерел:**

1. **Agisoft Metashape:** Agisoft LLC. (2024). *Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition*. Версія 2.0. Доступно на офіційному сайті: <https://www.agisoft.com>.
2. **Autodesk Civil 3D:** Autodesk Inc. (2024). *Autodesk Civil 3D Documentation and Tutorials*. Доступно на: <https://www.autodesk.com/products/civil-3d>.
3. **DJI Mini 3 Pro:** DJI Technology Co., Ltd. (2024). *DJI Mini 3 Pro User Manual*. Доступно на офіційному сайті: <https://www.dji.com/mini-3-pro>.



## АДАПТИВНІ ПІДХОДИ ДО РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ТЕРИТОРІЙ, ПОРУШЕНИХ ГІРНИЧИМИ РОБОТАМИ

**Анотація.** У статті розглядаються наслідки інтенсивної гірничодобувної діяльності, зокрема, при розробці ільменітових кар'єрів, які призводять до деградації ґрунтів, забруднення водних ресурсів та змін природних ландшафтів. Запропоновано мультидисциплінарний підхід до рекультивації цих територій, що об'єднує інженерно-технічні, біологічні та ландшафтно-екологічні заходи. Використання біочару, азотонакопичуючих рослин та агродронів дозволяє ефективно відновити родючість ґрунтів, скоротити терміни рекультивації та знизити витрати на роботи. Розроблені рекомендації спрямовані на адаптивне використання відновлених земель, підвищення їх економічної ефективності та збереження екологічного балансу. Результати дослідження мають практичне значення для вдосконалення технологій рекультивації в Україні.

**Ключові слова:** гірничодобувна діяльність, рекультивація земель, мультидисциплінарний підхід, ільменітові кар'єри, біочар, агродрони, відновлення екосистем, екологічна стабільність.

**Вступ.** Однією з найактуальніших екологічних проблем сучасності є наслідки інтенсивної гірничодобувної діяльності, що призводить до значного порушення земельного фонду. Масштабні роботи з видобутку корисних копалин зумовлюють деградацію ґрунтового покриву, зміну природних ландшафтів, забруднення водних ресурсів та атмосфери. В Україні, як одному з провідних виробників мінеральної сировини в Європі, зазначені процеси мають суттєвий вплив на екологічну стабільність регіонів. Зокрема, розробка ільменітових родовищ створює значні техногенні порушення, що вимагають впровадження ефективних технологій рекультивації [1].

Актуальність дослідження зумовлена потребою в розробці інноваційних підходів до відновлення порушених гірничими роботами територій, які б забезпечували екологічну безпеку та раціональне використання земельних ресурсів. Мультидисциплінарний підхід, який враховує інженерно-технічні, біологічні та ландшафтно-екологічні аспекти, є перспективним напрямом для вирішення цієї проблеми, що визначає значущість дослідження.

**Мета та завдання дослідження.** Метою роботи є розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо рекультивації порушених гірничими роботами територій на прикладі ільменітових кар'єрів з використанням мультидисциплінарного підходу для забезпечення їхнього екологічно стабільного відновлення та продуктивного використання.

Для досягнення мети було поставлено наступні задачі:

- проаналізувати вплив гірничих робіт на екосистеми та родючість ґрунтів;
- визначити ефективні інженерно-технічні та біологічні заходи для рекультивації земель;
- оцінити можливість застосування сучасних технологій, зокрема агротехнологій та ландшафтного картування, у процесі рекультивації;
- розробити рекомендації щодо оптимізації використання рекультивованих територій відповідно до їх екологічних і соціально-економічних характеристик.

**Наукова новизна** полягає у застосуванні мультидисциплінарного підходу до рекультивації ільменітових кар'єрів, який передбачає інтеграцію інженерно-технічних, біологічних і ландшафтно-екологічних рішень. Уперше запропоновано поєднання методів використання біочару для відновлення родючості ґрунтів і сучасних технологій агромоніторингу, що дозволяє значно скоротити терміни рекультивації та підвищити ефективність відновлення екосистем. Визначено специфічні особливості рекультивації ільменітових кар'єрів, які впливають на якість водних і ґрунтових ресурсів.

**Матеріал і результати досліджень.** Методологічною основою дослідження є системний підхід, що передбачає комплексний аналіз екологічних, технічних і соціально-економічних аспектів рекультивації земель, порушених гірничими роботами. У роботі застосовано такі методи:

- аналіз літературних джерел і нормативних документів – для вивчення теоретичних основ і практичного досвіду рекультивації територій, порушених гірничими роботами;
- польові дослідження – для збору даних про стан ґрунтів, рівень забруднення та ландшафтні зміни на території ільменітових кар'єрів;
- експериментальне моделювання – для оцінки ефективності застосування біочару та інших добрив у процесі біологічної рекультивації;
- економічна оцінка – для розрахунку вартості запропонованих заходів і обґрунтування їхньої доцільності з точки зору сталого розвитку.

Встановлено, що основними екологічними наслідками гірничих робіт є деградація ґрунтів, зниження рівня ґрунтових вод і забруднення водних ресурсів важкими металами. Аналіз даних показав високий рівень вмісту заліза та токсичних елементів у воді, що унеможливорює її використання для господарських потреб [2, 3].

Доведено, що використання біочару в поєднанні з посівом люпину як азотонакопичувача значно покращує фізико-хімічні властивості ґрунту. Експериментально підтверджено скорочення термінів відновлення родючості ґрунтів до 2–3 років порівняно з традиційними методами [4].

Обґрунтовано доцільність застосування агродронів для автоматизованого внесення добрив і висіву насіння, що дозволяє значно скоротити витрати на рекультиваційні роботи та підвищити їхню ефективність.

Розроблено науково обґрунтовані рекомендації щодо адаптивного використання відновлених територій залежно від регіональних умов: створення лісонасаджень у зоні деградованих ґрунтів і використання земель для сільськогосподарських цілей у разі успішного відновлення родючості.

Запропонований підхід забезпечує зниження витрат на рекультивацію на 20–25% порівняно з традиційними методами завдяки використанню сучасних технологій та ефективних добрив.

**Висновки.** Дослідження підтвердило актуальність і необхідність розробки та впровадження ефективних методів рекультивації земель, порушених гірничими роботами, зокрема на прикладі ільменітових кар'єрів. Аналіз екологічного стану таких територій показав, що інтенсивна гірничодобувна діяльність призводить до масштабної деградації ґрунтів, забруднення водних ресурсів і змін природних ландшафтів, що вимагає комплексного підходу до відновлення.

Розроблений мультидисциплінарний підхід до рекультивації, що поєднує інженерно-технічні, біологічні та ландшафтно-екологічні заходи, довів свою ефективність у відновленні родючості ґрунтів та екосистем. Використання біочару, азотонакопичуючих рослин та сучасних технологій, таких як агродрони, дозволяє скоротити терміни відновлення та знизити витрати на рекультиваційні роботи, забезпечуючи можливість продуктивного використання територій.

Запропоновані рекомендації спрямовані на адаптивне використання рекультивованих земель залежно від їх екологічного стану та регіональних умов. Створення лісових насаджень, сільськогосподарське використання або облаштування рекреаційних зон сприятиме збереженню екологічного балансу та підвищенню економічної ефективності відновлених територій.

Отримані результати мають практичне значення для удосконалення існуючих технологій рекультивації в Україні та розробки сталих підходів до використання природних ресурсів у гірничодобувній галузі. Подальші наукові дослідження у цьому напрямі сприятимуть формуванню національної стратегії екологічно безпечного управління порушеними землями, що є важливим чинником сталого розвитку країни.

#### **Список використаних джерел:**

1. Іванов, Є.А., Біланюк, В.І. Проблеми рекультивації і ревіталізації земель, порушених гірничими роботами. Матеріали четвертої міжнародної науково-практичної конференції "Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування", Трускавець, Україна, 6–10 листопада 2017 р., с. 262–270.
2. Заліван Д.І. Розробка проектних рішень по гірничо-технічній рекультивації відпрацьованих кар'єрів за умов ТОВ «Валки-Ільменіт»: Пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра. Державний університет «Житомирська політехніка», Житомир, 2024.
3. Надра, землі і проблеми рекультивації [Електронний ресурс] // Головне управління Держгеокадастру у Житомирській області. – Режим доступу: <https://zhytomyrska.land.gov.ua/nadra-zemli-i-problemi-rekultivaci%D1%97/>.
4. Ремезова О.О. Екологічні проблеми освоєння корінних титанових родовищ Коростенського Плутону (Північний Захід Українського кристалічного щита), Вісник КДПУ. Екологічна безпека. Вип. 2 (37). Частина 2. 2006 р., с. 119-123.

**Бабяк В.В.,** аспірант,  
науковий керівник: к.т.н., доцент **Шлапак В.О.,**  
Державний університет «Житомирська Політехніка»

## **ЕКОЛОГІЧНІ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ВИДОБУТКУ ОБЛИЦЮВАЛЬНОГО КАМЕНЮ В ЖИТОМИРСЬКІЙ ОБЛАСТІ**

**Анотація:** досліджуються екологічні та техніко-економічні аспекти утилізації відходів видобутку облицювального каменю в Житомирській області. Розглядаються сучасні технологічні процеси відвалоутворення і використання нерудних корисних копалин. Запропоновано новий підхід до раціонального використання ресурсів через цілеспрямоване складування попутних відходів та некондиційної сировини, що може бути використана для виробництва бруківки та щебеневої продукції. Здійснено аналіз недоліків валового відвалоутворення та запропоновано спосіб зонального розподілу площ для подальшої утилізації відходів. Автори наголошують на необхідності наукового обґрунтування нових технологій для підвищення техніко-економічних показників каменевидобувних підприємств.

**Ключові слова:** утилізація відходів, облицювальний камінь, видобуток, відвалоутворення, цілеспрямоване складування, некондиційна сировина, раціональне використання ресурсів, Житомирська область, екологічні аспекти, техніко-економічні показники.

**Вступ.** У Житомирській області здійснюється відкритий видобуток природного облицювального каменю, що використовується як сировина для будівельних і ритуальних виробів. Розподіл запасів будівельного та декоративного каменю по території області є нерівномірним. У регіоні функціонують дев'ять основних центрів видобутку та переробки каменю, розташованих у Хорошівському, Житомирському, Коростенському районах. На більше ста родовищах області розробляють поклади корисних копалин у вигляді ізометричних або плитоподібних шарів з поступовим заглибленням гірничих робіт. Глибина кар'єрів сягає десятків метрів. Відходи видобутку, включаючи розкривні породи та некондиційну сировину, утворюють зовнішні відвали, які розташовані на відстані десятків або сотень метрів від кар'єру. Порушені такими відвалами родючі землі займають удвічі більші площі, ніж самі кар'єрні поля, і виводяться із сільськогосподарського використання. За масштабами порушення земель, викликаного відкритими розробками, кар'єри займають друге місце в Україні після залізородних розробок. Окрім економічних збитків, процес видобутку негативно впливає на екологічний стан навколишнього середовища [1].

**Мета та завдання дослідження.** Дослідження спрямоване на аналіз технологічних процесів відвалоутворення та комплексного використання сировини при видобутку облицювального каменю, а також розробку рекомендацій для підвищення ефективності використання ресурсів і мінімізації впливу на довкілля. Запропоновано технологію роздільного складування супутніх корисних копалин і виробничих відходів у межах земельного відводу. Виявлено недоліки валового способу відвалоутворення з точки зору раціонального використання ресурсів і перспективи утилізації некондиційної сировини для виробництва бруківки та було-щебеневої продукції, що дозволить підвищити техніко-економічні показники каменевидобувних підприємств.

**Матеріал і результати досліджень.** На сьогоднішній день неконтрольована експлуатація природних ресурсів у регіоні, за низького рівня впровадження маловідходних і безвідходних технологій, супроводжується значним утворенням відходів на всіх етапах видобутку та виробництва. У більшості випадків обсяг відходів перевищує кількість кінцевої продукції. Зі всієї видобутої гірничої маси лише близько 25% використовується у вигляді готової продукції, а решта стає відходами, які складають у відвали.

Процес розміщення розкривних порід і некондиційної сировини у спеціально відведених місцях називається відвалоутворенням, а насип таких матеріалів на поверхні гірничого відводу — відвалом. Відвали класифікуються за різними характеристиками, такими як розташування, спосіб механізації, рельєф місцевості тощо.

При відкритих розробках всі відвали прийнято розглядати за наступною класифікацією Н.В. Мельникова [2]:

- за розташуванням щодо кар'єру
  - зовнішній (за контуром кар'єру)
  - внутрішній (у відпрацьованій частині кар'єру)
- за числом робочих горизонтів відвалу
  - одноярусний
  - багатоярусний
- за способом механізації відвальних робіт
  - плужний
  - екскаваторний
  - бульдозерний
  - конвеєрний
  - автомобільний (розвантаження на укіс)
- за числом горизонтів в кар'єрі, що обслуговуються
  - загальний (груповий)
  - окремий
- за рельєфом місцевості, який використовується під відвал
  - рівнинний
  - нагорний
  - нагірно-долинний
- за деформаційним станом відвалу
  - стійкий
  - рухливий
  - нестійкий
- за способом транспортування породи на відвал
  - залізничний
  - автомобільний
  - конвеєрний

Ця класифікація дозволяє обирати оптимальні способи відвалоутворення залежно від умов родовища, типу транспортування та інших чинників.

Кар'єри з видобутку природного облицювального каменю використовують різні способи відвалоутворення, які визначаються умовами залягання покладів, рельєфом місцевості, характеристиками породи, типом транспорту та іншими факторами. Відвали повинні мати достатню міцність, розташовуватися на мінімальній відстані від місць навантаження, не займати площі, відведені під видобуток, не заважати подальшим гірничим роботам та формуватися з урахуванням вимог безпеки, захисту навколишнього середовища й можливості вторинного використання.

Дослідження свідчать, що майже всі магматичні нерудні корисні копалини розробляються з формуванням зовнішніх відвалів і сховищ для розкривних порід та відходів. На їх облаштування та транспортну інфраструктуру виділяється 22–50% земель підприємств. В основному такі території після рекультивациі використовуються для створення лісонасаджень [3].

Нинішні технології видобутку блочного облицювального каменю орієнтовані переважно на вибіркове використання блоків певних розмірів, що спричиняє нерозумне витрачання ресурсів. Значна кількість некондиційної сировини накопичується у відвалах через економічну недоцільність або технічну неможливість її переробки в період розробки родовищ. Сучасні технології не завжди забезпечують рентабельність використання сировини з параметрами нижче певного рівня, що призводить до значних обсягів промислових відходів.

Аналіз статистики показує тенденцію до зростання та накопичення гірничо-промислових відходів у різних регіонах України. Однак існуючі підходи до визначення техногенних родовищ не враховують перспективи майбутнього використання цих відходів, які залежать від змін у попиті на мінеральну сировину, вдосконалення технологій переробки та перегляду технічних стандартів.

Найбільш поширений способом відвалоутворення при розробці блочного каменю є валовий спосіб, але розглядаючи цей спосіб з точки зору використання і переробки відходів каменевидобування валове відвалоутворення є не раціональним, оскільки хаотичне розміщення блоків унеможливує ефективну відробку відвалів і тим самим ускладнює роботу обладнання для подальшої їх переробки. З точки зору комплексного використання блочної сировини кар'єрів найкращим, не зважаючи на те, що собівартість цього способу більша, є цілеспрямоване складування. Це дозволить у майбутньому використовувати некондиційні блоки з техногенного родовища як вторинну сировину.

Таким чином, впровадження цілеспрямованого складування сприятиме повнішому використанню надр, зменшенню екологічного впливу та вирішенню проблеми вторинного використання сировини родовищ облицювального каменю. Наразі технології роздільного складування попутних корисних копалин та відходів у межах земельного відводу ще не розроблені й потребують наукового обґрунтування.

**Висновки.** З огляду на наведені дані, рекомендовано впровадження технології зонального розподілу площ відвалів, що дозволяє забезпечити подальше використання некондиційної сировини для виробництва бруківки та щебеневої продукції. Виробництво такої продукції сприяє більш раціональному використанню надр, розширює асортимент каменевидобувних підприємств і позитивно впливає на їх техніко-економічні показники.

Однак запропоновані технології комплексного використання сировини та відходів наразі не мають широкого впровадження. Основними перешкодами є недосконала організація виробництва та економічна недоцільність у більшості випадків. Для вирішення проблеми відходів важливо впроваджувати сучасні світові технологічні й технічні рішення, які забезпечують підвищення економічної ефективності процесів утилізації й використання відходів.

#### **Список використаних джерел:**

1. Давидова І.В. Проблеми використання відходів видобутку та переробки мінеральної сировини / І.В. Давидова, М.Т. Бакка, М.Б. Мянська // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції “Перший Всеукраїнський з’їзд екологів” – Вінниця, 2006. – С. 23.

2. Коробійчук В.В., Оцінка якості блочної сировини та облицювальної продукції з природного каменю. Ч. 1: навч. Посібник / В.В. Коробійчук, А.О. Криворучко, Н.С. Ремез, та ін.. – Житомир: ЖДТУ, 2012. -188 с.
3. Симоненко В.І. Технологічні основи розробки нерудних родовищ з внутрішньокар'єрним складуванням відходів гірничого виробництва: Автореферат дис. докт. техн. наук / В.І. Симоненко - Дніпропетровськ, 2004. - 31с.

**Савченко А.С.**, бакалавр,  
**Хімінчук О.М.**, бакалавр,  
**Кисель А.В.** бакалавр,  
науковий керівник: к.т.н., доцент **Вапнічна В.В.**  
кафедра геоінженерії  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **СТАЛЕВА ФІБРИ ЯК АРМУЮЧИЙ ЕЛЕМЕНТ БЕТОННОЇ СУМІШІ**

**Анотація.** Використання сталеві фібри для армування бетонних сумішей відкриває нові можливості для підвищення експлуатаційних характеристик бетону, однак ефективність цього підходу потребує детального аналізу. Перш за все, важливим аспектом є вплив фібри на міцність, тріщиностійкість, а також на довговічність матеріалу під впливом різних зовнішніх факторів.

**Ключові слова:** наповнювачі в бетонні суміші; армування бетонів; сталева фібра; несуча здатність; деформативність.

**Вступ.** Фібробетон – це новий вид бетону, який має широкі перспективи в майбутньому. Дисперсне армування фіброю дає можливість не тільки компенсувати недоліки бетону (низьку міцність при розтягненні і крихкість), але й наділити його новими властивостями, а що ще важливіше – зробити процес виробництва армованих конструкцій автоматизованим (3D друк будівель) [1].

**Мета та завдання дослідження.** Мета дослідження полягає в аналізі ефективності використання сталеві фібри як армуючого елемента в бетонних сумішах, зокрема вивчення її впливу на міцність, тріщиностійкість та довговічність матеріалу під впливом різних зовнішніх факторів, а також оптимізації вмісту та розподілу металевих наповнювачів для покращення характеристик будівельних матеріалів.

**Матеріал і результати досліджень.** На ринку України та за кордоном використовують різні типи сталеві фібри, яка залежно від характеристик і властивостей може мати різні форми та види. Основні типи сталеві фібри включають макрофібру, що підвищує міцність і тріщиностійкість бетону у великих об'єктах, мікрофібру для контролю тріщиноутворення і зносостійкості, а також гачкову, стрічкову та дрогоподібну фібру, які підсилюють стійкість до розтягування і зносу, покращують механічні властивості бетону. Використання сталеві фібри у бетонних сумішах має численні переваги: зниження витрат, раціональне використання природних ресурсів, покращення фізико-механічних властивостей, тріщиностійкість, стійкість до зношування і корозії, а також специфічні функції, як-от захист від електромагнітних перешкод.

Дослідження М. Г. Сур'янінова показали, що несуча здатність сталеві фібробетону під час стиску майже не змінюється залежно від форми волокон, але впливає на тип руйнування: зразок не розпадається миттєво, а зберігає цілісність завдяки волокнам, які утримують бетон від остаточного руйнування. Наприклад, зразки сталеві фібробетону витримують навантаження на 11 % більше, ніж звичайний бетон, демонструючи кращі деформаційні характеристики. Зокрема, відносна поздовжня деформація сталеві фібробетону перевищує показники звичайного бетону в середньому на 36 % [2]. Дослідження фібри Vater вказали на її ефективність для дрібнозернистих бетонів, що пояснюється збільшеною поверхнею зчеплення завдяки хвилястій формі та анкерам на кінцях. Експерименти з



різними типами фібри (хвиляста, анкерна із загнутими чи сплющеними кінцями, прямолінійна) підтвердили, що хвиляста фібра Vater забезпечує найвищі значення міцності на стиск і згин, що на 40-50 % перевищує показники звичайного бетону [3].

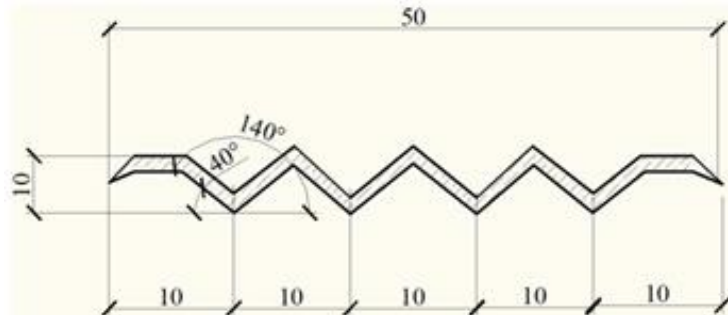


Рисунок 1- Креслення фібри Vater

Дослідження напружено-деформованого стану фібробетонних елементів охоплювали шість видів бетону: бетон без фібри (б/ф), бетон з фіброю Vater (Ф1), анкерною із загнутими кінцями (Ф2), анкерною зі сплющеними кінцями (Ф3), анкерною із загнутими кінцями (Ф4) та прямолінійною фіброю з анкерами у вигляді конусів (Ф5). Результати експериментів показали, що найвищі показники міцності, особливо при стиску та згині, спостерігаються при використанні хвилястої фібри Vater (Ф1). Для дрібнозернистого бетону абсолютні значення міцності при розтягуванні на згин перевищують показники звичайного важкого бетону на 40-50 %. Це зумовлено збільшеною поверхнею зчеплення хвилястої фібри Vater з розчиною частиною дрібнозернистого бетону порівняно з іншими видами анкерної фібри (Ф2-Ф5) (рис. 2-3).

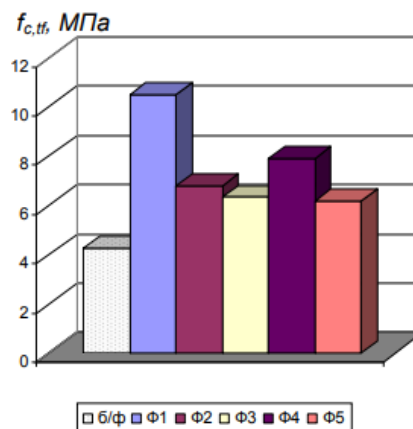


Рисунок 2 - Вплив виду фібри на значення міцності на розтяг при згині дрібнозернистого сталевібробетону у віці 28 діб (об'ємний вміст фібри 0,5)

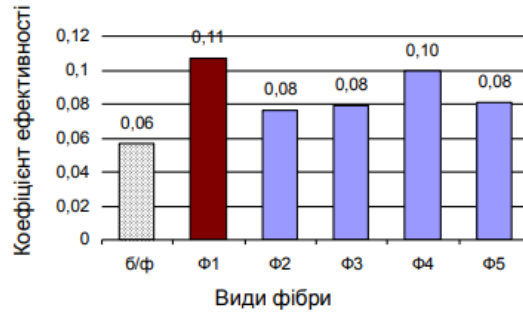


Рисунок 3 - Значення коефіцієнта ефективності дисперсного армування ( $f_{c,tf.} / f_{cm}$ ) при використанні різних видів фібр для дрібнозернистого бетону

Павловим А.П., було виявлено, що міцність фібробетону (позначеної як R) на основі ПЦ500 варіюється в залежності від довжини застосовуваної сталеві фібри (позначеної як L). Отримані результати демонструють тенденцію, що зі збільшенням довжини сталеві фібри збільшується міцність фібробетону, що представлено графічно на (рис. 4) [3].

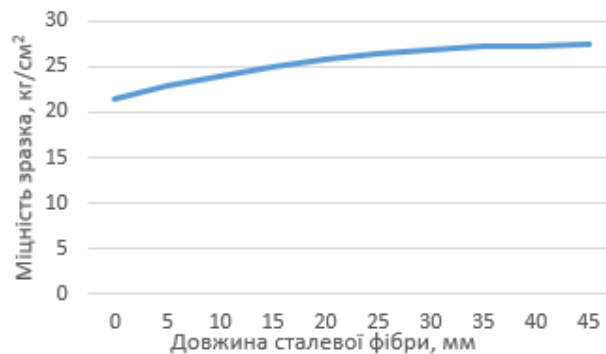


Рисунок 4 - Вплив довжини сталеві фібри на міцність зразка

**Висновок.** Встановлено, що наявність сталеві фібри у складі бетону покращує його несучу здатність, деформаційні властивості та змінює механізм руйнування, забезпечуючи підвищення міцності на 11–36 % залежно від виду фібри. Найкращі результати досягнуті при використанні хвилястої сталеві фібри для важких і дрібнозернистих бетонів, що дозволяє отримати міцність при стиску до 100 МПа. Подальші дослідження мають зосереджуватись на оптимізації вмісту та розподілу металевих наповнювачів для покращення характеристик будівельних матеріалів.

#### Список використаних джерел:

1. Гуслиста Г., Колохов В., Ярошенко Д. Пошук оптимальних параметрів сталеві фібробетонних плити на пружній основі. Дніпропетровськ, 2017. С. 76. URL: <http://srd.pdaba.edu.ua:8080/bitstream/123456789/3066/1/Guslysta.pdf> (дата звернення: 19.11.2024).

2. Сур'янінов, М. Г., Неутов, С. П., Корнеєва, І. Б., & Величко, Д. В. (2020). Несуча здатність сталевібробетону з фіброю різного типу. Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, (2(49), 18
3. Павлов, О.П. Залежність міцності розчину від витрати цементу [Текст] / О.П. Павлов, Л.М. Фомиця // Журнал «Будівельні матеріали і конструкції», - К., «Будівельник», № 1. – 1971. – С. 35-37.

Малюк М.В., бакалавр,  
Афанасьєвський І.І., бакалавр,  
науковий керівник: старший викладач Сергієнко М.І.,  
кафедра геоінженерії  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПЕРСПЕКТИВИ ТА ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЬНИХ САМОСКІДІВ НА КАР'ЄРАХ УКРАЇНИ

**Анотація.** *Стаття досліджує ефективність роботи кар'єрного транспорту в Україні з фокусом на впровадження електротранспорту. Проаналізовано історичний розвиток електричного транспорту в гірничій галузі, його переваги, економію на паливі та автоматизацію процесів. Особлива увага приділяється викликам, пов'язаним з використанням електротранспорту в умовах війни, зокрема проблемам енергопостачання. Робота висвітлює потенціал електрифікації для підвищення економічної та екологічної стійкості гірничої промисловості, а також впровадження інноваційних безпілотних кар'єрних самоскидів як перспективного напрямку розвитку.*

**Ключові слова:** *електротранспорт, кар'єрний транспорт, енергоефективність, автоматизація, гірничо-промисловість, автономні самоскиди, економічна стійкість, екологічні переваги.*

**Вступ.** Одним із головних технологічних процесів які впливають на основні показники роботи кар'єрів України - продуктивність, собівартість, техніку безпеки та вплив на довкілля є ефективність роботи кар'єрного транспорту [1]. Основним видом сучасного технологічного транспорту на кар'єрах України є автомобільний транспорт, в основному зарубіжного виробництва. Ці потужні автомобілі-самоскиди виготовляють всесвітньовідомі автомобільні фірми: Caterpillar, Komatsu, Liebherr, Terex, Volvo. Вантажопідйомність сучасних, автоматизованих самоскидів складає від десятків до декількох сотень тон. В сучасних кар'єрних автосамоскидах застосовуються самі різноманітні двигуни за джерелом енергії, і самим енергоефективним є електротранспорт.

**Мета та завдання дослідження.** Визначити перспективи та проблеми впровадження електромобільних самоскидів на кар'єрах України, оцінити їхню енергоефективність, економічну та екологічну стійкість, а також розглянути виклики використання даних технологій в умовах війни, зокрема проблеми енергопостачання. Дослідити потенціал автоматизації та впровадження автономних безпілотних самоскидів для покращення техніко-економічних показників видобувних підприємств.

**Матеріал та результати дослідження.** Електротранспорт — це вид транспорту, що використовує електроенергію як основне джерело енергії для свого функціонування. До електротранспорту належать транспортні засоби, оснащені електродвигунами, які живляться від акумуляторних батарей, контактної мережі, паливних елементів або інших джерел електроенергії. В електротранспорті, як правило, двигуни використовують також для гальмування (генераторне гальмування). У сучасних транспортних засобах вироблена при гальмуванні енергія зберігається або використовується, тобто забезпечується рекуперація енергії та зростає ККД [2].

Основні нюанси теми:

**1. Історичні відомості.** Електричний транспорт у гірничій галузі має багаторічну історію, яка почалася на початку ХХ століття з використання електровозів у підземних

шахтах. Їх впровадження було обумовлене потребою підвищення продуктивності транспортування вантажів і зменшення використання парових двигунів та живих тяглових сил, що допомогло значно зменшити рівень вуглецевого газу в шахтах і підвищити енергоефективність. У другій половині ХХ століття електрифікація поширилася на відкриті кар'єри, де почали застосовуватися електричні екскаватори та тролейні самоскиди, які отримували живлення через контактні мережі. У 1970-х роках гірничий транспорт доповнився гібридними моделями, що поєднували дизельні й електричні приводи, забезпечуючи вищу енергоефективність. Сучасний етап розвитку включає впровадження автономних електросамоскидів із літій-іонними акумуляторами та системами рекуперації енергії. Ці технології спрямовані на мінімізацію викидів, підвищення енергоефективності та вдосконалення роботи гірничих підприємств. Еволюція електричного транспорту в гірничій галузі демонструє його важливу роль у забезпеченні стійкого розвитку промисловості.

**2. Переваги електротранспорту.** Електричні двигуни мають дуже мало рухомих частин, не потребують складних трансмісій, коробок передач і елементів приводу, властивих двигунам внутрішнього згорання. Електромобілі, у порівнянні із традиційними автомобілями мають більш простіше технічне обслуговування, оскільки їм не потрібні ні складні системи запалювання робочих нафтових палив, багатоступінчасті коробки передач, ні перетворювачі крутного моменту. Більше того, на цих авто для зміни швидкості руху, використовується частотне управління в мережі електроживлення електродвигуна.

**3. Економія на паливі.** Електричний гірничий транспорт є перспективним напрямом для економії ресурсів у гірничій галузі України. Використання електротехніки дозволяє суттєво знизити витрати на паливо, що в умовах війни є плюсом для держави. Електродвигуни мають вищий коефіцієнт корисної дії порівняно з дизельними, що забезпечує ефективніше використання енергії. Зниження витрат на обслуговування завдяки простій конструкції електродвигунів також сприяє економії. Окрім цього, електротранспорт зменшує залежність від імпортованих нафтопродуктів і скорочує викиди парникових газів, що може призвести до отримання екологічних субсидій. Таким чином, електрифікація транспорту сприятиме підвищенню економічної та екологічної стійкості галузі.

**4. Автоматизація процесу.** Подальшим перспективним напрямком є також автономні кар'єрні самоскиди - безпілотники. На виставці великих виробників транспортної спецтехніки Minexpo, що проходила у вересні 2023 року в Лас-Вегасі, одночасно кілька великих компаній презентували інноваційні безпілотні кар'єрні самоскиди, в яких навіть не передбачено робоче місце для водія. Автономні кар'єрні самоскиди оснащені сучасним GPS-обладнанням і лазерними радарми типу "Lidar". Впровадження самоскидів безпілотників на виробництві дозволить підвищити техніко-економічні показники видобувних підприємств на 15-30%.

**5. Проблеми експлуатації.** Використання електричного гірничого транспорту в умовах війни в Україні стикається з численними викликами. Як зазначено в урядовому звіті, понад 50% енергетичної інфраструктури України пошкоджено внаслідок російських атак. Це ускладнює стабільне енергопостачання, необхідне для роботи електротранспорту. Крім того, втрати виробничих потужностей сягають 50%, що знижує загальний рівень генерації електроенергії. Згідно з оцінкою ООН, для повного відновлення енергосистеми потрібні інвестиції в масштабі понад 2 мільярди доларів США [3].

**Висновки.** На даний час електромобілі - є гарним технічним, екологічним і економічним рішенням проблем з транспортом та навколишнім середовищем, але все одно не ідеальним. Розробникам є над чим працювати та розвивати технологію електромобільного транспорту, яка буде технічно і економічно вигідною, та екологічно чистою і доступною для застосування.

**Список використаних джерел:**

1. Ширін Л.Н. Транспортні комплекси кар'єрів: навч. посіб. / Л.Н. Ширін, О.С. Пригунов, О.В. Денищенко // . – Д. : НГУ, 2015. – 241 с.
2. Електротранспорт - Вікіпедія URL:<https://uk.wikipedia.org/> (дата звернення: 22.10.2024).
3. 2023-й – рік енергетичних викликів та перемог: підсумки року від Міненерго URL:<https://www.kmu.gov.ua/news/2023-i-rik-enerhetychnykh-vyklykiv-ta-peremoh-pidsumky-roku-vid-minenerho> (дата звернення: 31.12.2023).

Савченко А.С., бакалавр,  
Хімінчук О.М., бакалавр,  
науковий керівник: к.т.н., ст.викл. Ган О.В.,  
кафедра геоінженерії  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## НЕОБХІДНІ ПАРАМЕТРИ УКРИТТЯ ДЛЯ УЧБОВОГО КОРПУСУ НН ІЕЕ

**Анотація.** У сучасних умовах підвищеної небезпеки, питання створення надійних укриттів у навчальних закладах стає особливо актуальним, адже підготовка майбутніх спеціалістів є незамінним державним фундаментом для існування держави. Наразі, коли зростає ризик повітряних і ракетних ударів, важливо забезпечити надійний захист студентів і викладачів від можливих небезпек, а також гарантувати можливість швидкого розміщення великої кількості людей у безпечному середовищі. Робота спрямована на визначення оптимальних розмірів укриття, враховуючи кількість осіб, тип будівлі, а також фізичні та санітарні вимоги до таких приміщень. Окремо розглядаються питання ефективної вентиляції, освітлення та забезпечення мінімальних зручностей для перебування в укриттях протягом необхідного часу. Цей підхід дозволяє не тільки створити безпечне середовище для людей під час війни, але й допомагає покращити систему цивільного захисту в загальному, що є необхідним елементом в умовах сучасних загроз.

**Ключові слова:** безпека, захисні споруди, укриття, планування, проектування, вентиляційні системи, інфраструктурна інтеграція, урбанізм, підземний простір.

**Вступ.** Захисні споруди цивільного захисту (цивільної оборони) — інженерні споруди, призначені для укриття і тимчасового захисту людей, техніки та майна від небезпеки, що може виникнути або виникла внаслідок надзвичайних ситуацій у мирний час, а також від дії засобів ураження в особливий період [1, 2]. Захисні споруди в залежності від мети створення та своїх властивостей поділяють на: протирадіаційна (ПРУ), прості укриття та сховища.

**Матеріал і результати досліджень.** Найпростіше укриття - це цокольне або підвальне приміщення, інша споруда підземного простору, в якій створені умови для тимчасового перебування людей (не менше 48 годин) у разі виникнення небезпеки їх життя та здоров'ю з метою зменшення непрямої дії звичайних засобів ураження під час воєнних (бойових) дій та/або терористичних актів [1, 3].

Глибина розташування укриття залежить від його призначення: для тимчасового використання в умовах надзвичайних ситуацій рекомендується будувати на глибині 3–5 метрів, а для постійного проживання — понад 5 метрів. Приміщення мають відповідати нормативним розмірам: мінімальна висота становить 2.5 метра, а для використання дворівневих ліжок — не менше 2.9 метра. Ширина дверей до технічних приміщень, таких як вентиляційна або щитова, повинна бути не менше 0.7 метра. Основною технічною умовою являється людський простір- площа на одну особу не повинна бути меншою ніж  $1.5 \text{ м}^3$ , при розташування двох'ярусних ліжок приймається  $0.5 \text{ м}^2$  [1].

Для забезпечення життєдіяльності всередині укриття передбачаються системи вентиляції, очищення повітря, автономного енергопостачання, водопостачання та каналізації. Система повітропостачання (вентиляції) у сховищах забезпечує оптимальні умови для людей, підтримуючи необхідну температуру, вологість і склад повітря. Вона не тільки подає свіже повітря, але й захищає від потрапляння радіоактивного пилу, хімічно-

небезпечних речовин, бактеріальних агентів та продуктів горіння. Система складається з повітрязабірників, протипилових фільтрів, фільтрів-поглиначів, вентиляторів, повітропроводів та регенераційного обладнання для сховищ з повною ізоляцією. Вентиляція може здійснюватися в трьох режимах: чиста вентиляція, фільтровентиляція та регенерація повітря. У першому режимі подається повітря з вулиці, очищене від пилу, з нормою 8-13 м<sup>3</sup>/год на людину[1]. В режимі фільтровентиляції повітря очищається від радіоактивного пилу, НХР і біологічних засобів, а в режимі регенерації повітря забезпечується замкнутим циклом із подачею кисню з балонів та очищенням від вуглекислого газу. Очищення повітря здійснюється через фільтри різних типів. Протипилові фільтри, зокрема масляні сітчасті, очищають повітря від пилу, в тому числі радіоактивного. Фільтри-поглиначі очищають повітря від хімічно-небезпечних і бактеріальних речовин. Вентилятори подають повітря до сховища, забезпечуючи постійну циркуляцію.

Одним з важливих етапів будівництва укриттів є визначення необхідної площі на певну кількість людей, та визначення коефіцієнту місткості [1]. В даному випадку це розраховується на студентів науково-навчального інституту та його працівників які в сумі складають 620 персон.

$$S_{\text{заг}} = \frac{N * V_{\text{л}}}{h} + S_{\text{доп}} = \frac{620 * 1.5}{2.65} + 42 = 392,94 \text{ м}^2 \quad (1)$$

де  $S_{\text{заг}}$  – загальна площа всіх приміщень в зоні герметизації( крім приміщень, для дизельної електростанції, тамбурів і розширювальних камер);  $N$ -кількість осіб;  $V_{\text{л}}$ - мінімальний внутрішній об'єм приміщення на 1 людину.  $S_{\text{доп}}$ -загальна площа допоміжних приміщень;  $h$ - висота приміщень.

$$S_{\text{осн}} = S_{\text{заг}} - S_{\text{доп}} = 392.94 - 42 = 350.94 \text{ м}^2 \quad (2)$$

$$S_{\text{люд}} = 620 * 1.5 = 930 \text{ м}^2 \quad (3)$$

$S_{\text{осн}}$ - Загальна площа основних приміщень.

$S_{\text{люд}}$ - площа приміщення для укриття людей.

$$M_{\text{v}} = \frac{S_{\text{заг}} * h}{V_{\text{л}}} = \frac{392.94 * 2.65}{1.5} = 694.194 \quad (4)$$

$M_{\text{v}}$ - місткість сховища за об'ємом всіх приміщень в зоні герметизації.

Приймається значення в 694 людини.

$$M_{\text{s}} = \frac{S_{\text{люд}}}{S_{\text{п}}} = \frac{930}{0.5} = 1860 \text{ люд.} \quad (5)$$

$M_{\text{s}}$ - місткість сховища за площею при двох'ярусному розміщенні ліжок.

$$k_{\text{m}} = \frac{M_{\text{ф}}}{N} = \frac{1860}{620} = 3 \quad (6)$$

$M_{\text{ф}}$ -фактична місткість (за неї приймається менше значення з величин);  $k_{\text{m}}$ - коефіцієнт місткості захисних споруд.



**Висновок.** За результатами розрахунків було визначено, що для забезпечення найбільшої місткості захисної споруди, необхідна площа під забудову складає 930 м<sup>2</sup>. Це дозволяє досягти коефіцієнта місткості, що перевищує одиницю, і забезпечує укриття максимальної кількості осіб, які одночасно перебувають у навчальному корпусі.

Захисні споруди цивільного захисту є важливою частиною інфраструктури, що гарантує тимчасове укриття та захист людей від надзвичайних ситуацій, терористичних актів та бойових дій. Вони повинні відповідати чітко визначеним технічним вимогам, зокрема щодо розмірів приміщень, умов для життєдіяльності та вентиляційних систем. Вентиляція у таких спорудах відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки, оскільки вона не лише забезпечує постачання свіжого повітря, а й очищає його від небезпечних часток і токсичних речовин, підтримуючи необхідні умови для комфортного і безпечного перебування людей у надзвичайних умовах.

#### **Список використаних джерел:**

1. ДБН В.2.2-5:2023 "Захисні споруди цивільного захисту "
2. Використання захисних споруд цивільного захисту (цивільної оборони) для господарських, культурних та побутових потреб : Порядок від 09.03.2009 № № 253. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/204306186> (дата звернення: 17.11.2024).
3. Кодекс цивільного захисту України : URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text> (дата звернення: 18.11.2024).