

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКА ОБЛАСНА ВІЙСЬКОВА АДМІНІСТРАЦІЯ  
Державний біотехнологічний університет  
Національний технічний університет «ХПІ»  
Національний університет «Львівська політехніка»  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації  
сільського господарства»  
University Maryland (USA)  
University of British Columbia (Canada)  
Lublin University of Technology (Poland)  
Israel Electric Corporation (Israel)

# **ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ В АПК**

Матеріали Міжнародної науково-практичної  
конференції

9 листопада 2023 р.

Харків  
2023

Організаційний комітет:

Голова комітету: **Михайлов В.М.**, д.т.н., проф., проректор з наукової роботи ДБТУ;

Заступник голови: **Сорокін М.С.**, к.т.н., доц., декан факультету енергетики, робототехніки та комп'ютерних технологій ДБТУ;

Вчений секретар оргкомітету конференції: **Лисиченко М.Л.**, д.т.н., проф., професор кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки ДБТУ;

Члени оргкомітету: **Адамчук В.В.**, д.т.н., проф., академік НААН України, директор Інституту механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України; **Каплун В.В.**, д.т.н., проф., директор навчально-наукового інституту енергетики, автоматики і енергозбереження НУБіП; **Лазуренко О.П.**, к.т.н., доц., завідувач кафедри електричних станцій Національного технічного університету «ХПІ»; **Щур І.З.**, д.т.н., проф., завідувач кафедри електромеханіки і комп'ютерних електромеханічних систем Національного університету «Львівська політехніка»; **Мірошник О.О.**, д.т.н., проф., завідувач кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту ДБТУ; **Хандола Ю.М.**, к.т.н., доц., завідувач кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки ДБТУ; **Петренко О.В.**, к.т.н., доц., завідувач кафедри інтегрованих електротехнологій та енергетичного машинобудування ДБТУ; **Гриб О.Г.**, д.т.н., проф., професор кафедри автоматизації та кібербезпеки НТУ «ХПІ»; **Мороз О.М.**, д.т.н., проф., професор кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту ДБТУ; **Косуліна Н.Г.**, д.т.н., проф., професор кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки ДБТУ; **Потапов В.О.**, д.т.н., проф., професор кафедри інтегрованих електротехнологій та енергетичного машинобудування ДБТУ; **Vasily Krivtsov**, Ph.D., R.Eng., Professor, University of Maryland (USA); **Juri Jatskevich**, Ph.D., P.Eng., Professor, IEE Fellow Electrical and Computer (Canada); **Pawel Komada**, Ph.D., D.Sc., Associate Professor Lublin University of Technology (Poland); **Vladimir Gurevich**, Honorary Professor, Senior Specialist, Israel Electric Corporation (Israel).

*Конференцію включено до Переліку міжнародних, всеукраїнських науково-практичних конференцій здобувачів вищої освіти і молодих учених у 2023 році згідно з листом ІМЗО МОН України від 19.01.2023 № 21/08-53*

Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК: [Електронний ресурс] : E50 матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 9 листопада 2023 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. – Харків: ФОП Бровін О.В., 2023. – 250 с. – Електронні текстові дані. – Режим доступу : <http://btu.kharkov.ua/nauka/konferentsiyi/>  
ISBN 978-617-8238-28-5

У збірнику подано теоретичні та практичні результати досліджень і розробок учених спільно з молодими науковцями, аспірантами, співробітниками організацій та підприємств. Розраховано для викладачів, студентів, наукових співробітників, фахівців в галузі енергетики, електромеханіки, робототехніки, автоматики, інформаційних технологій, енергетичного машинобудування, біомедичної інженерії

## СЕКЦІЯ 1. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 338

### ПЕРСПЕКТИВИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА УКРАЇНИ

Адамчук В. В., д.т.н, проф., академік НААН, e-mail: [vvadamchuk@gmail.com](mailto:vvadamchuk@gmail.com)

Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва  
Національної академії аграрних наук України

Вітчизняне агропромислове виробництво використовує значні обсяги паливно-енергетичних ресурсів, 60 % яких Україна імпортує, зокрема: 1,3 млн т дизельного пального, майже 100 тис т бензину, 330 млн м<sup>3</sup> природного газу та 3 тис т скрапленого газу. Окрім того, аграрії щорічно використовують понад 3,7 млрд кВт год електроенергії, більше 8 тис м<sup>3</sup> дров та понад 4 тис т паливних брикетів. Вартість щорічних закупок тільки дизельного пального перевищує 61 млрд грн.

Необхідно зазначити, що за роки незалежності нашої держави загальне споживання паливно-енергетичних ресурсів у агропромисловому виробництві мало тенденцію до скорочення. Однак при цьому питома енергоємність вітчизняної продукції залишилась в 2-3 вищою, ніж у провідних країнах світу, а самий дешевий вид енергії, яким є електроенергія, агропромислове виробництво використовує в 6,5 разів менше ніж в цілому в Україні, тобто 2,9 % від загальної її кількості.

Необхідно відмітити, що основну частку в загальному виробництві електроенергії у 2021 році в Україні становили атомні електростанції – більше 55 %, теплові електростанції та теплоелектроцентралі – більше 29 %, гідроелектростанції та гідроакмулювальні електростанції – майже 7 %, відновлювальні джерела енергії – 8 %. В сучасних умовах і в майбутньому це співвідношення стає проблемним. Адже атомна генерація представлена 4-а атомними електростанціями, які складаються з 15 енергоблоків, 12 з яких вже відпрацювали свій нормований 30-річний термін експлуатації. Тому, час їх роботи вже було продовжено. Проте, до 2030 року (включно) дія вже «подовжених» ліцензій на експлуатацію 10 енергоблоків закінчиться. Окрім того, ще один енергоблок відпрацює свій нормативний 30-річний ресурс у 2026 році. До названих проблем додається зношеність розподільчої енергосистеми, що призводить до втрати 19 % електроенергії, а також захват Запорізької АЕС, знищення Каховської ГЕС, зупинено понад 3/4 вітроенергетичних потужностей, а 5 вітрових турбін в Херсонській області знищені.

Сучасні економічні та воєнні реалії зумовлюють необхідність розроблення нових шляхів вирішення проблеми енергозабезпеченості, як однієї з основних складових національної безпеки України.

Кабінет Міністрів України схвалив Енергетичну стратегію України на період до 2050 року (Розпорядження від 21 квітня 2023 р. №373-р), яка передбачає приєднання енергосистеми нашої держави до європейської мережі; впровадження новітніх технологій, зокрема, виробництво та використання водню в енергетичних цілях, малі модульні ядерні реактори, установки акумуляування енергії; виконання міжнародних зобов'язань щодо енергоефективності та використання відновлювальних джерел енергії, а також зменшення викидів парникових газів; децентралізацію генерації електроенергії.

Базуючись на результатах наукових досліджень вчених ІМА АПВ НААН та враховуючи тенденції розвитку енергетики у провідних країнах світу нескладно прийти до висновку, що у перспективі:

1. Широке використання будуть мати електрична, механічна та теплова енергії. При цьому збільшуватиметься частка електричної енергії як у стаціонарних виробничих процесах, так і у мобільних. Виробництво енергії буде здійснюватись з дотриманням вимог щодо декарбонізації.

2. У процесі генерації електричної енергії пріоритет буде надано децентралізації її виробництва, а також збільшенню частки електроенергії, виробленої з використанням

альтернативних джерел енергії: малої гідроенергетики, сонячної, вітрової енергетики та біоенергетики, в тому числі продуктів переробки біомаси - біогазу та біометану. За таких умов агропромислові підприємства та домогосподарства будуть виробляти електричну енергію для власних потреб і на продаж. При цьому, найбільш стійкими до зовнішніх викликів із автономних електростанцій будуть ті, конструктивно-технологічна схема, яких передбачає можливість використання комбінацій з акумуляторних батарей, сонячної, вітрової та біопаливної електростанцій.

3. Для унеможливлення пікових перевантажень в електромережі широкий розвиток отримують акумуляючі, маневрені електростанцій та системи тощо. Генеруючі підприємства будуть задіяні в енергосистемі України, яка буде інтегрована у європейську.

4. Стаціонарні технологічні процеси в агропромисловому виробництві будуть базуватись, як правило, на використанні електричної енергії. Виконання технологічних операцій мобільними агрегатами здійснюватиметься завдяки енергії, отриманій від їх індивідуальних джерел. Поступово буде збільшуватись кількість таких джерел у вигляді акумуляторних батарей, які на малопотужних енергозасобах будуть заряджатись від власних сонячних панелей, або будуть зйомними і заряджатись від електромережі. На мобільних енергозасобах великої потужності залишаться у використанні двигуни внутрішнього згорання, також будуть використовуватись комбінації різних джерел енергії, що забезпечить функціонування гібридних приводів.

5. В двигунах внутрішнього згорання буде зменшуватись обсяг використання дизельного пального та бензину, а збільшуватиметься використання їх сумішей відповідно з біодизелем та біоетанолом, частка яких у сумішах постійно зростатиме. Пріоритетного розвитку отримують технології виробництва передових рідких біопалив з видів сировини, що не може бути використана як харчові продукти або корми.

6. У значній частці двигунів внутрішнього згорання буде використовуватись біометан як у стисненому, так і зрідженому вигляді.

7. Виробництво біогазу модернізуватимуть у напрямі отримання біометану, який вироблятимуть в Україні на промисловій основі як для промислових потреб, так і для побутових цілей, а також на експорт. Цей вид діяльності стане характерним для потужних підприємств з великими обсягами землекористування та розвинутим тваринництвом. Пріоритетного розвитку отримують технології виробництва біометану з видів сировини, що не може бути використана як харчові продукти або корми.

8. Тверде паливо з біомаси в основному буде використовуватись для отримання теплової енергії. Його застосування стане пріоритетним в агропромисловому виробництві і базуватиметься на використанні енергетичних культур та незернової частини урожаю, а також на використанні місцевої сировини в умовах сільських територій.

9. Буде розширюватись використання теплових насосів як в житлових, адміністративних, так і у виробничих приміщеннях.

10. В агропромисловому виробництві пріоритетними будуть енергоощадні технології, які базуватимуться на новітніх технічних засобах з автоматизованими і роботизованими робочими органами, що забезпечать з мінімальними питомими енергозатратами: адресне створення комфортних умов для розвитку рослин та тварин з мінімізацією впливу на їх роботу погодних умов; а також збирання сільськогосподарських культур, первинної переробки сільськогосподарської продукції та її зберігання.

Реалізація наведеної енергетичної стратегії за сучасних тенденцій буде відбуватись поступово, якщо не будуть знайдені неординарні політично-економічні чи новітні технічні рішення. Основним стримуючим фактором реалізації енергетичної стратегії буде відсутність у підприємств необхідних коштів на капітальні вкладення. За нашими розрахунками, щоб забезпечити потрібний обсяг виробництва біометану для заміщення природного газу та виробництва електроенергії необхідно буде побудувати 115 заводів з річною продуктивністю 10 млн м<sup>3</sup> кожен, сумарна вартість яких буде становити 74 млрд грн, а для виробництва необхідних обсягів біодизеля доцільно побудувати 212 заводів з річною продуктивністю більше 6 тис. т кожен, вартість їх будівництва буде сягати майже 1 млрд грн.

НАДІЙНІСТЬ, ЯКІСТЬ, ЕКОНОМІЧНІСТЬ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ – ФАКТОРИ  
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЄЮ ПІД ЧАС ВОЄННОГО СТАНУ

Братчикова О. В., викладач, e-mail: [olga19607755@gmail.com](mailto:olga19607755@gmail.com)

Братчиков О. С., викладач, e-mail: [xahter3@gmail.com](mailto:xahter3@gmail.com)

ВСП «Харківський фаховий коледж харчової промисловості ДБТУ»

Грицай В. А., здобувач освіти, e-mail: [Gritsay\\_v@ukr.net](mailto:Gritsay_v@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Під час повномасштабного вторгнення українська енергетика зустрілася з переліком нових, ще більш загрозливих викликів, а саме ядерний тероризм із захопленням АЕС, численні пошкодження критичної інфраструктури – електричних і газових мереж, критичне зниження попиту на енергетичні продукти у зв'язку з виїздом населення і припиненням бізнесу, ще більш критичне зниження рівня оплат в енергетичній системі, та рішення не дивлячись на бойові дії по всій території країни продовжувати синхронізацію енергетичної системи України з енергосистемою Континентальної Європи, паливна криза та ін. В період, коли наша країна потерпає від ворожих обстрілів, ракетних ударів по енергетичній системі, енергетичні проблеми є одними з найактуальніших і найскладніших проблем для сучасного українського суспільства.

**Мета досліджень.** Потреба в електроенергії з кожним роком збільшується, а в умовах військового стану енергетична галузь стикається не тільки з її виробництвом, розподілом та перерозподілом, але й з іншими різноманітними труднощами та ризиками: захистом, ремонтом підстанцій, резервуванням, відновленням електричних мереж тощо.

Електропостачання визначається двома факторами - якістю електроенергії та її надійністю. Електроенергія, що вироблена завдяки українським системам генерації, проходить довгий шлях від джерела електроенергії – електростанції до кінцевого споживача. І чим далі від джерела споживач, тим більший ризик виникнення проблем з якістю і надійністю електропостачання. Навіть найкращі системи виробництва, розподілу, перерозподілу електроенергії не можуть бути повністю надійними джерелами високоякісного електроживлення.

Якість електроенергії характеризується стабільністю і частотою напруги та частоти, а також відсутністю перешкод і спотворень у мережі. Надійність електроенергії означає здатність системи забезпечувати безперервне і достатнє живлення споживачів відповідно до їхніх вимог. Ці показники залежать від багатьох чинників, таких як стан джерел електроенергії, ліній передачі, підстанцій, розподільчих пристроїв, а також від зовнішніх і внутрішніх впливів.

Зрозуміло, що перерви живлення електропостачання споживачів небажані, а в ряді випадків неприпустимі. І, як наслідок, порушення нормального функціонування установок зв'язку, транспорту, технологічних процесів промислових підприємств, нормальних умов життя і діяльності населення; виникають аварії, псується устаткування, виникає брак продукції та інше, тому необхідно передбачати заходи з підвищення надійності електропостачання, такі як діагностика, контроль і захист, автоматизація, резервування.

**Основні матеріали досліджень.** Для забезпечення надійності електропостачання вживають певних заходів щодо захисту електричних мереж від атак ворога. Атаки можуть бути різного характеру: фізичного (підриви, обстріли, саботажі), кібернетичного (зломи, віруси, хакерські атаки), електромагнітного (імпульси високої напруги або частоти).

Для захисту від таких атак можна використовувати різні способи:

- фізичний захист - посилення конструкцій і матеріалів обладнання та ліній передавання електричної енергії, встановлення бар'єрів та огорожень, застосування засобів відеоспостереження та сигналізації, організація охорони та патрулювання.

- кібернетичний захист - застосування засобів шифрування, автентифікації та контролю доступу до інформаційних систем і мереж, встановлення антивірусних і антишпигунських програм, оновлення програмного забезпечення та операційних систем, створення резервних копій даних і резервних каналів зв'язку.

- електромагнітний захист - застосування засобів фільтрації, стабілізації та регулювання напруги і частоти електричної енергії, встановлення захисних пристроїв від перевантажень, коротких замикань і перенапруг, використання екранованих кабелів і обладнання.

Завдяки півторирічному досвіду практичної роботи в критичних умовах повномасштабного вторгнення для підвищення надійності електропостачання необхідно продовжувати створювати додаткові джерела електричної енергії, які можуть вмикатися в разі відмови основних, наприклад, дизель-генератори, акумуляторні батареї, поновлювані джерела енергії (резервування); повною мірою використовувати засоби автоматичного контролю, управління та захисту електричних мереж, які можуть оперативнo реагувати на зміни параметрів електричної енергії та ситуації в мережі, наприклад, релейний захист, автоматичне введення резерву, дистанційне управління (автоматизація); створювати малі розподільні генеруючі системи, які можуть працювати незалежно від централізованих мереж або в паралельному режимі з ними, наприклад, мікромережі, міні-ГЕС, сонячні панелі (децентралізація). Таким чином, для забезпечення надійності якості та ефективності електропостачання в умовах воєнного стану необхідно вживати комплексних заходів щодо захисту електричних мереж від атак ворога та підвищення їхньої стійкості до збурень.

Окрім якості і надійності, є інший важливий аспект електропостачання – це економічність, яка визначається співвідношенням витрат на виробництво, передачу і розподіл електроенергії до її корисного використання. Економічність електропостачання залежить від вибору оптимальних схем і конструкцій елементів системи, від раціонального розподілу навантажень за категоріями надійності. До того ж економічність електропостачання міцно пов'язана зі скороченням втрат електроенергії в процесі її передавання та розподілу, а також із підвищенням енергоефективності споживачів.

**Висновок.** Таким чином, завдання оновлення та реконструкції систем електропостачання полягає в забезпеченні високого рівня якості, надійності та економічності електроенергії, що постачається для всіх споживачів, за мінімальних витрат на її виробництво і розподіл, зручності в експлуатації з пролонгованим терміном служби і можливістю подальшого розвитку. Для цього необхідно використовувати сучасні технології, обладнання та матеріали, застосовувати комплексні заходи, спрямовані на підвищення якості, надійності, енергоефективності, економічності та безпеки електричних мереж, враховувати перспективи розвитку системи в майбутньому.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. [https://jurliga.ligazakon.net/aktualno/12602\\_energetika-pd-chas-vyni-v-ukran-yak-zmni-v-regulyuvann](https://jurliga.ligazakon.net/aktualno/12602_energetika-pd-chas-vyni-v-ukran-yak-zmni-v-regulyuvann)
2. [https://jurliga.ligazakon.net/analytics/213114\\_zelena-energetika-pd-chas-vyni-chogo-chekati-virobnikam-elektroenerg](https://jurliga.ligazakon.net/analytics/213114_zelena-energetika-pd-chas-vyni-chogo-chekati-virobnikam-elektroenerg)
3. <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/energy-security.pdf>
4. <https://borgexpert.com/news/ukraina-persha-kraina-u-sviti-i-aka-zaprovadzhuie-bahatorivnevji-zakhyst-enerhetychnykh-ob-iektyv>

## ЩОДО СТВОРЕННЯ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ МОБІЛЬНОЇ ТОЧКИ ЗВ'ЯЗКУ МЕРЕЖІ eLTE В КАР'ЄРІ

Гладкий В. В., Левченко О. С., студенти, e-mail: [vv\\_gl@ukr.net](mailto:vv_gl@ukr.net)

Якимець С. М., к.т.н. доцент, e-mail: [ysm\\_seem@meta.ua](mailto:ysm_seem@meta.ua)

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Актуальність розробки.** Під час експлуатації мережі зв'язку Private Networks eLTE для забезпечення якісного покриття в зоні роботи кар'єрної техніки, досить часто виникає необхідність модифікації розміщення базових станцій мережі eLTE [1-3]. На зміну місця розташування базових станцій зв'язку впливають наступні фактори: періодично-постійна зміна рельєфу в зоні покриття за рахунок проведення вибухових робіт в кар'єрі; зміна рельєфу відвалів в процесі вивезення гірничої маси; зміна положення місця робіт гірничої техніки, що потребує високої якості зв'язку.



Рисунок 1 – Місце роботи мережі зв'язку Private Networks eLTE

За результатами радіопланування вказується можливе місце розміщення точки зв'язку, з врахуванням доступності фізичного розміщення обладнання та виконання умов охорони праці. Перепади висот для розміщення базових станцій знаходяться в межах від -120 м до +130 м відносно рівня моря. Майже завжди, у вказаній точці розміщення базової станції, відсутнє електропостачання.

**Мета розробки.** Забезпечити наявність довготривалого живлення точки зв'язку мережі eLTE за відсутності зовнішнього електропостачання.

**Основні матеріали досліджень.** Розглянемо склад мобільної точки зв'язку мережі eLTE та параметрами електричного живлення: базова станція eAN3820 ( 56 В, 65 Вт), точка доступу LTU-PRO (24 В, 9 Вт) та відповідні PoE-адаптери типу DC/DC. Узагальнена структура точки зв'язку зображена на рисунку 2. Як джерело живлення всього обладнання, буде використано акумуляторні батареї. Для віддаленого контролю керування роботою точки зв'язку, застосуємо GPS-трекер з виконавчим реле вимикання живлення обладнання.

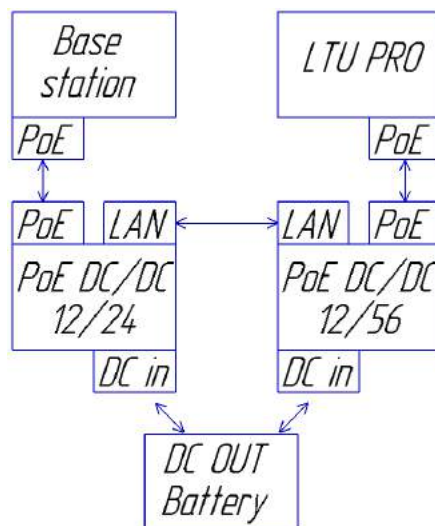


Рисунок 2 – Узагальнена структура мобільної точки зв’язку мережі eLTE

Оскільки точки зв’язку використовуються цілодобово, то можливо використовувати денне сонячне випромінювання для часткового заряду акумуляторних батарей. Враховуючи умови експлуатації та технічні параметри живлення, застосовуватиметься дві акумуляторні батареї номінальною напругою 12 В та з’єднані послідовно для отримання загальної напруги 24 В. У разі пониження заряду комплексу акумуляторних батарей за межі параметрів нормальної експлуатації, буде проводитися заміна на повністю заряджений комплект.

Синтезуємо узагальнену схему живлення, з урахуванням вказаних особливостей на рисунку 3.

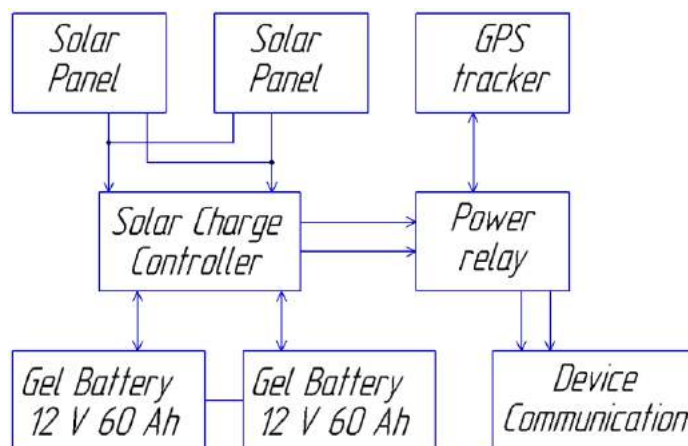


Рисунок 3 – Узагальнена схема живлення

**Висновок.** На основі вхідних даних щодо структури та параметрів мобільної точки зв’язку мережі eLTE синтезовану узагальнену структурну схему живлення. В подальшому буде виконана практична реалізація даної схеми та накопичення експериментальних даних під час експлуатації даного обладнання.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. 41 млрд грн обороту: як smart-рішення допомагають Ferrexpo конкурувати зі світовими гігантами. Навіщо виробник окатків став четвертим 4G-оператором. URL: <https://mind.ua/publications/20233117-41-mlrd-grn-oborotu-yak-smart-rishennya-dopomagayut-ferrexpo-konkuruvati-zi-svitovimi-gigantami>
2. Чим займаються 100 айтішників в одному з найглибших кар’єрів Європи. Репортаж із Горішніх Плавнів. URL: <https://dev.ua/news/it-ferrexpo>
3. Vodafone та Ferrexpo будують «Розумний кар’єр» на Полтавському ГЗК. URL: <https://newsfast.com.ua/50897762-vodafone-ta-ferrexpo-budujut-rozumnij-karyer-na-poltavskomu-gzk.html>



## ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ

Дудніков С. М., к.т.н., доц., e-mail: [ivanenkovv@ukr.net](mailto:ivanenkovv@ukr.net)

Пазій В. Г., магістр, ст. викл., e-mail: [pazziy@btu.kharkov.ua](mailto:pazziy@btu.kharkov.ua)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** На фоні високих темпів зростання генерації відновлюваної енергії, насамперед вітрових (ВЕУ) та сонячних (СЕС) електростанцій, зростає потреба в балансуванні їх змінної потужності, що забезпечує стабільність їх роботи [1, 2]. Так, у разі збільшення частки ВДЕ в загальному енергетичному балансі вже понад 2%, сучасні мережі вже технічно не в змозі справлятися з піками генерації та перетоків, виникає потреба в інфраструктурних змінах, модернізації та реконструкції самих мереж [2]. Одним із варіантів вирішення відповідної проблеми є використання біогазових установок (БГУ) як маневреної сили для ВЕС і СЕС. А отриманий біогаз, здатний до тривалого зберігання, може бути використаний за бажанням споживача. Таким чином, на першому етапі формалізації завдання необхідно провести дослідження перспектив використання БГУ в системі централізованого енергопостачання та обґрунтувати його конкурентоспроможність.

**Мета досліджень.** Обґрунтувати конкурентоспроможність використання БГУ для підвищення надійності функціонування об'єднаної енергетичної системи України.

**Основні матеріали досліджень.** Основним пристроєм біоенергетичного комплексу (БЕК) для переробки органічних відходів є БГУ. Технологічний процес роботи БГУ можна поділити на сфери діяльності: V - сфера підготовки органічних відходів до використання (подрібнення, зволоження, завантаження тощо); F - виробництво біогазу та органічних добрив з органічних відходів у біореакторі та розподіл біогазу для подальшого перетворення в електричну або теплову енергію; F' - перетворення енергії біогазу в механічну, а потім в електричну (дизельні електростанції, що працюють на біогазі); L - розподіл електричної енергії споживачам; S - перетворення електричної або теплової енергії в інші види [10].

З урахуванням практичного досвіду використання БГУ за літературними джерелами [1, 2] наведено узагальнений енергетичний баланс БГУ.

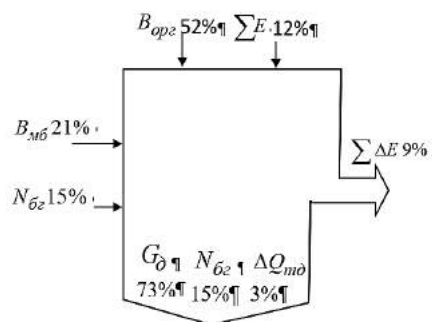


Рисунок 1 – Узагальнений енергетичний баланс БГУ, де:

$\Sigma E$  - загальні витрати теплової та електричної енергії на забезпечення технологічного процесу БГУ;

$\Sigma \Delta E$  - загальні втрати та витрати електричної та теплової енергії при експлуатації БГУ;

$B_{мб}$  - енергія, отримана гноєм внаслідок дії кислото- і метаноутворюючих бактерій;

$N_{бг}$  - енергія біогазу, отримана в наслідок дії метаноутворюючих бактерій та яка може бути використана в технологічному процесі перетворення в електричну або теплову енергію;

$G_{д}$  - енергія, що міститься в добриві.

$\Delta Q_{md}$  - втрати теплової енергії при вивантаженні добрив;

Енергетичний баланс БГУ включає всі сфери діяльності ( $V, F, F', L, S$ ) централізованої системи (ЦС) енергопостачання від електростанцій типу ТЕС, ТЕЦ, але потужність, дальність передачі та кількість перетвореної енергії тут значно менші.

З використанням показників узагальненого енергетичного балансу БГУ (рис. 1) та аналізу літературних джерел [1, 3] обґрунтовуємо значення коефіцієнта використання енергії (КВЕ):

- для сфери діяльності  $V$ , за умови створення системи самопливного видалення гною, буде близьким до одиниці;

- для сфери діяльності  $F$  БГУ - 0,91;

- загальний для сфери діяльності  $F'$  (біогазова дизельна електростанція) – 0,16;

- за умов невеликої відстані до споживачів сфери діяльності  $L$  наближається до 1;

- для сфери діяльності  $S$ , перетворення виробленої енергії в інший вид, візьмемо середнє значення - 0,8.

Кількісна оцінка КВЕ (без урахування енергії добрив) за усередненими статистичними показниками процесу виробництва електроенергії БГУ буде в межах значень:

$$\begin{aligned} K_{БГУe} &= K_V \cdot K_F \cdot K_{F'} \cdot K_L \cdot K_S = \\ &= 0,99 \cdot 0,91 \cdot 0,16 \cdot 1 \cdot 0,8 = 0,115 \end{aligned} \quad (1)$$

при виробництві теплової енергії

$$\begin{aligned} K_{БГУm} &= K_V \cdot K_F \cdot K_{F'} \cdot K_L \cdot K_S = \\ &= 0,99 \cdot 0,91 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,8 \approx 0,58 \end{aligned} \quad (2)$$

Таким чином, виробництво теплової та електричної енергії локальними системами по структурі виробництва теплової та електричної енергії та величини КВЕ можна порівняти з централізованими ТЕС і котельнями, що може позитивно впливати на прийняття рішення щодо їх практичної реалізації.

**Висновки.** 1. Електропостачання від місцевих БГУ з використанням відновлюваних джерел можна розглядати як мікроструктуру по відношенню до централізованих систем електропостачання. Технологічні структури подібні, але мають меншу кількість зв'язків і сфер діяльності. Значення величини КВЕ біоенергетичного комплексу можна порівняти з системами енергопостачання від ТЕС та ТЕЦ, що позитивно вплине на прийняття рішення щодо використання їх в якості високоманеврової потужності в складі ОЕС України.

2. За результатами аналізу встановлено, що 73% енергетичних ресурсів БГУ зосереджено в біомасі.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Analysis of the energy balance of the local energy supply system based on the bioenergy complex [Electronic resource] / Q. Mohamed, A. Lazurenko, O. Miroshnyk, S. Dydnikov, O. Savchenko, I. Trunova // Energy Smart Systems : 7th International Conference, Kyiv, 12-14 May 2020. 2020. Ст. 9160050. Р. 134-138. DOI [10.1109/ESS50319.2020.9160050](https://doi.org/10.1109/ESS50319.2020.9160050).

2. Development of Algorithm for the Operation of a Combined Power Supply System with Renewable Sources [Electronic resource] / M. Qawaqzeh, S. Dudnikov, O. Miroshnyk, O. Moroz, O. Savchenko, I. Trunova, V. Pazyi, D. Danylchenko, O. Iegorov, S. Halko, R. Buinyi // IEEE, KhPI Week 2022 : Conference Proceedings 3rd KhPI Week on Advanced Technology, Kharkiv, 03-07 October 2022. Kharkiv, 2022. Ст. 22186808. DOI [10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916372](https://doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916372).

3. Methodological aspects of evaluating the effectiveness of using local energy systems with renewable sources [Electronic resource] / S. Dydnikov, O. O. Miroshnyk, S. J. Kovalyshyn, V. V. Ptashnyk, K. Mudryk // Renewable Energy Sources : 6th International Conference, Krynica, 12-14 June 2019. Krynica, 2020. Vol. 154. DOI [10.1051/e3sconf/202015407013](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015407013).

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ МОНІТОРИНГУ УТВОРЕННЯ ОЖЕЛЕДІ  
НА ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ

Єрмак Д. А., аспірант, e-mail: [Golf9292ua@gmail.com](mailto:Golf9292ua@gmail.com)  
Савченко О. А., к.т.н., доц., e-mail: [savoa@btu.kharkiv.ua](mailto:savoa@btu.kharkiv.ua)  
Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Повітряні лінії електропередавання (ПЛ) працюють в умовах впливу на них численних експлуатаційних і метеорологічних факторів. Найбільш небезпечними є екстремальні метеорологічні впливи у вигляді сполучень ожеледних та вітрових навантажень на проводи та грозотроси ПЛ. Такі впливи є випадковими метеорологічними явищами, які, як правило, одночасно охоплюють великі райони, мають масовий характер і тому приносять значні матеріальні збитки. Статистичні дані показують, що середній період повторюваності масових ожеледно-вітрових аварій в розподільних електричних мережах України складає 10 років. Без електричної енергії на декілька діб залишаються цілі райони електричних мереж. Найефективнішим способом запобігання ожеледно-вітрових аварій є плавлення відкладень. Ефективність плавлення визначається не тільки режимом плавлення, але й своєчасністю його початку та закінчення, його оптимальною тривалістю та можливістю регулювання струму плавлення. Для задоволення цих вимог ПЛ повинна бути оснащена автоматизованою телеметричною системою контролю процесу утворення ожеледі, яка здатна в масштабі реального часу забезпечувати персонал електромереж інформацією про стан контрольованих елементів лінії та параметри метеорологічних впливів на ПЛ.

**Мета досліджень.** Метою дослідження є формулювання загальних принципів побудови автоматизованих телеметричних систем контролю процесу утворення ожеледі.

**Основні матеріали досліджень.** Автоматизована система контролю процесу утворення ожеледі повинна бути складовою частиною більш функціональної автоматизованої системи моніторингу ПЛ (АСМ), яка дозволить контролювати механічні й електричні параметри лінії в умовах мінливого зовнішнього середовища. Це дасть можливість у більшій мірі використовувати закладені ресурси ПЛ (механічні, електричні), а також приймати адекватні керуючі рішення в нормальному та аварійних режимах (плавлення ожеледі, регулювання потужності, що передається, і т.д.).

Основними вимогами при побудові АСМ необхідно вважати такі:

- розробка та використання сучасних технічних засобів збору, передачі й обробки інформації;
- розробка багатофункціонального гнучкого програмного забезпечення, сумісного з існуючими програмними засобами;
- модульний вигляд системи, що дозволяє інтегрувати її в загальну автоматизовану систему керування технологічним процесом передачі електричної енергії.

В ожеледних районах АСМ повинна мати наступні специфічні функціональні можливості:

1. Короткостроковий і довгостроковий прогнози виникнення ожеледно-паморозевих відкладень (ОПВ) на ПЛ із визначенням імовірності виникнення, часу виникнення, наростання й існування, а також виду, розмірів відкладень і супутніх метеопараметрів (із залученням даних Гідрометеослужби).

2. Раннє виявлення утворення ожеледі, а також початку інтенсивного галопування проводів, сигналізація, збір і первинна обробка поточних даних про ожеледно-вітрову ситуацію в режимі реального часу (температура й вологість повітря, напрямок і швидкість вітру, розпізнавання виду ОПВ, щільність відкладень, швидкість їх наростання, розміри й вага відкладень). Можливе доповнення інформаційної картини відео- і фотоданими.

3. Розрахунок прогнозних параметрів режиму плавлення ожеледі (визначення моментів вмикання й вимикання схеми, черговості плавлень, величини струму й часу плавлень на кожній із взаємозалежних ліній (ділянок ліній), кількості ліній (ділянок ліній) з одночасним плавленням відкладень, кількості циклів плавлень з наступним коригуванням за поточними даними.

4. Розрахунок механічних параметрів лінії у режимі реального часу (тяжіння, механічного напруження в проводах, габаритів).

5. Архівування даних про ожеледно-вітрову ситуацію та параметри ПЛ з метою подальшого аналізу й накопичення досвіду.

Таким чином, програмне забезпечення АСМ в ожеледних районах повинне включати технологічні й прикладні програми.

Технологічні програми забезпечують функціонування апаратної частини системи.

До прикладних програм відносяться:

- програма обробки і представлення прогнозних і поточних даних про ожеледно-вітрову ситуацію та параметри ПЛ;
- програма розрахунку параметрів режиму плавлення ожеледі з коригуванням у режимі реального часу;
- програма архівування даних.

Очевидно, що при розробці систем контролю утворення ожеледі необхідно прагнути до максимально можливого рівня автоматизації процесів моніторингу ПЛ та плавлення ожеледних відкладень, що дозволить мінімізувати роль людського фактору та підвищити загальну ефективність роботи таких систем.

Для завчасного визначення виду ОПВ та його очікуваних розмірів, доцільно доповнити систему моніторингу функцією прогнозування, яка дозволяє на основі даних моніторингу спрогнозувати появу ожеледних відкладень на лінії електропередавання з визначенням ймовірності і часу виникнення, а також виду і розмірів відкладень. Дана функція може бути реалізована на основі нейромережевого моделювання, яке базується на числовому аналізі експериментальних даних, отриманих під час періодів утворення відкладень ожеледі на ПЛ. Такий підхід характеризується високою гнучкістю, здатністю обробляти нечітку недостовірну інформацію, адаптуватися до мінливих умов функціонування, а також здатністю до навчання і самонавчання. Реалізація даної функції АСМ є перспективним напрямком досліджень.

**Висновок.** Встановлено, що в ожеледних районах загальна автоматизована система керування технологічним процесом передачі електричної енергії повинна доповнюватись підсистемою контролю утворення ожеледі на ПЛ, до функціональних можливостей якої входять прогнозування виникнення та моніторинг процесу наростання ожеледних відкладень, розрахунок параметрів режиму плавлення ожеледі на ПЛ та керування цим режимом, розрахунок механічних параметрів ліній.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Zhang Z, Zhang H, Yue S, Zeng W. A Review of Icing and Anti-Icing Technology for Transmission Lines. *Energies*. 2023; 16(2):601. <https://doi.org/10.3390/en16020601>

2. CIGRE WG B2.29, "Systems for prediction and monitoring of ice shedding, anti-icing and de-icing for power line conductors and ground wires", TB 438, December 2010.

3. CIGRE WG B2.44, "Coatings for Protecting Overhead Power Network Equipment in Winter Conditions", TB 631, September 2015.

4. M. Radojic, K. Halsan, I. Gutman, A. Dernfalk, L. Carlshem, and L. Wallin, "Comparative testing of different anti-ice coatings for overhead line conductors with special focus on ice accretion, RIV and visual impact", IWAIIS-2013, St. John's, NL, Canada, 8-11 September 2013, Session 1, p. 13-18.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖ 6(10) КВ  
ЗА РАХУНОК ЇХ ПЕРЕВЕДЕННЯ НА НАПРУГУ 20 КВ

Кімак С. С., здобувач вищої освіти, e-mail: [kimak.kr@gmail.com](mailto:kimak.kr@gmail.com)

Сагайдак О. М., здобувач вищої освіти, e-mail: [sahaidak@gmail.com](mailto:sahaidak@gmail.com)

Петрова К. Г., к.т.н., доц., e-mail: [kateflash27@gmail.com](mailto:kateflash27@gmail.com)

Центральноукраїнський національний технічний університет

**Актуальність дослідження.** Підвищенні втрати електроенергії в електричних мережах представляють значні економічні витрати як для енергосистем, так і для споживачів. Ці витрати поєднують витрати на виробництво додаткової енергії, витрати на технічне обслуговування та підтримку мереж, а також втрати прибутку для компаній, що займаються виробництвом та постачанням електроенергії. У той же час, генерація додаткової електроенергії для компенсації втрат призводить до збільшення викидів в атмосферу та нераціональне споживання природних ресурсів, що має значний негативний вплив на навколишнє середовище. Зменшення втрат електроенергії може сприяти зменшенню викидів парникових газів та інших забруднювачів.

У зв'язку зі значними втратами електроенергії в електричних мережах енергосистеми України, які сягають до 20 % від загального обсягу виробленої електроенергії об'єктом досліджень доцільно обрати розподільчих мережі 6 (10) кВ, до основних недоліків яких належать: порівняно значні втрати електричної енергії, задовга мережа, проблема перевантаження, низька якість електричної енергії та недостатня потужність.

**Мета досліджень.** Доведення ефективності підвищення рівня напруги розподільних мереж 6(10) кВ шляхом переведення їх на вищий клас напруги 20 кВ з одночасною реконфігурацією схеми мережі при наближенні фідерів напругою 20 кВ до споживача для збільшення пропускної спроможності, зниження втрат електроенергії та покращення її показників якості.

**Основні матеріали досліджень.** Однією з важливих задач вирішення цієї проблеми є використання класу напруги 20 кВ для суттєвого зменшення втрат електроенергії. Промислово розвинені країни Європи, Азії та Америки інтенсивно почали впроваджувати в розподільних електричних мережах новий клас середньої напруги 20 кВ, починаючи з середини 70-х років минулого сторіччя. У порівнянні з напругою 10 кВ у мережі 20 кВ: за однакових перерізів проводів пропускна спроможність збільшується вдвічі; у чотири рази зменшується падіння напруги у випадку передавання однакової потужності та в чотири рази знижуються втрати потужності. Окрім того, за однакової щільності струму для передавання однакової потужності необхідно менший переріз провідника, що відповідно зменшує витрати провідникового матеріалу.

У порівнянні з мережами напругою 35 кВ мережі 20 кВ – це наявність компактного обладнання закордонних та вітчизняних виробників, зокрема, щоглових підстанцій зі спрощеною конструкцією трансформатора без розширювального бачка та перемикача без збудження. Використання таких комплектних трансформаторних підстанцій дає можливість максимально наблизити її установку до об'єкта споживача зі збереженням охоронної зони мереж 10 кВ. Підстанція на 35 кВ – це досить громіздка споруда, яка займає значну територію. Для міста такий клас напруги не є перспективним.

На сьогодні, розподільні електричні мережі напругою 6(10) кВ практично вичерпали резерв пропускної спроможності, мають надзвичайно низький рівень автоматизації, дистанційне управління обмежене застосуванням застарілого обладнання, як правило вимикачі 6(10) кВ мають механічний привід і не можуть бути обладнані телекеруванням. Мережі, як правило, структурно розгалужені, мають значну протяжність від 15 до 25 км, іноді до 50 км, секціонування їх практично всюди забезпечується лінійними роз'єднувачами, а застосування сучасних реклоузерів відсутнє.

Загальна протяжність розподільних електричних мереж напругою 0,4...10 кВ в Україні становить: 0,4 кВ – 431 628 км; 6-10 кВ – 320 653 км і має тенденцію до щорічного зростання. Станом на 01.01.2021 року в незадовільному технічному стані знаходилось 78 тис. км повітряних ліній 0,4...150 кВ, а також майже 32 тис. одиниць ТП (РП) 6(10) кВ та 252 ПС 35...150 кВ.

На об'єктах електричних мереж напругою 0,4-150 кВ електропередавальних організацій за перший квартал 2021 року сталося 31711 технологічних порушень, зокрема, в мережах 6(10) кВ 8754 (рис. 1). У порівнянні з 2019, і 2020 роками в 2021 році в мережах 6(10) кВ спостерігається досить незначне зниження кількості порушень. Відповідно 638 та 490, а в мережах до 1000 В воно досить відчутне – 6631 та 3506.

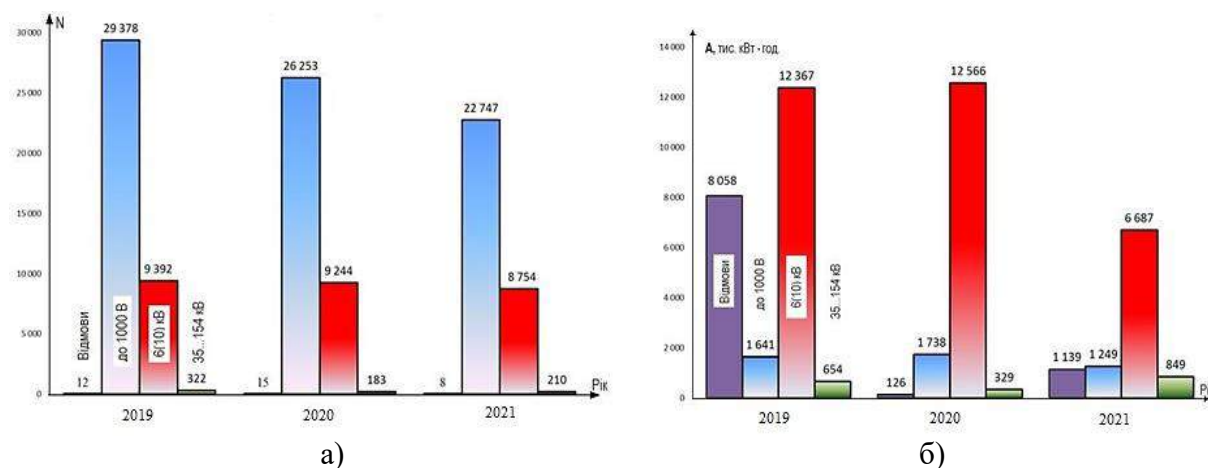


Рисунок 1 – Відмови та технологічні порушення цехового обліку в електричних мережах електропередавальних організацій (а) та обсяги недовідпуску електричної енергії (б)

Обсяг недовідпуску електричної енергії з причини виникнення відмов та технологічних порушень цехового обліку в електричних мережах електропередавальних організацій за перший квартал 2021 року наблизився до 850 тис. кВт·год. Частка недовідпуску електроенергії споживачам з причини технологічних порушень у мережі 6(10) кВ перебуває в межах 40,5...96 %. Значний відсоток недовідпуску електроенергії обумовлений тим, що повітряні електричні мережі 10 кВ недостатньо оснащені пристроями автоматизації. Прилади для фіксації місць пошкодження на лініях встановлені лише на 3% підстанцій та майже відсутні пристрої двократного автоматичного повторного включення. У мережах 6(10) кВ мають місце значні втрати електроенергії в зв'язку з низькою пропускнуною спроможністю мереж.

**Висновок.** Застосування технічних рішень рівня напруги 20 кВ дозволить зменшити площу підстанцій, наприклад, підстанція 20 кВ з елегазовим КРУЕ, що займає площу 24 м<sup>2</sup>, в той же час, аналогічна напругою 10 кВ та потужністю 630 кВА займатиме площу - 44 м<sup>2</sup>. Крім того, більшість мереж 20 кВ у світі працюють із режимом заземленої через резистор нейтралі. Таке рішення забезпечує надійну та безпечну роботу обладнання, зменшує струми короткого замкнення, скорочує час спрацювання релейного захисту та автоматики до 0,5-0,7 с.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Z. Bakhor, A. Kozovyi, H. Lysiak, A. Yatseiko. Improvement of 6/10 kV distribution power networks efficiency. Energy Eng. Control Syst., 2018, Vol. 4, No. 2, pp. 65 – 72. <https://doi.org/10.23939/jeecs2018.02.065>
2. Циганенко Б. В. Особливості функціонування розподільних мереж середнього класу напруги та їх переведення на напругу 20 кВ / Б. В. Циганенко, В. В. Кирик // Гідроенергетика України. 2016. № 3-4. С. 7-13.

## УЧАСТЬ АГРЕГАТОРІВ У КЕРУВАННІ ПОПИТОМ

Кіянчук В. М., аспірант, e-mail: [Vladyslav.Kiianchuk@ieec.khpi.edu.ua](mailto:Vladyslav.Kiianchuk@ieec.khpi.edu.ua)

Науковий керівник, к.т.н., с.н.с. Махотіло К. В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Актуальність дослідження.** Світовий досвід свідчить, що практика керування попитом починається з великих споживачів, агрегування яких здійснюється відносно просто, та поступово розширюється на менших споживачів, включаючи окремі домогосподарства, просуваючись від простих до більш складних моделей. Зміни в енергетичних ринках, де ключовими факторами конкурентоспроможності стають інноваційні технології, обумовлюють перетворення енергетичного ландшафту. Цифрові платформи, передові системи збору та обміну інформацією, оптимізаційні рішення на основі великих даних та штучного інтелекту мають ключову роль у цьому процесі, а впровадження платформних рішень та технологічних інновацій допомагає забезпечити ефективну масштабованість бізнес-моделей агрегаторів.

**Метою** даного дослідження є проведення аналізу завдань та функцій агрегаторів з метою визначення їх потенційної ролі в створенні цінності для енергетичних систем та споживачів. Дослідження спрямоване на визначення можливостей та переваг пов'язаних із впровадженням програм керування попитом за допомогою агрегаторів.

**Основні матеріали досліджень.** В керуванні попитом можуть брати участь різні види споживачів: промислові, комерційні або побутові. Головна вимога в керуванні попитом для споживачів пов'язана з можливістю швидкої зміни споживаної з мережі потужності, що може бути забезпечена шляхом зупинення або зниження інтенсивності виробничого процесу, повним або частковим відключенням систем освітлення, вентиляції та кондиціонування або відключенням від мережі з переходом на ізольовану роботу із покриттям власного споживання від резервного джерела живлення. У випадку недостатньої потужності окремо взятих споживачів агрегатори можуть допомогти їм взяти участь у програмах керування попитом та гарантувати, що всі види споживачів, незалежно від їх встановленої потужності, можуть брати участь в програмах керування попитом та виходити на енергетичні ринки. У цих випадках агрегатори об'єднують ресурси керування попитом різних споживачів та керують ними, як одним цілим, аби їх сукупна потужність відповідала мінімально встановленому порогу входу на ринок та мала вплив на енергосистему, а такі споживачі могли отримати фінансову вигоду від участі в програмі керування попитом. Слід зазначити, що участь споживачів у програмах керування попитом не знижує споживання, а лише зміщує періоди споживання. Відповідно, участь споживача в керуванні попитом не призводить до зниження виробітку продукції або зниження якості надання послуг.

Керування попитом перетворює споживачів енергії на віртуальні електростанції регулюючи їх споживання енергії в певний час для зменшення навантаження на мережу або з метою врегулювання небалансів. За своєю суттю віртуальні електростанції - це агрегація децентралізованих активів, якими можна керувати дистанційно, як групою, проте вони продовжують працювати незалежно один від одного. Така станція складається з різноманітного поєднання активів, наприклад, просьюмерів або систем зберігання енергії та отримує команди від диспетчера [1]. Споживачі можуть відігравати важливу роль в управлінні енергосистемою через керування попитом регулюючи споживання електроенергії за командою диспетчера або як відповідь на фінансові стимули, наприклад, тарифи на основі часу. Замість вмикання/вимкання традиційного джерела генерації системний оператор може використовувати ресурси керування попитом, щоб «вимкнути/зменшити» попит на електроенергію, таким чином усуваючи потребу в додатковій генерації.

Роль агрегатора полягає в консультуванні та підтримці споживачів, мінімізації їх обмежень та максимізації прибутку. При цьому беручи до уваги різні параметри: часові

періоди доступності ресурсу керування попитом та тривалість надання послуг, можливість попереднього повідомлення перед активацією, фіксовану та змінну частини винагороди за участь у програмі, можливі штрафні санкції у разі відмови або неможливості виконати команду диспетчера.

В програмах керування попитом агрегатор виконує наступні задачі:

- займається пошуком споживачів, що мають можливість швидкої зміни споживання без шкоди для основної діяльності або суттєвого зниження комфорту;
- проводить у споживачів оцінку наявного ресурсу керування попитом та розробляє оптимальні алгоритми їх участі в програмах керування попитом;
- оснащує споживачів необхідними системами автоматизації, приладами та пристроями;
- виступає в ролі агента на оптовому ринку, щоб користувачу не було потрібно розбиратися в складних правилах, налагоджувати взаємодію з інфраструктурою оптового ринку та проходити складні процедури допуску на ринок;
- надає на оптовому ринку ресурс агрегованої зміни навантаження групи користувачів у вигляді єдиного елемента та несе відповідальність за виконання зобов'язань ринку.

Енергетичні дані, насамперед профілі споживання, є потужним інструментом, який допомагає зрозуміти поведінку споживачів і найефективніше спланувати та використати наявний ресурс керування попитом [2]. Аналітика даних дозволяє споживачам краще зрозуміти свій профіль навантаження та шукати можливості його оптимізації з метою участі в програмах керування попитом або економії грошових коштів. З метою участі на енергетичних ринках агрегатори можуть використовувати гнучкість попиту за допомогою інструментів керування попитом та конвертувати їх в різні продукти на енергетичних ринках. Тому агрегатори мають співпрацювати з оператором системи, що відповідає за підтримку стабільної роботи енергосистеми та організацію роботи балансуєного ринку та ринку допоміжних послуг.

Шляхом розробки індивідуальних автоматизованих алгоритмів оптимального управління, орієнтованих на задоволення потреб клієнтів та керування обладнанням з віддаленим доступом, агрегатори відіграють ключову роль у зусиллях залучити на ринок якнайбільше кінцевих користувачів. Важливою особливістю є їх здатність адаптуватися до специфічних пріоритетів та соціальних тенденцій, що робить їх надзвичайно важливими у цьому контексті. Агрегатори використовують досягнення в галузі зв'язку та інформаційних технологій, а також інфраструктуру розумних лічильників для створення нових підходів, які стимулюють кінцевих споживачів до участі в програмах керування попитом.

**Висновки.** Загалом програми керування попитом пропонують перспективний підхід до управління споживанням електроенергії, і їх впровадження є важливим для досягнення стійкого та надійного енергетичного майбутнього. Завдяки агрегаторам малий споживач отримує можливість брати участь на оптовому ринку не являючись його суб'єктом та не розбираючись у його правилах, а також не здійснює регульованої взаємодії з оператором системи. Таким чином агрегатор конвертує здатність споживача змінювати споживання в певний момент часу в товари і послуги на ринках. Розглядаючи майбутнє напрямки досліджень, можна виділити декілька аспектів, що сприятимуть подальшому розвитку агрегаторів керування попитом. Один із цих аспектів полягає у вивченні впливу агрегаторів на стабільність електроенергетичних систем у великих масштабах та їх взаємодії з іншими учасниками ринку. Крім того, важливо дослідити економічні та соціальні вигоди, які можуть виникати для різних груп споживачів завдяки участі в програмах керування попитом.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Olkkonen V. et al. Benefits of DSM measures in the future Finnish energy system //Energy. 2017. Т. 137. С. 729-738.
2. Barbero M. et al. Critical evaluation of European balancing markets to enable the participation of Demand Aggregators //Applied energy. 2020. Т. 264. С. 114707.



## АНАЛІЗ ВПЛИВУ РОБОТИ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НА ТОЧНІСТЬ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Котиш А. І., к.т.н., доц., e-mail: [akotysh@gmail.com](mailto:akotysh@gmail.com)

Жупаненко В. В., здобувач магістратури e-mail: [zupanenkov@gmail.com](mailto:zupanenkov@gmail.com)

Баласенко Є. О., здобувач магістратури e-mail: [www.zhenya.1977@icloud.com](mailto:www.zhenya.1977@icloud.com)

Центральноукраїнський національний технічний університет

**Актуальність дослідження.** Засоби обліку включають в себе всі пристрої, які забезпечують вимірювання та реєстрацію електроенергії (такі як вимірювальні трансформатори струму та напруги, лічильники електричної енергії, телеметричні датчики, інформаційно-вимірювальні системи та їх зв'язкові лінії), а також їх взаємозв'язок за встановленою схемою. Отже, при передачі, отриманні та обробці інформації для комерційного та технічного обліку важливі всі вищезазначені технічні засоби, у тому числі електричні з'єднання, що з'єднують вимірювальні трансформатори струму (ТС) та напруги (ТН) з лічильниками електроенергії.

**Мета дослідження.** Метою дослідження роботи є підвищення точності вимірювань систем обліку електроенергії.

**Основні матеріали досліджень.** Досі експлуатаційний персонал суб'єктів оптового та роздрібного ринків електроенергії недостатньо уважно ставився до стану електричних ланцюгів струму та напруги, які використовуються для вимірювань в комерційних та технічних цілях. Це підтверджується численними спробами адаптувати існуючі системи обліку до вимог оптового ринку шляхом встановлення лічильників високої точності, проте ігноруванням необхідності ревізії та реконструкції електричних ланцюгів в цілому, включаючи вимірювальні трансформатори струму та напруги [1, 2].

В результаті аналізу досліджень та експериментів виявлено, що зовнішні фактори, які впливають на погрішність вимірювальних трансформаторів, можна поділити на три категорії (табл. 1).

Таблиця 1 – Класифікація чинників, що впливають на метрологічні характеристики вимірювальних ТС і ТН.

| Номер групи | ТС  | ТН  | Вплив на похибку |
|-------------|---|---|------------------|
| Перша       | Первинний струм, потужність вторинного навантаження, $\cos\varphi$  | Первинна напруга, потужність, $\cos\varphi$ | >80%             |
| Друга       | Температура навколишнього повітря, струми КЗ                        | Температура навколишнього середовища        | 10-80%           |
| Третя       | Частота мережі, дія вібрацій і транспортування, строк експлуатації. |   | >10%             |

Як відомо, автоматизовані інформаційно-вимірювальні системи комерційного обліку електричної енергії й потужності (АСКОЕ), як правило, мають ієрархічну структуру. На низькому рівні розташовуються інформаційно-вимірювальні комплекси точок обліку (ІВКТО), обов'язковим компонентом яких є лічильник електроенергії. Для розширення діапазону вимірювань до складу ІВК можуть включатися вимірювальні трансформатори струму і напруги. Більш високі рівні АСКОЕ утворюються пристроями збору і передачі даних (ПЗПД), які об'єднують окремі ІВКТО в групи обліку і передають результати вимірювань на вищі рівні АСКОЕ. На самому верхньому рівні АСКОЕ розташований

інформаційно-обчислювальний комплекс, що забезпечує збір результатів вимірювань від всіх ІВКТО системи, обробку і довготривале зберігання цих результатів.

Для оцінки меж похибок вимірювальних каналів та системи в цілому при проведенні випробувань необхідно враховувати особливості використання та конструкції АСКОЕ. При цьому оцінка виконується шляхом узгодження похибок окремих компонентів системи з реальними умовами їх експлуатації. При визначенні умов застосування компонентів вимірювального каналу слід враховувати не лише кліматичні умови, але й:

- значення навантажень вторинних ланцюгів для масштабних перетворювачів – трансформаторів струму (ТС) і трансформаторів напруги (ТН);
- значення втрат напруги в лініях приєднання до лічильників електричної енергії для ТН;
- значення напруженості магнітного поля в місцях установки лічильників електричної енергії;
- власні характеристики об'єкту вимірювання – частота і напруга мережі, в якій відбувається вимірювання потужності і енергії.

Діаграма (рис. 1) ілюструє внесок кожної складової в сумарну межу погрішності вимірювального каналу.

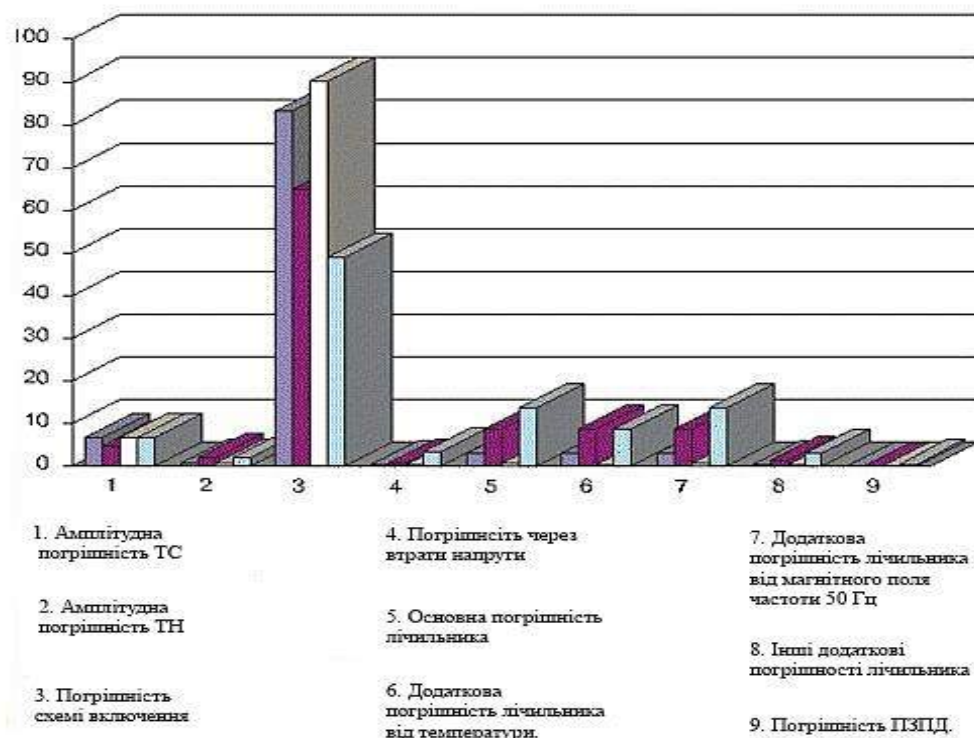


Рисунок 1 – Вклад складових в сумарну похибку вимірювального каналу

**Висновок.** Таким чином при запровадженні АСКОЕ, для підвищення точності обліку необхідно враховувати в комплексі перелічені вище чинники та застосовувати сучасні вимірювальні прилади.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Защепкіна Н. М., Шульга О. В., Наконечний О. А. Метрологічне забезпечення інформаційно-вимірювальних систем: навч. посіб. для студ. спец. 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» / Н. М. Защепкіна, О. В. Шульга, О. А. Наконечний – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 176 с.

2. Інтернет ресурс <https://core.ac.uk/download/pdf/79660656.pdf/> Проблеми метрологічного забезпечення інформаційно-вимірювальних систем

## ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СІЛЬСЬКИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Котиш А. І., к.т.н., доц., e-mail: [akotysh@gmail.com](mailto:akotysh@gmail.com)

Червоний С. С., здобувач магістратури e-mail: [220gans220@gmail.com](mailto:220gans220@gmail.com)

Миронець М. Ю., здобувач магістратури e-mail: [marinkaTM@bigmir.net](mailto:marinkaTM@bigmir.net)

Центральноукраїнський національний технічний університет

**Актуальність дослідження.** В даний час практично всі сільські споживачі отримують електроенергію централізовано від енергосистеми. Джерелами електричної енергії для сільських електромереж є, як правило, вузлові районні підстанції з вищою напругою 110 кВ і вище. Високий ступінь надійності роботи вузлових підстанцій забезпечується резервуванням основних елементів: вони мають не менше чим двостороннє живлення, два трансформатори, подвійна система шин 35-110(150) кВ. Такі підстанції живлять споживачів довколишнього регіону (промислових, міських і сільських) і є як би «входом» в систему електропостачання сільськогосподарських споживачів.

У сільському електропостачанні отримало широкий розвиток система напруги 35/10/0,38, 110(150)/10/0,38 і 110(150)/35/10/0,38 кВ. Системи напругою 35-110(150)/0,38 кВ в нашій країні широкого розповсюдження не отримали.

Система електропостачання сільськогосподарського призначення умовно ділиться на 3 структурних рівні: живляча електрична мережа 35-110(150) кВ з понижувальними підстанціями 35-110(150)/10(6) кВ, розподільна мережа 10(6) кВ і мережа напругою 0,38 кВ.

Мережа 35-110(150) кВ складається з ліній 35-110(150) кВ, які відходять від шин 35-110(150) кВ вузлових (районних) підстанцій енергосистеми або різних систем шин однієї підстанції. До ліній 35-110,150 кВ приєднуються понижувальні підстанції 35-110(150)/10(6) кВ (ПС) через комутаційні апарати або глухими відгалуженнями.

У сільських мережах Кіровоградської області нараховується більше 100 підстанцій напругою 35/10 кВ, 5650-10/0.4 кВ, а також ПЛ: 35 кВ-1655км, 10 кВ-12880 і 0.4 кВ-15285, більше половини яких – уже за межею фізичної та моральної вичерпаності своїх ресурсів. Майже дві третини трансформаторів 35/10 кВ і приблизно половина 10/0.4 кВ, які зараз експлуатуються, мають відносно велику для сільських мереж потужність (відповідно 2.5 МВА і вище та 160 – 400 кВА). Середня довжина магістральних (без відгалуджень) ПЛ 10 кВ орієнтовно становить 15 км (максимальна 30), а ПЛ 0,4 кВ – 0,55 км (максимальна 1,8 км). До цього треба додати мережу сільських ПЛ 10 кВ, які під'єднано до розподільних пристроїв 10 кВ районних підстанцій 150/10 кВ або 150/35/10 кВ, розташованих в основному поблизу райцентрів.

Загальновідомі структура та якість сучасних сільських мереж є головною причиною помітних технологічних втрат енергії, недостатньої надійності електропостачання та безпеки експлуатації ліній електропередачі, а самі мережі, їх схеми та обладнання концептуально не адаптовано до вимог, які постали перед сферою енергозабезпечення.

**Мета дослідження.** Проведення аналізу режимів роботи обладнання сучасних електричних мереж агропромислового призначення. Розробка рекомендацій по підвищенню надійності й економічності.

**Основні матеріали досліджень.** Ринкові умови функціонування електроенергетичної галузі потребують, з одного боку, незаперечного відключення так званих неплатників, унеможливлення випадків не обрахованого споживання (крадіжок) енергії, з другого – гарантованого електропостачання тих абонентів, які сповна і своєчасно розраховуються за спожиту енергію.

Тісний взаємозв'язок надійності електропостачання і якості електричної енергії вимагає розгляду і використання сучасних способів і засобів забезпечення необхідних показників надійності і якості нових організаційно-технічних заходів, направлених на реорганізацію системи електропостачання, способів і технічних засобів, регулюючих рівень електропостачання [1].

По-перше, слід чітко сформулювати вимоги по надійності і розділити їх на обов'язкові і оплачувані через ринкові механізми.

По-друге, необхідно визначити відповідальність господарюючих суб'єктів за надійність.

По-третє, повинен бути визначений порядок довгострокового планування розвитку ЕС, включаючи:

- способи організації взаємодії суб'єктів ринку, що відносяться до монопольного і до конкурентного його секторам;
- інформаційне забезпечення;
- прогноз балансу попиту і пропозиції;
- розробка довгострокових планів;
- моніторинг і розшифровка вузьких місць;
- стимулювання інвестицій для створення раціональної структури ЕС;
- стимулювання енергозберігаючих технологій, а також нових технологій виробництва і передачі електроенергії і ін.

Виходячи з вищезазначеного було проведено попередній аналіз прийнятних варіантів реконструкції електромереж сільськогосподарського призначення [2]. Найкращим виявився проект переходу до нової системи напруг розподільних мереж – 35/3/0,38 кВ. Лінії 35 кВ та підстанції 35/3 кВ будуються за схемами глибокого введення (одна-дві підстанції 35/3 кВ на окреме сільське поселення), використовуються можливості реконструкції магістральних ПЛ 10 кВ з метою їх переведення на клас 35 кВ; лінії 3 і 0,38кВ – кабельні, підстанції 3/0,38 кВ – комплектні, компактні, переважно одно трансформаторні (потужністю здебільшого 10–25 кВА) та адресні, тобто максимально наближені до споживачів та оснащені відповідними засобами комутації, автоматики та обліку електроенергії.

Введення ринкових механізмів фундаментальним чином змінює цільову функцію управління режимами ЕС, перетворюючи її з мінімуму витрат галузі (витрата палива, втрати електроенергії) в критерій найбільшої вигоди учасників ринку. Повномасштабне впровадження ринку обумовлює необхідність кардинального оновлення існуючого інструментарію, наявного методичного і програмного забезпечення, а також традиційних технологій управління і методів ухвалення рішень.

**Висновок.** Всі перетворення повинні бути закріплені системою державного нормативно-правового регулювання. У цільовому періоді реформування необхідно ввести нову структуру координації і управління надійністю в електроенергетиці, наділену з боку держави і залучених суб'єктів оптового і роздрібного ринку широкими повноваженнями.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бондаренко Р.В. Підвищення надійності функціонування розподільних електричних мереж / Р. В. Бондаренко, О.М. Довгалюк, Г.В. Омеляненко, О.Є. Піротті, Т.В. Сиромятникова // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. – Харків : ХНТУСГ, 2018. – Вип. 195: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – С. 69-71.

2. Журахівський А.В. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник / А.В. Журахівський, С.В. Казанський, Ю.П. Матеєнко, О.Р. Пастух. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сикорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 456 с.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ НА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Осіпов О. М., здобувач вищої освіти, e-mail: [osipov.aleks.kr@gmail.com](mailto:osipov.aleks.kr@gmail.com)

Петрова К. Г., к.т.н., доц., e-mail: [kateflash27@gmail.com](mailto:kateflash27@gmail.com)

Центральноукраїнський національний технічний університет

**Актуальність дослідження.** На разі в сучасних промислових системах та пристроях все активніше використовують частотно-регульовані електроприводи (ЧРЕП) для забезпечення ефективного управління обертними механізмами. Ця технологія дозволяє зменшити витрати електроенергії та підвищити продуктивність, але, у той же час, такий підхід може впливати на рівень якості електричної енергії систем електропостачання (СЕП). Проблеми, пов'язані зі змінами рівня напруги, появи гармонік, завад в мережі тощо, можуть призвести до пошкоджень, похибок керування та додаткових витрат енергетичних ресурсів. Крім того, за умов зростання кількості джерел відновлювальної енергії та розподільчих систем загострюється проблема забезпечення стабільного рівня якості електричної енергії, оскільки вплив частотно-регульованих електроприводів може бути значущим в першу чергу для цих систем.

Отже, дослідження можливостей зменшення впливу частотно-регульованих електроприводів на якість електричної енергії в системі електропостачання є важливим завданням, яке сприятиме підвищенню рівня ефективності сучасних СЕП.

**Мета досліджень.** Дослідження впливу ЧРЕП на якість електричної енергії в системі електропостачання та пошук можливостей його нівелювання.

**Основні матеріали досліджень.** Експериментальні дослідження виконувались у фарбувальному відділенні текстильної фабрики (ТП 1, 2), де частка ЧРЕП становить 70 % від загального складу навантаження. Під час вимірювання рівня вищих гармонік (ВГ) на шинах 0,4 кВ досліджувались наступні питання: отримання достовірної інформації щодо фактичного рівня ВГ в мережі; пошук причин відмов та хибної роботи електрообладнання, викликаних надмірними рівнями ВГ.

Попереднє аналізування параметрів джерел ВГ дозволяє стверджувати, що в мережі: у незначній кількості можуть бути наявні ВГ, з частотами кратними 3; висока ймовірність наявності ВГ порядків  $6k \pm 1$  з незначними амплітудами; висока ймовірність появи ВГ другого порядку зі значною амплітудами; висока ймовірність появи парних ВГ з невеликими значеннями амплітуд.

Дослідження гармонійного складу кривих струму та напруги ТП фабрики виконано з використанням вимірювальної система, блок-схема якої наведена на рис.1.

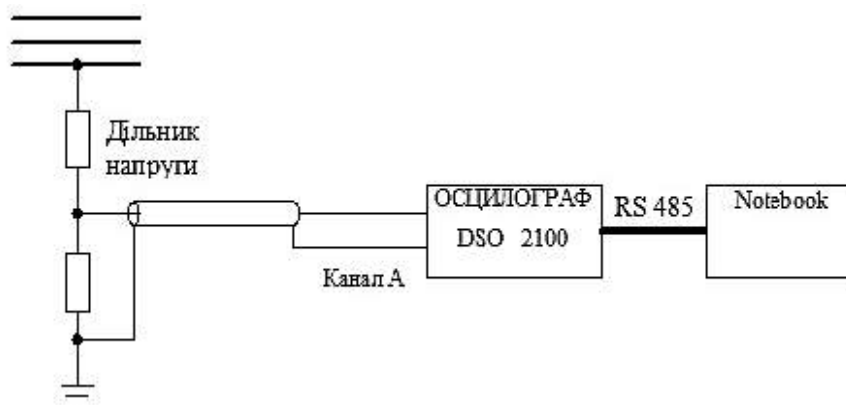


Рисунок 1 – Блок-схема вимірювальної системи

Вихідний сигнал аналізатора спектра та форма кривої напруги наведені на рис.2.

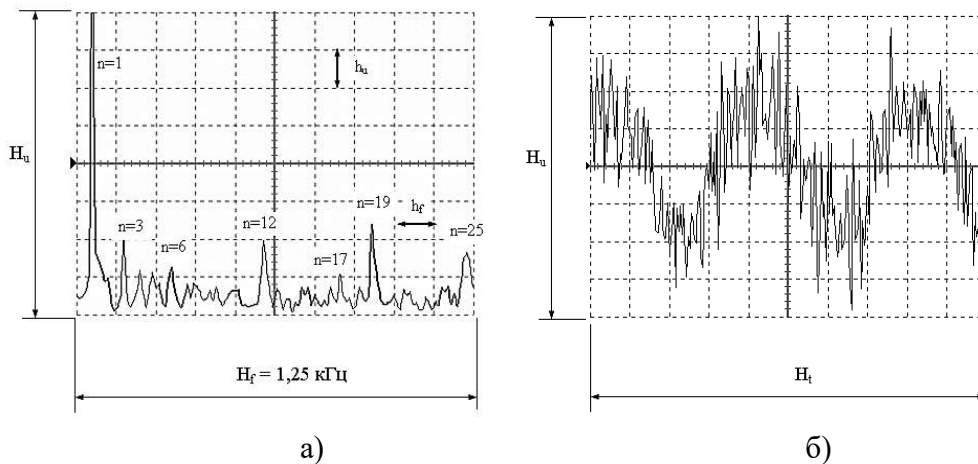


Рисунок 2 – Вихідний сигнал аналізатора спектра для фази В (а) та форма кривої напруги (б)

Існує п'ять основних груп, які виокремлюють під час дослідження методів та засобів зниження ВГ:

1) схемні рішення, наприклад, виокремлення потенційних "спотворювачів" форми кривих на окрему систему шин; розподілення навантажень по різних вузлах СЕП з паралельним під'єднанням електродвигунів; групування перетворювачів за схемою множення фаз; під'єднання навантажень до системи зі значною потужністю.

2) використання спеціалізованих пристроїв (силових резонансних фільтрів). Наприклад, фільтрокомпенсуючі та фільтросиметруючі пристрої; пристрої «акумуляторна батарея - перетворювач»; коректори потужності; статичні тиристорні компенсатор; швидкодіючі статичні джерела реактивної потужності тощо. Багатофункціональні пристрої такого типу дозволяють забезпечити компенсацію реактивної потужності, фільтрацію ВГ, зменшення відхилень і коливань напруги, пофазне її симетрування;

3) використання інших пристроїв (дроселів, фільтрів, розділових трансформаторів, магнітних синтезаторів, активних кондиціонерів гармонік тощо);

4) використання спеціалізованого обладнання зі зниженим рівнем генерації ВГ;

5) використання багатofазних перетворювачів з поліпшеними енергетичними показниками.

**Висновок.** ЧРЕП, разом з обслуговуванням технологічного процесу, часто дає можливість раціонального розв'язку енергетичних задач. Проте, їх застосування призводить до генерування ВГ та спотворення синусоїдальної форми напруги та струму. Генеровані потужним обладнанням ВГ електричного струму викликають додаткові втрати енергії в електромережах, завдають шкоди роботі інших підприємств, приладам керування, негативно впливають на стійкість енергосистем.

Проведений аналіз даних експериментальних досліджень гармонійного складу кривих струму та напруги на шинях 0.4 кВ ТП, до складу навантаження яких входили перетворювачі частоти, довів необхідність встановлення додаткових технічних засобів для зниження негативного впливу ЧРЕП на СЕП.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Регульований електропривод: Підручник / І.М. Голодний, Ю.М. Лаврінченко, В.В. Козирський, Л.С. Червінський, Д.А. Абдураманов, А.В. Торопов, О.В. Санченко; За ред. І.М. Голодного. – К.: ТОВ "ЦП "Компринт", 2015. – 509 с.

2. Качан Ю. Г., Шрам О. А., Свєргун А. В. Можливості зменшення впливу ЧРП на якість електроенергії в мережах підприємств та вартості його використання // Електротехніка та електроенергетика. – 2022. – № 3. – с. 26-32.

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Подольак Д. С., здобувачка вищої освіти, e-mail: [podolyak.d@gmail.com](mailto:podolyak.d@gmail.com)

Петрова К. Г., к.т.н., доц., e-mail: [kateflash27@gmail.com](mailto:kateflash27@gmail.com)

Центральноукраїнський національний технічний університет

**Актуальність дослідження.** Динамічне, швидкозмінне ринкове середовище та конкурентна боротьба обумовлюють актуальність регулярних комплексних досліджень електроенергетичного ринку. Важливим об'єктом вивчення для енергопостачальників є зміна попиту споживачів в часі. Зазвичай, енергокомпанії прогнозують обсяги продажу енергії лише на один рік шляхом механічного перенесення фактичних даних споживання минулого року. Такий підхід не є достатньо обґрунтованим та перспективним. Ґрунтовне аналізування попиту та його точне прогнозування терміном принаймні на 2–3 роки дозволить енергопостачальникам отримати інформацію, необхідну для планування фінансово-господарської, маркетингової діяльності, розвитку підприємства тощо.

Під час формування цінової політики енергопостачальних підприємств важливою складовою є знання потенційного обсягу продажів електроенергії, який є похідною величиною від значення ринкового попиту. Таким чином, актуальною стає задача прогнозування графіків електричних навантажень споживачів. Часовий горизонт прогнозу має відповідати загальній корпоративній стратегії та меті підприємства. Так, для формування цінової політики доцільно здійснювати середньострокове прогнозування терміном на 2–3 роки.

**Мета досліджень.** Підвищення рівня енергетичної ефективності системи електропостачання за рахунок оптимального її проектування та прогнозування графіків електричних навантажень.

**Основні матеріали досліджень.** Відомо понад 130 методів, моделей та типових прийомів прогнозування, які характеризуються певними перевагами й недоліками, сферами застосування, ступенем точності та надійності. Охарактеризуємо основні з них з точки зору придатності до застосування у разі середньострокового прогнозування попиту на електроенергію на роздрібних ринках (табл. 1).

Таблиця 1 – Оцінювання головних методів прогнозування попиту на електроенергію

| Переваги   | Недоліки   |
|--|--|
| <b>Екстраполяція трендів</b>   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- дозволяє визначити тенденцію розвитку об'єкту;</li> <li>- доступність необхідних вихідних даних;</li> <li>- об'єктивність результатів прогнозування;</li> <li>- відносно низька ресурсоемність</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- відносна нечутливість до різких змін в рівнях ряду динаміки об'єкта;</li> <li>- не розділяє вплив окремих факторів на кінцевий результат</li> </ul> |
| <b>Багатофакторна регресія</b>   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- комплексне вивчення факторів;</li> <li>- врахування впливу кожного з факторів, що внесені в модель</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- необхідність великого масиву вхідних даних;</li> <li>- складність практичної реалізації</li> </ul>  |
| <b>Сценарний підхід</b>  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- передбачення декількох імовірних варіантів розвитку подій;</li> <li>- комплексний підхід до аналізу</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- потребує наявності значного масиву вхідної інформації;</li> <li>- відносно невелика точність прогнозу</li> </ul>                                    |

| Експертне оцінювання  |  |
|---|--|
| - досвід експертів та обізнаність в галузевій специфіці;<br>- можливість використання методу за умов недостатності даних для аналізу на основі апріорної інформації | - суб'єктивність поглядів на ситуацію;<br>- складно сформувати групу експертів |

Зважаючи на вищенаведені переваги та недоліки методів, для прогнозування енергоспоживання необхідно обґрунтувати їх комплексне використання з метою поєднання їх позитивних рис.

Переваги методу екстраполяції трендів стосовно інших підходів обумовлені тим, що енергопостачальні підприємства володіють всіма необхідними даними для аналізу попиту на власному ринку, і його реалізація не потребує значних витрат ресурсів (часу на збирання та обробку інформації і, відповідно, фінансових коштів). Цей метод є універсальним, оскільки енергопостачальні компанії спроможні використовувати його незалежно від типу регіону, структури виробництва продукції, специфіки діяльності промислових підприємств та інших споживачів. Крім того, його використання дозволяє визначити тенденцію розвитку попиту на електроенергію на роздрібному ринку, що є необхідним елементом стратегічного управління енергокомпанією. У разі використання методу екстраполяції трендів необхідно передбачати принаймні три варіанти розвитку попиту: оптимістичний, тривіальний та песимістичний. В першому варіанті припускають, що непрогнозовані фактори в майбутньому позитивно впливатимуть на цільовий показник, стимулюючи його розвиток. Тривіальний розвиток подій передбачає відсутність або несуттєвість впливу таких факторів. За песимістичного варіанту, припускають формування несприятливої ринкової кон'юнктури, що погіршує сформовану тенденцію.

За отриманими трьома моделями розраховуємо прогнозні величини попиту на визначений термін й межі допустимих відхилень:

$$\begin{cases} P_{TP}^W \in [P_{TP}^W - \Delta_{TP}; P_{TP}^W + \Delta_{TP}]; \\ P_{OIT}^W \in [P_{OIT}^W - \Delta_{OIT}; P_{OIT}^W + \Delta_{OIT}]; \\ P_{PEC}^W \in [P_{PEC}^W - \Delta_{PEC}; P_{PEC}^W + \Delta_{PEC}]; \end{cases} \quad (1)$$

де  $P_{TP}^W$ ,  $P_{OIT}^W$ ,  $P_{PEC}^W$  - розраховані за моделями річні прогнозні значення попиту відповідно для тривіального, оптимістичного та песимістичного розвитку подій;  $\Delta_{TP}$ ,  $\Delta_{OIT}$ ,  $\Delta_{PEC}$  - допустимі відхилення від прогнозного значення.

**Висновок.** Для проведення ґрунтового аналізу та розроблення виважених прогнозів, застосування якогось одного з підходів не завжди є достатнім, оскільки аналіз може виявитись однобоким, а ступінь ризику недостовірності прогнозів підвищується. Тому, на цьому етапі прогнозування має бути проведена експертна оцінка ймовірностей розвитку попиту на електроенергію за вказаними трьома сценаріями. Використання факторного методу потребує від енергокомпанії чіткого визначення та класифікації ринкових чинників, які впливають на рівень та характер енергоспоживання. З позиції системного підходу доцільно здійснити їх ранжування.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Черненко П. О., Мартинюк О. В., Мірошник В. О. Багатофакторне моделювання та аналіз електричного навантаження енергосистеми за даними довготривалої передісторії. Технічна електродинаміка. 2018. №1. С. 87–93.

2. Кудрін Б. І. Методика забезпечення погодинного прогнозування електроспоживання підприємств з урахуванням погодинних факторів [Текст] / Б. І. Кудрін, А. В. Мозгалін // Вісник МЕІ. 2017. № 2. С. 105 – 108.



ПЕРСПЕКТИВА ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ  
У ВІТЧИЗНЯНОМУ АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Попадченко С. А., магістр, ст. викладач, e-mail: [svanp111@ukr.net](mailto:svanp111@ukr.net)

Дудніков С. М., к.т.н., доц., e-mail: [dydnikov@btu.kharkov.ua](mailto:dydnikov@btu.kharkov.ua)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** На часі пошук джерел енергії, яких недостатньо для паливно-енергетичного комплексу, особливо для ТЕЦ. Здійснити прорив у розвитку ефективного сільськогосподарського виробництва агропромислового комплексу, з впровадженням нових технологій, комп'ютеризації – задача надскладна, яка потребує розробки та впровадження систем безперебійного електропостачання, до складу яких входять системи автономного електропостачання, виконані з використанням як традиційних, так і відновлюваних джерел електроенергії (ВДЕ). Такі системи повинні мати вводи від зовнішніх електричних мереж та бути мобільними.

**Мета досліджень.** Здійснити аналіз перспективи впровадження відновлювальних джерел енергії у вітчизняному аграрному виробництві для прогресивного розвитку галузі.

**Основні матеріали досліджень.** Одним із напрямків, що сприяють зростанню ефективності сільськогосподарського виробництва, є розробка та впровадження систем безперебійного електропостачання, до складу яких входять системи автономного електропостачання, виконані з використанням як традиційних, так і відновлюваних джерел електроенергії. Тому всі пошуки направлені на можливість першочергового впровадження енергозберігаючих технологій та відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), що пов'язано з одного боку, з низьким рівнем впровадження ресурсозберігаючих технологій у сільськогосподарській діяльності, а з іншого – їх соціально значущою роллю

Якщо порівняти всі галузі за екологічними, економічними критеріями та показниками безпеки, то можна дійти до висновку, що найбільш перспективною з них є сонячна енергетика [1]. Для перетворення сонячної енергії на теплову, в активних сонячних енергії системах, використовується механічне та електричне обладнання - теплові колектори, фотоелементи, насоси та вентилятори. Механічного обладнання немає в пасивних сонячних системах, тому для перетворення сонячної енергії в теплову енергію використовуються вікна, стіни, дерева, сама орієнтація будівлі та інші ні методи спрямування та захоплення сонячного світла та тепла.

Так як сонячне випромінювання нестабільне, то через такий переривчастий характер відновлюваної енергії єдине відновлюване джерело енергії має тенденцію бути проблематичним з точки зору виходу енергії та експлуатаційних витрат. Тому необхідно два або більше відновлюваних джерел енергії об'єднувати в гібридну систему відновлюваних джерел енергії. Основна мета здійснити це – покращити виробництво електроенергії, мінімізувати витрати, зменшити негативні ефекти, пов'язані зі спалюванням викопного палива, якого відчувається велика нестача та підвищити загальну ефективність системи енергопостачання [3]. Для масового впровадження ВДЕ при енергопостачанні сільських об'єктів велике значення має досвід закордонних країн. У всіх державах, активно розвивають технології на основі ВДЕ (особливо в країнах ЄС), прийнято повноцінну нормативно-правова база, що забезпечує їхню державну підтримку.

Досвід Європейських країн та США:

- державні програми створення пілотних демонстраційних установок;
- податкові знижки та субсидії на процентну ставку при купівлі в кредит та в лізинг;
- здійснюється постійна підтримка НДДКР, регіональних та міжнародних проектів, розробка стандартів з інженерних питань, безпеки, сертифікації та гарантіям;
- навчання та стажування фахівців усіх рівнів у рамках освіти з відновлюваної енергетики;

- залучається приватний капітал через субсидії, спеціальні ціни на електроенергію, помірні ставки амортизаційних відрахувань, створення спеціальних фондів на розвиток чистої енергетики;
- законодавчо стимулюються підприємства промисловості у розширенні виробництва енергетичного обладнання, використанні нових технологій та створення нових робочих місць;
- стимулюється розвиток ринку сонячної електрики. Наприклад, при будівництві будівлі у вартість його має бути включена вартість сонячних енергоустановок;
- активно обговорюється питання про включення соціальних витрат у вартість енергії [2].

Вітрова та сонячна енергетика можуть планомірно інтегруватися в електроенергетичну систему за допомогою відповідних стратегій інтеграції, у тому числі: надання сонячними та вітровими електростанціями системних послуг з внесенням відповідних змін в нормативній базі; застосування об'єктів ВДЕ генерації у тих районах, де вони найпотрібніші, ближче до місць найвищого попиту; взаємне доповнення сонячної та вітрової генерації, паралельний розвиток гідроенергетики (в гірських районах); підвищення частки власного (локального) споживання енергії, виробленої дома, завдяки використанню комплексу рішень, таких як комбінація сонячних електростанцій з накопичувачами енергії та використання механізмів з управління попитом; пристосування та покращення конструкцій вітрових та сонячних установок для полегшення їхньої інтеграції в мережу; комплексне планування, моніторинг та контроль. Сонячні установки знаходять застосування в системах опалення та охолодження житлових та громадських будівель, технологічних процесах, що протікають при низьких, середніх та високих температурах. Вони можуть широко використовуватися для отримання гарячої води, сушіння різних матеріалів госппродуктів, вирощування у теплицях сільськогосподарських культур, отримання біогазу тощо. Слід зазначити, що існують різні конструкції геліотеплиць із ґрунтовим акумулятором; з автономним енергозабезпеченням; геліотеплиці із замкнутим вологообігом; з біоакумулятором тепла; блокові (плівкові, скляні), ангарні, малогабаритні, підземні та ін. Вартість різних технологій генерації та електроенергія, що виробляється ними, динамічно змінюються. Отже, оптимальна структура генерації також змінюється з часом, що потребує регулярного коригування стратегій.

**Висновок.** Для того, щоб впровадження відновлювальних джерел енергії у вітчизняному аграрному виробництві було ефективним на шляху до конкурентоспроможного аграрного виробництва необхідно:

- використовувати міжнародний досвід для гармонізації національних та міжнародних енергетичних стандартів;
- використовувати сучасні технології для ефективного виробництва сонячної та вітрової енергії;
- поліпшити умови модернізації енергетичних систем, які використовують генерацію на основі сонячної та вітрової енергії;
- розробити посібник для потенційних інвесторів в об'єкти поновлюваної енергетики;
- підготувати національні кадри для інтеграції сонячної та вітрової генерації у енергетичні системи.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Григораш О. В. Возобновляемые источники энергии: состояние и перспективы / О. В. Григораш Ю. Г. Пугачев, Д. В. Военцов // Механизация и электрификация с.х. 2007. № 8.
2. Елистратов В. В. Опыт внедрения ВИЭ в мире и россии / В. В. Елистратов// Академия энергетики. 2009. №2(28). С.56-66.
3. Попадченко С. А. Гібридні електричні мережі – необхідність та перспективи розвитку в Україні/ С. А. Попадченко // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка - Випуск 186 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України.». Харків: ХНТУСГ, 2017.С.39-44.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СВІТЛОДІОДНИХ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ

Походенко Н. А., магістр, e-mail: [nikita.pokhodenko@kname.edu.ua](mailto:nikita.pokhodenko@kname.edu.ua)

Герасименко В. А., к.т.н., e-mail: [vitaliy.gerasimenko@kname.edu.ua](mailto:vitaliy.gerasimenko@kname.edu.ua)

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Сучасне освітлення вже давно перейшло від традиційних ламп на користь світлодіодним системам освітлення, і це не випадково. Світлодіоди стали надійним і надзвичайно ефективним джерелом світла, яке вже давно вийшло за межі звичайного джерела освітлення

і стало неодмінною частиною сучасних технологій і дизайну. Проте, навіть у світлодіодних системах освітлення є потенціал для подальшого підвищення енергетичної ефективності.

Важливо зазначити, що підвищення енергетичної ефективності світлодіодних систем освітлення вкрай актуально в умовах зростаючого споживання електроенергії та загрози зміни клімату. Освітлення є одним із основних витрат енергії в будівлях та громадських приміщеннях, і світлодіоди можуть допомогти зменшити це споживання.

Актуальність роботи полягає в дослідженні та підвищенні енергетичної ефективності світлодіодних систем освітлення.

Метою даної роботи є підвищення енергоефективності електротехнічних систем освітлення за рахунок впровадження систем автоматизованого управління освітленням та алгоритмів енергоефективного управління. Робота має на меті підкреслити важливість оптимізації енергетичних параметрів у освітленні і запропонувати рекомендації для досягнення цієї мети в сучасних умовах.

Аналіз наукових публікацій і технічних рішень в даній області показав, що в даний час використовується кілька підходів до підвищення енергетичної ефективності світлодіодних систем освітлення. До основних енергозберігаючих заходів можна віднести:

1. Вибір якісних світлодіодних джерел світла. Якісні світлодіоди мають високу світлову видачу та довгий термін служби, що дозволяє значно скоротити витрати на заміну та обслуговування.
2. Оптиміальне проектування освітлення. Проектування систем освітлення грає важливу роль у підвищенні їх енергоефективності. Це включає в себе вибір правильної потужності світлодіодів, їх розташування, кут розсіювання світла, а також врахування особливостей приміщення та завдань освітлення. Оптиміальне проектування дозволяє зменшити витрати енергії, забезпечуючи при цьому необхідний рівень освітлення.
3. Використання сучасних систем управління, таких як датчики руху та світла, дозволяє автоматично регулювати інтенсивність освітлення в залежності від потреб, зменшуючи витрати енергії у періоди неактивності або при денному світлі.
4. Використання диммерів, що дозволяє користувачам регулювати яскравість освітлення за потреби, що також сприяє зменшенню споживаної енергії.
5. Правильний добір кольорової температури світла, що впливає на комфорт і продуктивність в приміщенні. Для різних ситуацій необхідно вибирати відповідну температуру світла, наприклад, тепле біле світло підходить для житлових приміщень, тоді як холодне біле світло може бути кращим вибором для офісів.
6. Регулярне обслуговування та очищення. Підтримка світлодіодних систем освітлення в чистоті та робочому стані допомагає забезпечити їх ефективну роботу протягом тривалого періоду.
7. Використання рециклінгу та відновлюваних матеріалів. Виробництво світлодіодів може бути енергоємним процесом, тому важливо сприяти використанню

рецикльованих матеріалів та відновлюваних джерел енергії для зменшення негативного впливу на довкілля.

Один із ключових напрямків підвищення енергоефективності світлодіодних систем освітлення є використання сучасних систем управління освітленням. Цей підхід дозволяє знизити споживану енергію, забезпечуючи при цьому необхідний рівень освітлення і комфорт для користувачів. Важливою частиною сучасних систем управління освітленням є наступні аспекти:

- застосування датчиків руху, що встановлюються в приміщеннях та реагують на рух людей. Коли вони виявляють відсутність руху, система автоматично зменшує яскравість світла або вимикає його повністю. Це особливо ефективно в приміщеннях, де люди не постійно перебувають, таких як коридори, сховища тощо;
- застосування датчиків світла, що вимірюють рівень природного світла в приміщенні та регулюють інтенсивність світлодіодного освітлення відповідно до потреб, наприклад, коли на вулиці світло, система може автоматично зменшувати яскравість освітлення для економії електричної енергії;
- застосування систем зонування, що дозволяє регулювати світло окремих ділянок приміщення незалежно одна від одної, наприклад, у великому офісі можна зменшити освітлення в тих зонах, де немає працюючих працівників, зберігаючи при цьому яскравість світла в активних робочих зонах;
- застосування інтелектуальних систем управління. Сучасні системи управління освітленням можуть бути інтегровані в інші SMART-системи будівель, такі як системи керування опаленням та кондиціонуванням повітря, що дозволяє забезпечити синхронізовану роботу всіх систем для максимальної ефективності та комфорту;
- застосування часових програм. Системи управління освітленням можуть бути налаштовані для автоматичного включення та вимикання світла в певний час доби, наприклад, вночі світлодіоди можуть бути вимкнуті або працювати на мінімальному рівні, щоб зекономити енергію.

Використання сучасних систем управління освітленням дозволяє знизити споживану енергію, зменшити витрати на оплату електроенергії та подовжити термін служби світлодіодів. Такий підхід також відповідає екологічним вимогам та допомагає зменшити викиди вибухонебезпечних газів та інших шкідливих речовин в атмосферу. В результаті, системи управління освітленням є ефективним і стало популярним рішенням для організацій та побутових користувачів, які прагнуть знизити свої витрати на енергію та покращити якість освітлення.

Загалом, підвищення енергоефективності світлодіодних систем освітлення вимагає комплексного підходу, включаючи вибір якісних компонентів, правильне проектування, використання сучасних систем управління та дотримання екологічних стандартів. Інвестування у енергоефективне освітлення може привести до значних економічних і екологічних переваг для споживачів та суспільства в цілому.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Іоффе К. І., Черкашина О. Л. Конспект лекцій з дисципліни «Системи керування світлотехнічними пристроями». Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова 2018. 56 с.
2. Бомчик О. С., Парамуд Я. С. Комп'ютерна система управління багатоканальними освітлювальними пристроями. Львів.: 2018 24 с.
3. Термін служби світлодіодних світильників: рекомендації щодо тестування. // Сучасна світлотехніка. 2010. Т.1, №6.
4. Held, Gilbert. Introduction to Light Emitting Diode Technology and Applications. Boca Raton: CRC, 2009. Print.

## АНАЛІЗ ЯКОСТІ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ

Прудніков Д. К., магістр, e-mail: [faraon2302@ukr.net](mailto:faraon2302@ukr.net)Трунова І. М., канд. техн., доцент, e-mail: [trunova\\_iryana@btu.kharkov.ua](mailto:trunova_iryana@btu.kharkov.ua)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Філософія управління якістю у всіх сферах виробництва продукції та надання послуг Total Quality Management, що виникла у світі внаслідок прагнення підвищення ефективності діяльності підприємств передбачає створення системи управління якістю, яка має постійно працювати для постійного поліпшення якості. В Україні також почалося впровадження цієї системи, яка розповсюджується і на розподільні мережі [1]. Тому аналіз якості технічної експлуатації систем електропостачання, що є однією зі складових системи управління якістю, є актуальним.

**Метою досліджень** є виявлення складових управління якістю технічної експлуатації розподільних мереж для підвищення їх надійності та якості електричної енергії.

**Основні матеріали досліджень.** Технічний стан розподільних мереж за декілька років до війни був не досить задовільним. Про це згадувалося в довідкових матеріалах до проекту «Енергетична стратегія України до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»» [2]. За цими даними станом на той час в Україні середній термін експлуатації розподільних мереж складав понад 40 років, досягаючи до 80% рівня зносу.

Однак, після того, як більшість Операторів систем розподілу (ОСР) приєдналися до системи стимулюючого тарифоутворення, в розподільних мережах з'явилися позитивні зміни - розроблялися Плани розвитку систем розподілу, обґрунтовувалися Інвестиційні програми на основі обліку та аналізу технічного стану розподільних мереж та поступово технічний стан розподільних мереж мав покращуватися згідно з цими Планами розвитку, які складаються на 5 років. На рисунку 1 показаний для прикладу фрагмент Інвестиційної програми АТ «Полтаваобленерго» на 2021 рік [3], де бачимо, як планувалося покращувати технічний стан об'єктів розподільних мереж завдяки виконанню інвестиційних планів.

|  | B                 | C   | D  | E  | F |
|--|-------------------|---|--|--|---|
| <b>4. Узагальнений технічний стан об'єктів електричних мереж</b> |                   |   |  |  |   |
| Назва обладнання та<br>класифікація *                            | Одиниця<br>виміру | Технічний стан на<br>початок прогнозного<br>періоду | Обсяги<br>запланованих робіт<br>на прогнозований<br>період | Прогнозований технічний<br>стан на кінець прогнозного<br>періоду з урахуванням<br>обсягів запланованих робіт |   |
| 2  | 3                 | 4   |  | 6  |   |
| <b>ПЛ-6 (10) кВ, усього</b>                                      |                   | <b>13 379,24</b>                                    |  | <b>13 317,84</b>   |   |
| у доброму стані  |                   | 5 164,70  |  | 4 103,75   |   |
| підлягає реконструкції   | км                | 26,58   |  | 26,58  |   |
| підлягає капітальному ремонту                                    | (по трасі)        | 7 980,36  |  | 8 974,97   |   |
| підлягає повній заміні   |                   | 122,45  |  | 124,43   |   |
| виведено з експлуатації  |                   | 85,15   |  | 88,11  |   |
| <b>ПЛ-0,4 кВ, усього</b>   |                   | <b>20 656,86</b>                                    | <b>42,71</b>   | <b>20 656,86</b>   |   |
| у доброму стані  |                   | 9 198,53  |  | 9 241,24   |   |
| підлягає реконструкції   | км                | 1 055,78  | 42,71  | 1 013,07   |   |
| підлягає капітальному ремонту                                    | (по трасі)        | 10 201,14   |  | 10 201,14  |   |
| підлягає повній заміні   |                   | 100,01  |  | 100,01   |   |
| виведено з експлуатації  |                   | 101,40  |  | 101,40   |   |
| <b>ТП, РП-6 (10) кВ, усього</b>                                  |                   | <b>9 988</b>  |  | <b>10 014</b>  |   |
| у доброму стані  |                   | 6 292   | 26   | 6 352  |   |
| підлягає реконструкції   | шт.               | 321   | 26   | 295  |   |
| підлягає капітальному ремонту                                    |                   | 3 367   |  | 3 367  |   |
| підлягає повній заміні   |                   | 8   | 8  |  |   |

Рисунок 1 – Фрагмент Інвестиційної програми АТ «Полтаваобленерго» на 2021 рік [3]

Війна внесла свої корективи до статистики технічного стану розподільних мереж електропостачання. Внаслідок ракетних обстрілів енергетичної інфраструктури було пошкоджено дуже багато об'єктів розподільних мереж, особливо у північних, східних та південних регіонах. При цьому, електротехнічний персонал героїчно, дуже часто в небезпечних умовах загрози нових обстрілів та замінування територій, намагається

своєчасно проводити ремонти та технічне обслуговування обладнання розподільних мереж та відновлювати електропостачання в найкоротші строки.

Відповідно ринковим реформам в електроенергетиці, в Україні на сьогодні чинна оновлена Енергетична стратегія до 2050 року [4], ключовими принципами якої є економічна обґрунтованість, екологічність, доступність, соціальна справедливість та ринковість. Вона передбачає, крім інших пунктів, також і відновлення та модернізацію енергетичної інфраструктури, що має виконуватися, насамперед, експлуатаційними службами ОСР і, незважаючи на складні обставини, необхідний і аналіз якості технічної експлуатації обладнання.

Для аналізу якості технічної експлуатації розподільних мереж можна використовувати елементи SWOT-аналізу. Наприклад, використовуючи окремі положення акту здійснення заходу з Державного енергетичного нагляду, зокрема, ті, що стосуються контролю технічного стану розподільних мереж [5]. Наприклад, внутрішніми факторами середовища функціонування служб технічної експлуатації ОСР можуть бути питання з організації технічної експлуатації (чи дотримується порядок планування виведення з роботи обладнання системи розподілу та користувачів згідно з Кодексом систем розподілу; чи затверджений у встановленому порядку і чи виконується в повному обсязі у встановлені терміни план-графік роботи з персоналом, що забезпечує оперативно-експлуатаційне обслуговування об'єктів електроенергетики тощо); та питання щодо технічного стану електрообладнання та мереж (чи виконані відповідно до методичних вказівок і чи відповідають фактичному технічному стану об'єктів фактичні розрахунки комплексної якісної та кількісної оцінки технічного стану об'єктів електричних мереж; чи здійснюються за багаторічними та річними графіками, за результатами оглядів, випробувань та вимірювань технічне обслуговування, поточний та капітальний ремонт об'єктів електричних мереж тощо).

До зовнішніх факторів середовища функціонування служб технічної експлуатації ОСР можна віднести фінансування (на основі аналізу звітів щодо виконання інвестиційних програм); кваліфікований персонал (адекватна заробітна плата, якісне підвищення кваліфікації, наявність молодих спеціалістів, наявність працівників передпенсійного віку тощо); якість аналізу технічного стану розподільних мереж (наявність нормативно-правової бази, забезпечення комп'ютерними програмами тощо); потенціал інноваційного розвитку (впровадження нових технологій, взаємозв'язок з науковими установами та вишами).

**Висновок.** Аналіз якості технічної експлуатації за внутрішніми та зовнішніми факторами дозволить отримати інформацію щодо шляхів її підвищення для забезпечення надійного електропостачання споживачів якісною електричною енергією, тобто підвищити якість електропостачання споживачів.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Трунова І. М. Якість електропостачання підприємств АПК: навчальний посібник / І. М. Трунова, О. О. Мірошник, В. Г. Пазій Харків: ФОП Панов А. М., 2019. 204 с.
2. Енергетична стратегія України до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p#Text> (дата звернення: 1.10.2023).
3. Інвестиційні програми. Офіційний сайт АТ «Полтаваобленерго». [Електронний ресурс]. URL: <https://www.poe.pl.ua/tech/invest/> (дата звернення 10.10.2023).
4. Енергетична стратегія до 2050 року. Офіційний сайт Міненерго України. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.mev.gov.ua/reforma/enerhetychna-stratehiya> (дата звернення 14.10.2023).
5. Наказ Міненерго України № 600 від 17.09.2020 року. Офіційний сайт ВР «Законодавство України» [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1127-20#Text> (дата звернення 15.10.2023).

## РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК

Рибалка К. А., магістр, [rybalka1945@gmail.com](mailto:rybalka1945@gmail.com)

Тільний Д. С., магістр, [deniska.telnoy@gmail.com](mailto:deniska.telnoy@gmail.com)

Середа А. І., канд. техн., доцент, [ais66@btu.kharkov.ua](mailto:ais66@btu.kharkov.ua)

Дудніков С. М., канд. техн., доцент, [dydnikov@btu.kharkov.ua](mailto:dydnikov@btu.kharkov.ua)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Вимоги до якості електроенергії передбачають необхідність підтримки заданого рівня реактивної потужності загалом підприємству з допомогою конденсаторних установок, розміщених у різних вузлах схеми електропостачання [1]. При цьому основною вимогою до регульованої частини таких установок є досягнення мінімуму перетікання реактивної потужності між вузлами схеми електропостачання з метою зниження втрат електроенергії та підтримки необхідного рівня напруги у споживачів.

Тому до складу пристроїв для автоматичного регулювання потужності конденсаторних установок включають блоки вимірювання реактивної потужності із задатчиком потужності та виконавчі блоки на виході, які керують включенням або вимкненням секцій конденсаторних установок. Однак у процесі роботи не враховується реальний розподіл реактивних навантажень по вузлах схеми електропостачання, що призводить до перетікань реактивної потужності та збільшення втрат електроенергії.

Крім того, послідовність підключення або відключення секцій конденсаторних батарей в установках в процесі регулювання залишається постійною і визначається параметрами виконавчого блоку на виході. Внаслідок цього відбувається перерозподіл реактивної потужності між вузлами схеми електропостачання, що веде до додаткових втрат електроенергії, що знижує ефективність застосування конденсаторних установок.

**Метою досліджень** є підвищення економічності роботи електричної мережі шляхом зменшення втрат від перетікань реактивної потужності між вузлами схеми електропостачання пропонується визначати вузол з мінімальним або максимальним споживанням реактивної потужності щодо заданого значення та проводити відключення або підключення необхідного числа батарей секцій відповідних конденсаторних установок.

**Основні матеріали досліджень.** Пристрій для автоматичного регулювання потужності конденсаторних установок містить блок вимірювання реактивної потужності з датчиком потужності, до якого підведена напруга мережі  $U$  і сумарний струм  $I_{\Sigma}$ , вихід якого підключений до елемента витримки часу, що має два виходи, один з яких підключений до об'єднаних входів схем збігу каналу відключення секцій батарей конденсаторних установок, а інший – до об'єднаних входів схем збігу каналу включення секцій батарей конденсаторних установок. Інші входи схем збігу з'єднані з виходами нуль-органів.

Об'єднані перші входи першої групи до нуль-органів підключені одного виходу блоку вибору екстремального струму, інший вхід якого підключений до перших об'єднаних входів іншої групи до нуль-органів. Другі входи нуль-органів, з'єднані попарно і які стосуються каналу управління однією і тією ж установкою, а також виходи узгоджувальних блоків підключені до входів блоку вибору екстремального струму відповідно.

На вхід кожного узгоджувального блоку підведена напруга  $U$  та повний струм  $I_1, I_2, \dots, I_K$  відповідного вузла. Виходи схем збігу, що відносяться до каналу управління однієї і тієї ж установки через лінії зв'язку підключені до відповідних виконавчих блоків, які управляють включенням і відключенням секцій батарей конденсаторних установок.

Пристрій автоматичного регулювання потужності конденсаторних установок працює наступним чином. Блок вимірювання здійснює перетворення вхідної напруги  $U$  та сумарного струму  $I_{\Sigma}$  всіх вузлів електричної мережі підприємства в аналоговий сигнал, пропорційний фактичній реактивній потужності  $Q_{\Phi}$ , що споживається навантаженням підприємства.

Даний сигнал надходить на вхід за датчика реактивної потужності  $Q_{zd}$ , де порівнюється з опорною напругою, пропорційною  $Q_{zd}$ . Різниця ( $Q_{\phi} - Q_{zd}$ ) як сигналу неузгодженості надходить на вхід елемента витримки часу. У випадку, коли сигнал неузгодженості не перевищує заданих меж (зону нечутливості), пристрій знаходиться в режимі очікування, що відповідає найбільш ефективному використанню конденсаторних установок. При негативному сигналі неузгодженості, що перевищує (за абсолютною величиною) зону нечутливості в негативній області протягом заданого інтервалу часу  $t$ , після часу  $t$  на першому виході елемента витримки часу з'являється логічний сигнал високого рівня.

Це відповідає випадку, коли зменшується споживання реактивної потужності з мережі щодо заданого значення, що вимагає відключення секцій конденсаторних установок. Причому відключення секцій відбувається у тому вузлі, у якому втрати споживаного струму мають мінімальне значення. При позитивному сигналі неузгодженості, що перевищує зону нечутливості в позитивній області протягом інтервалу часу  $t$ , після часу  $t$  логічний сигнал високого рівня з'являється на другому виході елемента витримки часу.

Це відповідає збільшенню споживання реактивної потужності мережі відносно заданого значення і потрібно включення секцій конденсаторних установок на тому вузлі, де в 87 момент викликаються максимальні втрати від споживання реактивного струму. Визначення вузла, у якому необхідне включення чи відключення секції батарей конденсаторної установки, відбувається в такий спосіб. На виході узгоджувальних блоків, підключених до трансформаторів струму відповідного вузла, є сигнали у вигляді постійної напруги позитивної полярності, пропорційні споживаному реактивному струму вузла і приведені до загального базису за допомогою масштабних дільників, що враховують величину активного опору ліній живлення. Це дозволяє правильно враховувати розподіл реактивних навантажень у схемі електропостачання та їх впливом геть втрати електроенергії. Сигнали узгоджувальних блоків надходять на вхід блоку вибору екстремального струму та контрольні входи відповідних нуль-органів. Зазначені попарно нуль-органи відносяться до каналу управління однією і тією установкою. У блоці вибору екстремального струму відбувається виділення максимального і мінімального набору сигналів, що надходять на його вхід. Причому максимальний сигнал є опорним для нуль-органів каналу вмикання, а мінімальний сигнал - опорним для нуль-органів каналу відключення. В результаті порівняння сигналів нуль-органом, що спрацював, в каналі відключення буде той, який відповідає конденсаторній установці, розміщеній у вузлі з мінімальними втратами від споживаного реактивного струму, а в каналі включення - той, який відповідає установці, розміщеній у вузлі з максимальними втратами від споживаного реактивного струму. Сигнали на включення або відключення секцій установок залежно від сумарної реактивної потужності, що споживається формуються на виходах схем збігу каналу відключення і каналу включення і надходять на виконавчі блоки відповідних конденсаторних установок. Сигнал на виході схеми збігу з'являється лише тоді, коли на його обох входах є високий логічний рівень.

**Висновок.** Розглянуті метод і пристрій здійснюють автоматичне регулювання потужності конденсаторних установок в залежності від заданої в цілому по підприємству споживаної реактивної потужності з урахуванням розподілу навантажень по вузлах схеми електропостачання, що дозволяє не тільки знизити втрати електроенергії в мережі живлення, але і зменшити втрати реактивної потужності в мережі підприємства. Розрахунки показують, що регулювання потужності конденсаторних установок у вузлах схеми електропостачання призводить до зменшення втрат електроенергії на 5%..

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кудрін Б. І. Електропостачання промислових підприємств: підручник для студентів вищих. навч. закладів. М.: Інтернет Інжиніринг, 2006. 672 с.
2. Практичний посібник щодо вибору та розробки енергозберігаючих технологій / за заг. ред. О. Л. Данилова, П.А. Костюченко. М.: Технопромбуд, 2006. 668 с.



## ANALYSIS AND JUSTIFICATION OF THE NEED FOR THE DEVELOPMENT OF LOCAL ELECTRICITY SUPPLY SYSTEMS IN UKRAINE

Mykhailo Syvenko<sup>1</sup>, postgraduate, e-mail: [michael.syvenko@btu.kharkov.ua](mailto:michael.syvenko@btu.kharkov.ua)

Oleksandr Miroshnyk<sup>1</sup>, professor, doctor of technical sciences, e-mail: [omiroshnyk@btu.kharkiv.ua](mailto:omiroshnyk@btu.kharkiv.ua)

Mohamed Qawaqzeh<sup>2</sup>, PhD, Associate professor, e-mail: [qawaqzeh@bau.edu.jo](mailto:qawaqzeh@bau.edu.jo)

Serhii Halko<sup>3</sup>, PhD, Associate professor, e-mail: [galkosv@gmail.com](mailto:galkosv@gmail.com)

State Biotechnological University<sup>1</sup>,

Al Balqa Applied University<sup>2</sup>,

Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University<sup>3</sup>

**Relevance of research.** Today, countries are in a state of energy transition to technologies using non-traditional RES, approaching a decentralized energy system using Virtual Power Plant and the principles of rational use of energy resources by introducing Smart Grid. That is, the decentralization of electricity supply processes and the introduction of active local energy systems (ALES) are taking place.

For the operation of an active local electric power system, a local low-voltage distribution network is required, which unites one or more distributed generation facilities, most often using VPP, energy storage, fuel cells, a demand management system that can work in isolation or connect to the central power system [1, 2].

**The purpose of research.** Research and analysis of the development and functioning of local power supply systems, decentralization and introduction of active local energy systems.

**Basic research materials.** To analyze the effectiveness of RES potential, as well as the prospects of their roles in ALES, it is worth considering not only each resource separately, but also conducting a detailed analysis of the characteristics of the level of their provision.

When implementing ALES, preference is given to direct connection to the distribution electric network, or connected to the network from the side of consumers. An important element in the structure is "prosumer" (producer + consumer), or an active consumer - consumers who appeared due to the development of household energy generator technologies, who have the opportunity to become full-fledged market participants [3, 4]. The corresponding scheme is shown in Fig. 1.

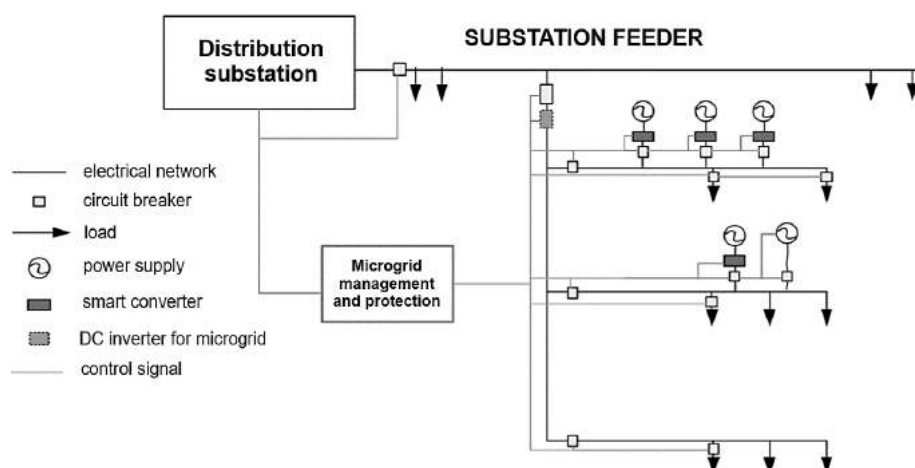


Figure 1 – Scheme of a working active local electrical system

Appropriate analysis can be conducted on the basis of various approaches to such a multi-criteria study. This approach is based on the fundamental provisions of the utility theory, which allows combining different methods of criteria analysis in the process of justifying a decision under conditions of various advantages.

It is possible to use the method based on the integral indicator according to the formula [5]:

$$I_j = \sum_{i=1}^m \left( \frac{\delta_i}{\sum_{j=1}^m \delta_i} \times \sum_{z=1}^n \frac{\delta_{iz}}{\sum_{z=1}^n \delta_{iz}} \times x_{ijz} \right) \quad (1)$$

Where  $x_{ijz}$  is the quantitative standardized estimate of the  $z$ -th local evaluation indicator of the  $i$ -th component of the  $j$ -th object,  $\delta_{iz}$  - is the dispersion (entropy) of the  $z$ -th local evaluation indicator of the  $i$ -th component of the object,  $m$  - is the number of components with which the integral indicator of the object is estimated,  $n$  - is the number of local indicators, with the help of which the  $i$ -th component of the object is evaluated,  $I_j$  - is the integral index of the  $j$ -th object.

The use of the method based on the definition of multiplicity is applied to multicriteria problems that contain a final solution, many possible solutions, and have a large set of criteria to be minimized.

It is possible to reduce multi-criteria problems to single-criteria problems. This approach involves the use of a criterion in the form of a scalar function of a vector argument:

$$q_0(x) = q_0(q_{01}(x), q_2(x), \dots, q_p(x)), \quad (2)$$

where  $q_1(x), q_2(x), \dots, q_p(x)$  are criteria,  $x$  is an alternative from the set  $X$ .

The type of function  $q_0$  depends on the contribution of each individual criterion to the overall one. As a rule, in this case, additive and multiplicative functions of the form are used:

$$q_0 = \sum_{i=1}^p \alpha_i q_i \quad 1 - q_0 = \prod_{i=1}^p (1 - \beta_i q_i), \quad (3)$$

where  $\alpha_i$  and  $\beta_i$  are weighted coefficients.

The main difficulty of this method is the determination of weighting coefficients  $\alpha_i$  or  $\beta_i$ . It is also possible to use the method of successive concessions. This method is based on the postulate that certain criteria are unequal and can be classified in order of importance [5, 6]. First, the important criteria are selected, and the remaining ones are set as restrictions. Under such conditions, an optimization problem is solved for the selected criterion. Then a concession is made on the determined optimum of the first criterion and the second criterion is optimized.

**Conclusion.** The existing power supply systems of local territories differ in essential features, which in most cases do not allow directly using the methodology developed for large power systems to justify their development. ALES are significantly more effective complexes in solving the growing needs for reliability, quality of energy supply and energy and environmental safety. The indisputable advantage of ALES is a significant reduction in energy losses during transportation, efficiency and consumer accessibility to reliable and high-quality energy supply. This is achieved due to the prompt switching of consumers between the general power grid and local energy sources in case of overloads, asymmetries and breakdowns.

#### REFERENCES

1. M. M. Kulik, V. P. Horbulin and O. V. Kirylenko, "Conceptual approaches to the development of the energy industry of Ukraine (analytical materials)," Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2017.
2. O. Miroshnuk, S. Tymchuk, "Uniform distribution of loads in the electric system 0.38/0.22 kV using genetic algorithms," Technical Electrodynamics, 2013, vol. 4, pp. 67-73. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84885913005&partnerID=MN8TOARS>.
3. A. Molderink, V. Bakker, M. G. C. Bosman, J. L. Hurink and G. J. M. Smit, "Management and Control of Domestic Smart Grid Technology," in IEEE Transactions on Smart Grid, 2010, vol. 1, no. 2, pp. 109-119, <https://doi.org/10.1109/TSG.2010.2055904>.
4. Halko S., Suprun O., Miroshnyk O. Influence of temperature on energy performance indicators of hybrid solar panels using cylindrical cogeneration photovoltaic modules. 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2021 – Conference Proceedings. 2021. P. 132-136. <https://10.1109/KhPIWeek53812.2021.9569975>.
5. Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2030 // Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 15.03.06 №145.
6. Bazaluk O., Postnikova M., Halko S., Kvitka S., Mikhailov E., Kovalov O., Suprun O., Miroshnyk O., Nitsenko V. Energy saving in electromechanical grain cleaning systems. Applied Sciences (Switzerland). 2022. Vol. 12(3). P. 1418. <https://doi.org/10.3390/app12031418>

## УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СВІТЛОДІОДІВ

Сидюк І. Ю., магістр, e-mail: [ivan.sydyuk@kname.edu.ua](mailto:ivan.sydyuk@kname.edu.ua)

Герасименко В. А., к.т.н., e-mail: [vitaliy.gerasimenko@kname.edu.ua](mailto:vitaliy.gerasimenko@kname.edu.ua)

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

**Актуальність дослідження.** На початку XXI століття спостерігається стрімкий розвиток світлотехніки, основаної на напівпровідникових джерелах світла. Завдяки своїй економічності, високій світловій ефективності та рекордним ресурсним характеристикам, ці технології за останні десять років суттєво витіснили традиційні джерела світла в різних сферах освітлення, створивши суттєву конкуренцію на ринку світлотехніки. Стає очевидним, що світлодіодна техніка має обіцяне майбутнє. Наразі важливо оцінити якість запропонованої світлотехніки, перспективи її розвитку та шляхи удосконалення, зокрема в автомобільній промисловості.

Актуальність роботи полягає в дослідженні та обґрунтуванні удосконалення складових частин системи освітлення транспортних засобів.

**Метою** даної роботи є удосконалення систем освітлення транспортних засобів з використанням світлодіодів.

**Основні матеріали досліджень.** Розглядаючи головні фактори та суттєві переваги світлодіодних систем освітлення, можна виділити кілька ключових аспектів. По-перше, важливо зазначити значну економію електроенергії, яку можна отримати при заміні ламп розжарювання світлодіодними лампами. Заміна звичайних ламп на світлодіоди може призвести до економії електроенергії до 80%, що є вражаючим показником. Важливим аспектом є і той факт, що технологія виготовлення світлодіодів надзвичайно швидко розвивається.

Потужні світлодіоди, що використовуються для освітлення транспортного засобу, відрізняються від звичайних ламп тим, що вони не перегорають в традиційному розумінні. Замість цього, вони працюють протягом тривалого часу та випромінюють світло з досить малим зниженням світлового потоку. Зниження потоку світла потужного світлодіоду залежить від кількох факторів, а одним із них є температура. Таким чином, контроль і оптимальне керування температурою світлодіоду є важливим аспектом для збереження його тривалого функціонування та максимальної продуктивності.

Освітлення транспортних засобів є важливою складовою їх безпеки та зручності. Світло вносить суттєвий внесок у забезпечення видимості та безпеки на дорозі. Фари з використанням світлодіодів забезпечують більш чітку, яскраву та рівномірну освітленість, що допомагає водіям більш чітко бачити дорожнє покриття, перешкоди та інших учасників руху. Завдяки своїй конструкції, світлодіоди дозволяють розробникам транспортних засобів створювати більш креативні та стильні дизайни освітлення. Із світлодіодами можна легко експериментувати з кольором та формою світла, що дозволяє створювати унікальний зовнішній вигляд для транспортних засобів. Крім того, світлодіоди також дозволяють реалізувати різні функціональні можливості в системі освітлення, такі як автоматичне регулювання яскравості, системи світлосигналізації, адаптивне освітлення та інші інноваційні функції. Системи освітлення транспортних засобів з використанням світлодіодів є справжньою революцією в галузі транспортної безпеки та дизайну. Водії та пасажирки отримують більшу безпеку та комфорт під час подорожей завдяки передовим технологіям освітлення.

Незважаючи на всі переваги світлодіодів, важливо враховувати певні аспекти при їх використанні в транспортних засобах. Зокрема, важливо правильно спроектувати та встановити світлодіоди, щоб уникнути засліплення інших учасників дорожнього руху.

Подальший розвиток технології світлодіодів в системах освітлення транспортних засобів передбачає багато інновацій та можливостей. Серед них:

1. Системи адаптивного освітлення. Розробники можуть вдосконалювати системи освітлення, які автоматично регулюють яскравість та напрямок світла в залежності від умов на дорозі. Такі системи можуть виправляти засліплення водіїв інших транспортних засобів, забезпечуючи максимальну безпеку та комфорт.

2. Системи зв'язку та інтеграції. Світлодіоди можуть використовуватися як ефективний засіб комунікації між водіями та іншими учасниками дорожнього руху. Наприклад, світлодіоди можуть відображати інформацію про режим руху (гальмування, повороти і т. д.) або навіть сповіщати про небезпеку на дорозі.

3. Використання сенсорів і штучного інтелекту. Розумні системи світлодіодного освітлення можуть взаємодіяти з сенсорами та штучним інтелектом для покращення безпеки та зручності. Наприклад, вони можуть виявляти небезпечні ситуації та реагувати на них автоматично, зменшуючи ризик аварій.

4. Зелене освітлення. Для зменшення впливу на навколишнє середовище можна розробляти більше енергоефективних світлодіодів та систем охолодження. Це сприятиме зменшенню споживання енергії та викидів в атмосферу, сприяючи сталому розвитку.

Однією з передових систем є технологія системи адаптивного освітлення, що передбачає розробку систем освітлення, які здатні автоматично реагувати на зміни дорожніх умов і водійських дій для максимальної ефективності та безпеки. Ключовими аспектами цієї системи є: системи слідкування (вбудовані камери та сенсори слідкують за дорожніми умовами, швидкістю руху, погодою та іншими параметрами; наприклад, система може реагувати на атмосферні опади і збільшувати яскравість фар для кращої видимості в дощову погоду), автоматичне регулювання кута світла (світлодіодні фари можуть бути обладнані рухомими лінзами або системами налаштування кута світла; це дозволяє їм реагувати на кут нахилу дороги та рух транспортного засобу), адаптивні світлодіоди (окремі світлодіоди можуть бути вимкнуті або зменшити яскравість, коли їхнє світло не потрібне; наприклад, при русі в місті або великих населених пунктах, система може зменшувати яскравість світла для заощадження енергії).

Світлодіоди вже принесли значний внесок в технологію освітлення транспортних засобів, але майбутні інновації обіцяють ще більше переваг та можливостей. Розробники та виробники постійно працюють над вдосконаленням світлодіодних систем, щоб забезпечити найвищу безпеку, комфорт і ефективність на дорозі.

**Висновок.** Узагальнюючи можна відмітити, що удосконалення систем освітлення транспортних засобів з використанням світлодіодів має багато перспективних напрямків і його результати сприятимуть безпеці, зручності та сталому розвитку транспортної індустрії.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Chen, N. P. Handbook of Light Emitting and Schottky Diode Research. New York: Nova Science, 2009. Print.

2. Cooper, Julian. "Driving LED Lamps – Some Simple Design Guidelines" Ledsmagazine.com. N.p., Aug. 2008. Web. 05 Feb. 2015.

3. Кисликов В. Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. – 6-те вид. – К.: Либідь, 2006. 400 с.

4. Войцицький А. П., Войцицький М. А. Електроніка і мікросхемотехніка: підручник (видання друге, виправлене). Київ. Гельветика, 2018. 300 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЕНТУ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ  
ЗА РІЗНИХ УМОВ РЕЗЕРВУВАННЯ

Сорочан М. М., магістр, e:mail: [niokolya5546@gmail.com](mailto:niokolya5546@gmail.com)

Трунова І. М., к.т.н., доцент, e:mail: [trunova\\_iryana@btu.kharkov.ua](mailto:trunova_iryana@btu.kharkov.ua)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Одним із способів забезпечення надійності об'єкта є структурне резервування (з застосуванням резервних елементів структури об'єкта), яке в період масованих ракетних обстрілів енергетичних об'єктів України набуло особливу важливість. Для визначення ефективності резервування можна використовувати коефіцієнт підвищення надійності, що визначається як відношення ймовірності безвідмовної роботи резервованого об'єкта до ймовірності безвідмовної роботи нерезерованого об'єкта. При цьому слід враховувати економічну можливість використання резервування з різною кратністю, враховувати інтенсивність відмов об'єкта, навантажений резерв або ненавантажений тощо. Тому дослідження коефіцієнту підвищення надійності при різних умовах резервування, зокрема, структурного – є актуальним завданням.

**Метою досліджень** є визначення ефективності резервування з врахуванням кратності резервування, інтенсивності відмов об'єкта та виду резервування.

**Основні матеріали досліджень.** Для дослідження було прийняте припущення про експоненціальний закон розподілу напрацювання досліджуваного технічного об'єкта до відмови. У розрахунках використовувалися відомі аналітичні вирази [1-3] залежності ймовірності безвідмовної роботи технічного об'єкта  $P(t)$  від кратності резерву для випадку ненавантаженого резервування, при цьому, ймовірність безвідмовної роботи нерезерованого об'єкта визначається за експоненціальним розподілом, а для інших кратностей – за виразами на основі цього значення. В таблиці 1 приведені результати визначення коефіцієнту підвищення надійності при різних кратностях резервування ( $m$ ) та різних значення інтенсивності відмов ( $\lambda$ )

Таблиця 1 – Результати розрахунку коефіцієнту підвищення надійності

| $t, \text{ роки}$ | $\lambda=0,9$ | $\lambda=0,7$ | $\lambda=0,5$ | $\lambda=0,3$ | $\lambda=0,1$ |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1                 | 2             | 3             | 4             | 5             | 6             |
| $m=1/3$           |               |               |               |               |               |
| 1                 | 0,459579      | 0,619019      | 0,802127      | 0,975538      | 1,052468      |
| 2                 | 0,095745      | 0,198254      | 0,39198       | 0,70888       | 1,034845      |
| 3                 | 0,017156      | 0,054473      | 0,165821      | 0,459579      | 0,975538      |
| 4                 | 0,002925      | 0,014117      | 0,065826      | 0,280901      | 0,893733      |
| 5                 | 0,00049       | 0,003565      | 0,025293      | 0,165821      | 0,802127      |
| 6                 | 8,13E-05      | 0,000889      | 0,009545      | 0,095745      | 0,70888       |
| 7                 | 1,35E-05      | 0,000221      | 0,003565      | 0,054473      | 0,619019      |
| 8                 | 2,23E-06      | 5,45E-05      | 0,001323      | 0,030679      | 0,535432      |
| 9                 | 3,68E-07      | 1,35E-05      | 0,00049       | 0,017156      | 0,459579      |
| 10                | 6,09E-08      | 3,32E-06      | 0,000181      | 0,009545      | 0,39198       |
| $m=1/2$           |               |               |               |               |               |
| 1                 | 0,889111      | 0,996562      | 1,083833      | 1,124831      | 1,077051      |
| 2                 | 0,441249      | 0,618171      | 0,832968      | 1,044046      | 1,115552      |
| 3                 | 0,192583      | 0,337378      | 0,569816      | 0,889111      | 1,124831      |
| 4                 | 0,080478      | 0,175034      | 0,369375      | 0,722147      | 1,112302      |
| 5                 | 0,03308       | 0,088768      | 0,232779      | 0,569816      | 1,083833      |
| 6                 | 0,013509      | 0,044537      | 0,144404      | 0,441249      | 1,044046      |

Продовження табл.1

| 1            | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 7            | 0,005502 | 0,022229 | 0,088768 | 0,337378 | 0,996562 |
| 8            | 0,002239 | 0,011066 | 0,054276 | 0,255694 | 0,944194 |
| 9            | 0,00091  | 0,005502 | 0,03308  | 0,192583 | 0,889111 |
| 10           | 0,00037  | 0,002734 | 0,020123 | 0,144404 | 0,832968 |
| <i>m=1/l</i> |          |          |          |          |          |
| 1            | 1,59343  | 1,503415 | 1,393469 | 1,259182 | 1,095163 |
| 2            | 1,834701 | 1,753403 | 1,632121 | 1,451188 | 1,181269 |
| 3            | 1,932794 | 1,877544 | 1,77687  | 1,59343  | 1,259182 |
| 4            | 1,972676 | 1,93919  | 1,864665 | 1,698806 | 1,32968  |
| 5            | 1,988891 | 1,969803 | 1,917915 | 1,77687  | 1,393469 |
| 6            | 1,995483 | 1,985004 | 1,950213 | 1,834701 | 1,451188 |
| 7            | 1,998164 | 1,992553 | 1,969803 | 1,877544 | 1,503415 |
| 8            | 1,999253 | 1,996302 | 1,981684 | 1,909282 | 1,550671 |
| 9            | 1,999696 | 1,998164 | 1,988891 | 1,932794 | 1,59343  |
| 10           | 1,999877 | 1,999088 | 1,993262 | 1,950213 | 1,632121 |
| <i>m=2/l</i> |          |          |          |          |          |
| 1            | 1,94559  | 1,756841 | 1,548287 | 1,326357 | 1,104218 |
| 2            | 2,531427 | 2,321019 | 2,031697 | 1,654759 | 1,214128 |
| 3            | 2,8029   | 2,647626 | 2,380397 | 1,94559  | 1,326357 |
| 4            | 2,918775 | 2,821268 | 2,61231  | 2,187135 | 1,438369 |
| 5            | 2,966796 | 2,91032  | 2,760483 | 2,380397 | 1,548287 |
| 6            | 2,986471 | 2,955238 | 2,853118 | 2,531427 | 1,654759 |
| 7            | 2,994494 | 2,977716 | 2,91032  | 2,647626 | 1,756841 |
| 8            | 2,997761 | 2,98892  | 2,945389 | 2,736076 | 1,85391  |
| 9            | 2,999089 | 2,994494 | 2,966796 | 2,8029   | 1,94559  |
| 10           | 2,99963  | 2,997265 | 2,979832 | 2,853118 | 2,031697 |

**Висновок.** Аналіз результатів розрахунків, показав, що для тих видів резервування, де кількість резервних технічних об'єктів менша за кількість основних, коефіцієнт підвищення надійності з часом зменшується (тим більше, чим більше співвідношення резервних та основних технічних об'єктів).

Навпаки, для резервування з кратністю, де кількість резервних технічних об'єктів дорівнює або більша кількості основних технічних об'єктів, коефіцієнт підвищення надійності з часом збільшується та завжди більший за одиницю, однак, при цьому слід враховувати доцільність такої кількості резервних технічних об'єктів залежно від ризиків відмови резервованого технічного об'єкту.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Журахівський А.В. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник / А. В. Журахівський, С. В. Казанський, Ю. П. Матєєнко, О. Р. Пастух. Київ. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. 456 с. Бібліогр. : с. 450-452.
2. Козирський В. В. Методи та моделі розрахунку надійності систем електропостачання: монографія/В. В. Козирський, О. В. Гай. К.: Гнозіс, 2013. 563 с.
3. Азарсков В. М. Надежность систем управления и автоматики. Учебное пособие / Азарсков В. Н., Стрельников В. П. К.: НАУ, 2004. 164с.

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ  
ТЕХНІЧНИМ СЕРВІСОМ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ АПК

Трунова І. М., к.т.н., доцент, e:mail: [trunova\\_iryana@btu.kharkov.ua](mailto:trunova_iryana@btu.kharkov.ua)

Пазій В. Г., ст. викл., e:mail: [pazziy@btu.kharkov.ua](mailto:pazziy@btu.kharkov.ua)

Лотоцький Я. В., магістр, e:mail: [lototskiy999z@gmail.com](mailto:lototskiy999z@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Програмне забезпечення для автоматизації технічного сервісу електрообладнання дозволяє підприємствам працювати більш ефективно, що дає змогу бути конкурентоспроможними в ринковій економіці. При цьому, після початку війни на ринку ІТ продуктів щодо керування підприємствами були вилучені деякі з російським походженням, такі, як, наприклад, 1С та BAS, де був модуль технічного сервісу. Тому аналіз існуючих комп'ютеризованих систем керування технічним сервісом електрообладнання АПК є актуальним питанням.

**Метою досліджень** є підвищення ефективності технічного обслуговування та ремонту електрообладнання АПК, шляхом впровадження комп'ютеризованої системи керування технічним сервісом електрообладнання АПК.

**Основні матеріали досліджень.** Для аналізу особливостей програмного забезпечення керування підприємством було вибрано та проаналізовано найбільш популярні позиції, зокрема, IBM-Maximo [1] та SAP Business One [2]. Основні функції подібного програмного забезпечення це управління виробництвом, закупівлею, запасами, продажами, фінансами, персоналом; моніторинг та аналіз показників діяльності підприємства. Але при дослідженні основна увага приділялася функції організації технічного сервісу.

Наприклад, система IBM Maximo надає наочні візуальні інструменти для контролю, планування та аналізу інформації. На підставі напрацьованих даних можна отримувати інформацію про те, яке обладнання частіше за інших виходить з ладу, які причини частих відмов обладнання і які наслідки це тягне за собою. Система дозволяє розраховувати середній час між відмовами обладнання, коефіцієнт його готовності, виявляти причинно-наслідковий зв'язок між повторюваними дефектами: неякісний ремонт і неякісні запасні частини, неправильна експлуатація, недоцільний вибір міжремонтних інтервалів тощо. Засобами IBM Maximo можна здійснювати аналіз кількості дефектів у технологічних системах і підрозділах з метою з'ясування причин несправностей та розробки стратегії для їх скорочення [1]. Вагомою перевагою даного програмного продукту є його мобільна версія IBM Maximo Mobile, що доступна у Google Play. Однак, для малих сільськогосподарських підприємств це програмне забезпечення може виявитися занадто складним та кошторисним.

Для малого і середнього бізнесу пропонується програмне забезпечення SAP Business One, що також вміщує в себе деякі можливості ERP-систем [2]. Серед основних модулів цього програмного забезпечення є модуль сервісного обслуговування. В цьому модулі є можливість, наприклад, створення договору на обслуговування, можна створити картку обладнання, фіксувати виклики на проведення технічного сервісу, та зробити архів рішень з технічного сервісу. Аналізувати виклики для технічного сервісу можна як в табличному, так і в графічному вигляді. Програмний продукт має розроблені модифікації для конкретної галузі сільського господарства (свинарство, птахофабрика, бджільництво тощо). Однак, аналіз показав, що це програмне забезпечення можна використовувати для прийнятої стратегії технічного сервісу за післявідмовним принципом обслуговуванням з викликом майстра. Можливості планування робіт технічного сервісу, складання плану-графіку робіт з врахуванням рекомендації щодо періодичності цих робіт та підрахунок трудомісткості для обґрунтування необхідної кількості обслуговуючого персоналу в цієї версії програмного забезпечення немає.

Тому можна запропонувати використання електронних таблиць Microsoft Excel для створення відповідних комп'ютерних програм з організації технічного сервісу електрообладнання в АПК.

Наприклад, за відомою методикою [3] можна створити комп'ютерну програму з обґрунтування необхідної чисельності обслуговуючого персоналу на основі рекомендованої періодичності робіт та їх трудомісткості.

Також можна розробити комп'ютерну програму автоматизованої побудови річного (на квартал або на місяць) графіку технічного обслуговування та ремонту обладнання з використанням редактора Visual Basic в Microsoft Excel.

Для прикладу була розроблена програма у редакторі Visual Basic в Microsoft Excel, де можна задавати масив вихідних даних (тобто його можна змінювати, доповнюючи новим електрообладнанням). Можна задавати період часу, на який будується графік.

На рисунку 1 показаний приклад фрагменту результату автоматизованої побудови річного графіку технічного обслуговування та ремонту електродвигунів одного з приміщень малого сільськогосподарського підприємства.

| Технологічний об'єкт                     | Характеристика електрообладнання | Періодичність, міс. |    | Трудомісткість (люд.год) одного |     | Місяці |   |     |   |   |     |   |   |     |    |     |     |
|--|----------------------------------|---------------------|----|---------------------------------|-----|--------|---|-----|---|---|-----|---|---|-----|----|-----|-----|
|  |                                  | ТО                  | ТР | ТО                              | ТР  | 1      | 2 | 3   | 4 | 5 | 6   | 7 | 8 | 9   | 10 | 11  | 12  |
| Доїльна зала, ПП Супруна                 |                                  |                     |    |                                 |     |        |   |     |   |   |     |   |   |     |    |     |     |
| Насос промисловий ВК 1-26                | 4AM71A4CY3 (0,55 кВт)            | 3                   | 24 | 0,3                             | 3,9 |        |   | 0,3 |   |   | 0,3 |   |   | 0,3 |    |     | 3,9 |
| Вакуумна установка УВУ-60-45А            | 4AM112MB6CY3 (4,0 кВт)           | 3                   | 24 | 0,5                             | 5,0 |        |   | 0,5 |   |   | 0,5 |   |   | 0,5 |    |     | 0,5 |
| Молочний насос НМУ-6                     | 4AM80A4CY3 (1,1 кВт)             | 3                   | 24 | 0,4                             | 4,3 |        |   | 0,4 |   |   | 0,4 |   |   | 4,3 |    |     | 0,4 |
| Кормороздавач компл.УДА-8                | 4AM80A4CY3 (1,1 кВт)             | 3                   | 24 | 0,4                             | 4,3 |        |   | 0,4 |   |   | 0,4 |   |   |     |    | 0,4 | 0,4 |
| Вентилятор В-Ф-5,6А                      | 4AM71A4CY3 (1,1 кВт)             | 3                   | 24 | 0,4                             | 4,3 |        |   | 0,4 |   |   | 0,4 |   |   | 4,3 |    |     | 0,4 |
| Вентилятор В-06-300                      | 4AM80A4CY3 (1,1 кВт)             | 3                   | 24 | 0,4                             | 4,3 |        |   | 0,4 |   |   | 0,4 |   |   |     |    | 0,4 | 0,4 |
| Резервуар для молока РМЦ-6               | 4AAM63B4CY3 (0,37 кВт)           | 3                   | 24 | 0,3                             | 3,9 |        |   | 0,3 |   |   | 0,3 |   |   |     |    | 0,3 | 0,3 |
| Ванна для пастеризації ВДП-1000          | 4AM80A4CY3 (1,1 кВт)             | 3                   | 24 | 0,4                             | 4,3 |        |   | 0,4 |   |   | 0,4 |   |   |     |    | 0,4 | 0,4 |
| Насос 36МЦ 6/12                          | 4AM71A4CY3 (1,1 кВт)             | 3                   | 24 | 0,5                             | 4,3 |        |   | 0,5 |   |   | 4,3 |   |   | 0,5 |    |     | 0,5 |
| Насос 36МЦ 10/20                         | 4AM80A4CY3 (1,1 кВт)             | 3                   | 24 | 0,5                             | 4,3 |        |   | 0,5 |   |   | 0,5 |   |   |     |    | 0,5 | 0,5 |
| Холодильна установка МХУ-8С (вентилятор) | 4AM71A4CY3 (1,1 кВт)             | 3                   | 24 | 0,5                             | 4,3 |        |   | 0,5 |   |   | 4,3 |   |   | 0,5 |    |     | 0,5 |
| Холодильна установка МХУ-8С (компресор)  | 4AM112M4CY3 (5,5 кВт)            | 3                   | 24 | 0,6                             | 5,6 |        |   | 0,6 |   |   | 0,6 |   |   | 0,6 |    |     | 0,6 |
| Насос 3К-9А                              | 4AM112MB6CY3 (4,0 кВт)           | 3                   | 24 | 0,5                             | 5,0 |        |   | 0,5 |   |   | 0,5 |   |   |     |    | 0,5 | 0,5 |
| Шнек-бункера БСК-10                      | 4AM71A4CY3 (1,1 кВт)             | 3                   | 24 | 0,4                             | 4,3 |        |   | 0,4 |   |   | 0,4 |   |   |     |    | 0,4 | 0,4 |
| Вентилятор ВЦ-4-75                       | 4AM80A4CY3 (1,1 кВт)             | 3                   | 24 | 0,4                             | 4,3 |        |   | 0,4 |   |   | 0,4 |   |   |     |    | 0,4 | 0,4 |
| Вентилятор ВО-Ф-8,5                      | 4AM132 S4CY3 (7,5 кВт)           | 3                   | 24 | 0,6                             | 5,4 |        |   | 0,6 |   |   | 0,6 |   |   | 0,6 |    |     | 0,6 |

Рисунок 1 - Приклад фрагменту результату автоматизованої побудови річного графіку технічного обслуговування та ремонту електродвигунів одного з приміщень малого сільськогосподарського підприємства

**Висновок.** Проведений аналіз показав, що є багато пропозицій комп'ютеризованих систем керування технічним сервісом, однак не усі вони придатні для керування технічним обслуговуванням та ремонтами електрообладнання малих сільськогосподарських підприємств. Запропоновано з цією метою використання електронних таблиць Microsoft Excel та розроблена у редакторі Visual Basic комп'ютерна програма автоматизованої побудови річного графіку технічного обслуговування та ремонту обладнання, що може бути корисним для комп'ютеризованого керування технічним сервісом електрообладнання АПК.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. IBM Maximo Application Suite. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.ibm.com> (дата звернення: 21.10.2023).
2. SAP Business One. [Електронний ресурс]. URL: <https://sbl.com.ua/> (дата звернення: 21.10.2023).
3. Організація технічної експлуатації електрообладнання підприємств АПК: метод. вказівки до виконання практичних робіт з дисц. «Технічний сервіс електрообладнання АПК» для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочн. форм навч., спец.: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Державн. біотехнолог. ун.-т; упоряд.: І. М. Трунова. Харків: [б. в.], 2022. 36 с.



УДОСКОНАЛЕННЯ ЕНЕРГО-ТЕХНІЧНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЕКСКАВАТОРУ  
CATERPILLARЮсіфов В. К., аспірант, e:mail: [vadim.yusifov.97@gmail.com](mailto:vadim.yusifov.97@gmail.com)Гавриш П. А., д.т.н., проф., e:mail: [nauka.breda@gmail.com](mailto:nauka.breda@gmail.com)

Донбаська державна машинобудівна академія

**Актуальність теми дослідження.** Підвищення економічної стабільності нашої держави залежить від того, як використовуються сучасні машини для технології виробництва земляних робіт. Екскаватори типу Caterpillar CAT 349D2 використовуються при розробки ґрунтів (гірських порід, корисних копалин) та в АПК для навантаження сипких матеріалів, розробки кар'єрів, тощо. Беззаперечними перевагами таких машин є не тільки їх потужність та продуктивність, але також і простота пристрою, нескладне керування та мінімальні потреби у технічному обстеженні. Тому від таких показників екскаватору як продуктивність, працездатність і довговічність залежить швидкість виконання технологічних робіт. Енергетична потужність виготовленого екскаватору не збільшується за час його роботи. Але залежить від: категорії землі (породи) та її стану; технічної надійності гідравлічної системи; виду роботи та стану самого екскаватора. Науковці у своїх дослідженнях вивчають питання підвищення надійності гідравлічних систем машини [1,2].

**Мета роботи.** Виконати дослідження екскаватора без додаткового обладнання і з додатковим обладнанням.

**Основні матеріали досліджень.**

У гідростатичній трансмісії екскаватора є два гідравлічні контури, кожен з яких має своє функціональне призначення і підключені до нього компоненти. Це головний контур системи, контур охолодження і подачі рідини, що підживлює. Робоча рідина циркулює між контурами за рахунок витоків і витрати через клапан для промивання, якщо система їм обладнана. Якість робочої рідини забезпечується насамперед за рахунок контуру підживлення/охолодження, але основним споживачем високоякісної робочої рідини є головний контур. При переміщенні екскаватора не по асфальту, а по бездоріжжю (як завжди) виникає збільшення споживання енергії привода переміщення та збільшення зносу саме деталей гідравлічного контуру [3].

Забруднення гідравлічного контуру призводить підвищення температури гідравлічної рідини вище допустимою, до подальшого руйнування фрикційного механізму гідромотора та планетарних механізмів редуктора ходу, відповідно до зупинки агрегату. Щоб запобігти несправності редуктора ходу, пропонується встановлення додаткового обладнання, а саме – клапана для промивання контуру.

Порядок проведення досліджень:

Використали екскаватор для досліджень після проведення планового ТО.

Перевірили рівень гідравлічного та трансмісійного мастила.

Перевірили рівень забруднення ходової частини, за необхідності провести чистку.

Перевірили рівень натягу гусениці.

Подолали необхідну заявлену дистанцію без додаткового обладнання та зробили виміри температур гідравлічного та трансмісійного мастил (3000м).

Вимірювання температур проводили через кожні 250м.

При випробуваннях екскаватора в режимі високої швидкості необхідно стежити за звуком ходового редуктора, оскільки екскаватор долає відстань, на яку ходове обладнання не розраховане, це може призвести до руйнування блоку сателітів, тому при наявності зайвого шуму або критичного підвищення температури необхідно зупинити рух.

Результати вимірювання температур приведені на (рис.1). Виконали дослідження з встановленням додаткового обладнання – промивного клапану (рис.2).

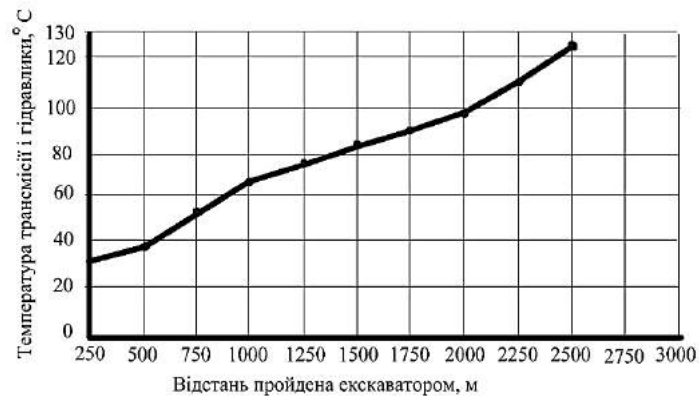


Рисунок 1 – Показники температур без додаткового обладнання в режимі високої швидкості

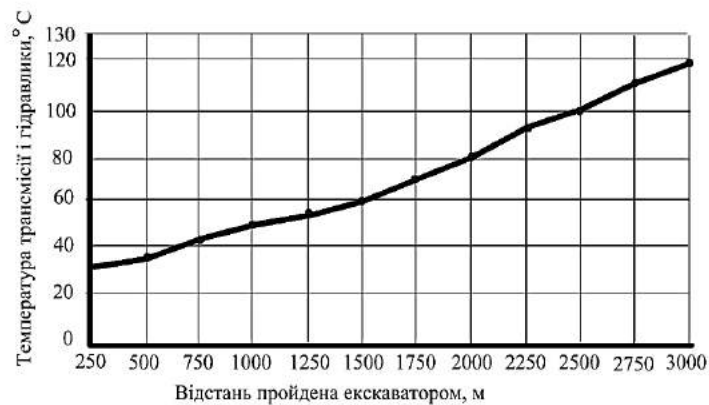


Рисунок 2 – Показники температур з додатковим обладнанням в режимі високої швидкості

Результати вимірювання температур показали, що без промивного клапану задану дистанцію екскаватор не подолав. Прийшлося його зупинити з-за критичного підвищення температури на відстані 2500м (рис.1).

При встановленні промивного клапану екскаватор долає дистанцію без критичного підвищення температури (рис.2).

**Висновки:**

1. Спосіб зменшення забруднень гідравлічної системи шляхом встановлення додаткового промивного клапану підвищує енергетичну потужність екскаватора без встановлення більш потужного приводу.

2. Встановлення додаткового гідравлічного елемента не спотворює роботу гідравлічної системи, а навпаки гарантує підвищення терміну експлуатації гідравлічних елементів.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. F. Ng, Jennifer A. Harding, Jacqueline Glass. Improving hydraulic excavator performance through in line hydraulic oil contamination monitoring. Mech. Syst. Signal Process. 2016:816–831. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ymssp.2016.06.006i>

2. Pavlo A. Gavrish, Alexander V. Perig, Eduard P. Gribkov, Mykola Yu. Dorokhov. Improvement of technology for repair of ore-bucket unloader metal structure working under cyclic loading: Advances in Materials and Processing Technologies. 2021;7(3):280–399. <https://doi.org/10.1080/2374068X.2020.1805683>.

3. D. J. Edwards, H. Malekzadeh, S. B. Yisa. A linear programming decision tool for selecting the optimum excavator. Struct. Surv. 2001; 19(2): 113–120. <https://doi.org/10.1108/EUM000000005628>.

## СЕКЦІЯ 2. ВІДНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА

УДК 620.9

### ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ДЛЯ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ПІДПРИЄМСТВА

Борисенко С. О., магістрант, e-mail: [serg\\_02\\_83@ukr.net](mailto:serg_02_83@ukr.net)

Мороз О. М., д.т.н., проф., e-mail: [moroz.an@ukr.net](mailto:moroz.an@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** В Україні за останні роки спостерігалось динамічне зростання кількості та потужності як промислових сонячних електростанцій (СЕС), так і СЕС домогосподарств. Якщо спочатку СЕС будувалися, як правило, для продажу електроенергії за «зеленим» тарифом, то в останні роки у зв'язку з подорожання електроенергії для промислових підприємств погляди бізнесу дещо змінилися і стало актуальним питання зменшення споживання електричної енергії з об'єднаної енергетичної системи України і заміщення її електроенергією згенерованою власними СЕС. Внаслідок чого важливою задачею є забезпечення ефективної роботи СЕС, як шляхом технічних так і організаційних заходів.

**Мета досліджень.** Проведення комплексного дослідження щодо визначення шляхів підвищення ефективності роботи сонячних електростанцій для власних потреб підприємства з метою підвищення надійності їх енергозабезпечення та зменшення собівартості продукції підприємства.

**Основні матеріали досліджень.** Пріоритетними напрямками енергозбереження на підприємствах виробничої сфери законодавством України визначені такі напрямки [1]:

1. Збільшення частки альтернативних видів палива у структурі енергоспоживання, зокрема: впровадження автономних геліо- та вітроенергоустановок;
2. Впровадження ресурсозберігаючих технологій та підвищення енергоефективності.

Прикладом ефективного використання сонячної енергії є будівництво СЕС для забезпечення власних потреб електроенергії такими компаніями, як Novus, Епіцентр та Сільпо, термін окупності СЕС складає 3,5 роки. Робота СЕС дозволить задовольнити близько 30% потреб ТРЦ та зменшити викиди в атмосферу CO<sub>2</sub> на 2 млн. т. [2].

Підвищення ефективності роботи СЕС для власних потреб підприємства є актуальним завданням і воно може бути досягнуто за допомогою різних технічних та організаційних заходів, зокрема [3, 4]:

1. Вибір оптимального місця та параметрів установки фотоелектричних модулів (ФЕМ), де вони отримуватимуть максимальну кількість сонячної енергії протягом дня. Це включає в себе визначення кута нахилу, орієнтацію відносно сторін світу та ймовірності затінення поверхні ФЕМ впродовж року.
2. Використання високоєфективних ФЕМ, які мають високий ККД, що дозволить отримати більше енергії з 1 м<sup>2</sup> поверхні.
3. Використання сонячних трекерів, які допомагають зорієнтувати ФЕМ в напрямку сонця, що підвищує їхню продуктивність.
4. Інтеграція пристроїв накопичення енергії, зокрема акумуляторів для зберігання надлишкової електроенергії, що дозволяє використовувати її вночі або в періоди хмарності.
5. Моніторинг та обслуговування – система моніторингу дозволяє вчасно виявляти проблеми та здійснювати обслуговування, що допомагає уникнути втрати продуктивності.
6. Зменшення споживання електроенергії. Використання енергоефективних технологій та сучасного обладнання може допомогти знизити споживання електроенергії, тим самим зменшуючи залежність від мережі.
7. Участь у програмах з продажу надлишкової енергії, що може приносити додатковий дохід.

8. Інвестування в дослідження режимів роботи СЕС та прогнозування генерації дозволяє оптимізувати режими роботи електроенергетичного обладнання.

9. Забезпечення навчання персоналу щодо оптимального управління та обслуговування СЕС важливо для забезпечення її найвищої ефективності.

10. Правильний розрахунок потужності: при проектуванні СЕС важливо правильно розрахувати потужність, щоб вона відповідала споживанню електроенергії підприємства, та враховувати коливання в споживанні та генерації протягом року.

11. Регулярне прибирання та обслуговування: ФЕМ повинні регулярно очищуватись від пилу і бруду, оскільки це може суттєво підвищити продуктивність.

12. Контроль за тепловим режимом: забезпечення оптимального теплового режиму ФЕМ допоможе збільшити генерацію електроенергії, це може вирішуватись використанням вентиляції або системи охолодження.

13. Моніторинг та аналітика даних роботи СЕС: використання системи моніторингу і аналітики даних дозволить відслідковувати продуктивність СЕС та визначити шляхи оптимізації.

14. Фінансування та підтримка, тобто визначення можливостей для фінансування СЕС через різні програми, кредити та субсидії, які можуть допомогти знизити витрати.

15. Вивчення законодавчих та нормативних документів, що допоможе уникнути правових проблем і максимізувати вигоди.

Одним із напрямків підвищення ефективності роботи СЕС на промислових підприємствах є коригування тривалості та зміни годин роботи технологічного обладнання споживачів підприємства. Такі споживачі можуть збільшувати власне споживання електроенергії в години мінімального навантаження та зменшувати його в пікові години без суттєвого впливу на технологічний процес. Таким чином, використовуючи споживачі-регулятори для маневрування навантаженням підприємство може не тільки покращити форму добового графіка, але й зменшити небаланси електроенергії, які виникають внаслідок стохастичного характеру генерації СЕС. Можливості підприємства щодо маневрування навантаженням залежать від багатьох факторів, а саме: від характеру технологічних процесів, потужності та кількості споживачів-регуляторів тощо [5].

**Висновки.** Використання СЕС для покриття внутрішніх потреб підприємства при блекаутах та зростанні цін на електроенергію є важливим питанням підвищення надійності забезпечення електричною енергією та зменшення витрат на електроенергію. Підвищення ефективності СЕС для власних потреб підприємства вимагає комбінації технічних рішень та ефективного управління, доцільно розглядати інтегровані підходи, спрямовані на оптимізацію виробництва та споживання сонячної енергії.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Про визначення Пріоритетних напрямів енергозбереження. Документ z0865-06, чинний, поточна редакція – Прийняття від 04.07.2006. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0865-06#Text>.

2. Сонячні панелі на дахах магазинів: досвід Епіцентр, Novus та Сільпо. URL: <https://cutt.us/9Mv2G>.

3. Хотян А. А., Розен В. П., Чермалих О. В. Аналіз ефективності використання фотоелектричних модулів. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2018. № 4. С. 14-18. DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.4.2018.175615>.

4. Ващишак І. Р., Цих В. С. Підвищення енергоефективності сонячної електростанції Нафтогазова енергетика 2020. № 1(33). С. 132-143. DOI: [https://doi.org/10.31471/1993-9868-2020-1\(33\)-132-142](https://doi.org/10.31471/1993-9868-2020-1(33)-132-142).

5. Качан Ю., Шрам О., Братковська К. Оцінка економічної доцільності маневрування навантаженням промислових підприємств задля зменшення вартості спожитої електроенергії. Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України, вип. 65, Серпень 2023, с. 55-59. DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2023.65.055>.

## ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ З ЕФЕКТОМ ПАМ'ЯТІ ФОРМИ ДЛЯ СТВОРЕННЯ СИСТЕМ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Бунько В. Я.<sup>1</sup>, к.т.н., доц., e-mail: [VBunko@gmail.com](mailto:VBunko@gmail.com)

Козирський В. В.<sup>2</sup>, д.т.н., проф., e-mail: [kozyrskyivv@gmail.com](mailto:kozyrskyivv@gmail.com)

ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»<sup>1</sup>, м. Бережани, Україна

Компанія «ALOTEK technology»<sup>2</sup>, Польща

**Актуальність дослідження.** Дослідження новостворених матеріалів і способів їх отримання завжди залишається однією з ключових наукових і прикладних задач, орієнтованих на розвиток сучасної техніки і технологій. Більшість металевих і неметалевих матеріалів, що традиційно застосовуються для виготовлення технічних та медичних виробів, мають або конструкційні, або функціональні властивості, що негативно впливає на їх широке використання [2,3].

За минулі десятиліття нові матеріали знайшли широке застосування в різних областях науки і техніки; аерокосмічної, машинобудівної, гірської промисловості; електротехніці і світлотехніці; побутовому і науковому приладобудуванні; розробці нових типів озброєння та ін. [1].

Один із класів функціональних матеріалів – металічні сплави, які зазнають мартенситних перетворень, що спричиняють незвичайні фізико-механічні властивості (ефект пам'яті форми, надпружність, висока демпфуюча здатність та ін.). Цей клас матеріалів одержав загальну назву – сплави з ефектом пам'яті форми (ЕПФ).

**Мета досліджень.** Мета даного дослідження полягає у вирішенні практичного застосування елементів з ефектом пам'яті форми для системи генерації електричної енергії, оскільки при нагріванні окремих матеріалів створюється певне зусилля, яке може створювати обертовий момент.

**Основні матеріали досліджень.** Матеріали з ефектом пам'яті форми є прототипами так званих «інтелектуальних» матеріалів майбутнього. «Інтелектуальні» матеріали, крім звичайних, для металів механічних властивостей мають додаткові функціональні властивості, до яких належить і ефект пам'яті форми. Ефект пам'яті форми – це фізичне явище, за якого пластично деформований матеріал відновлює (зазвичай при нагріванні) свою первісну форму [4].

Ефект «пам'яті форми» притаманний двокомпонентним сплавам на основі Ni–Ti, Pt–Ti, Pt–Ga, Pt–Al та трикомпонентним – Cu–Al–Mn, Cu–Al–Zn та ін. Особливістю виконавчих елементів зі сплавів з пам'яттю є їх мініатюрність. Це зумовлено простотою механізму їх дії, а також тим, що елемент складається з одного сплаву. На роботу таких виконавчих механізмів не впливає середовище або атмосфера, а впливає лише температура. Отже, можлива робота цих елементів в таких середовищах, як вакуум або вода, при цьому немає потреби в герметизованому вузлі, як, наприклад, для забезпеченні роботи в таких середовищах двигунів інших принципів дії [4].

Використовуючи дані сплави з ефектом пам'яті форми потрібно якимось чином здійснити запам'ятовування тієї чи іншої форми, для цього здійснюється певна термообробка, яка залежить від складу конкретного сплаву, його призначення, розміру елемента, тощо.

Існує два способи обробки: з метою створення односторонньої пам'яті та двосторонньої пам'яті, проте другий спосіб пов'язаний із значними технологічними складнощами та його опис займає певний суттєвий час, тому розглянемо перший варіант.

Такий варіант передбачає попередню прокатку і механічну обробку сплаву з метою первинного деформаційного зміцнення, після чого сплав піддається нагріванню до температури 400-500 °С, при якій він витримується в інтервалі від декількох хвилин до декількох годин (рис.1.).



Рисунок 1 – Термообробка елемента з ефектом пам'яті форми на основі Ni–Ti  
а) – сплав після термообробки в розтягнутому вигляді; б) вигляд сплаву після занурення в теплу воду;

Матеріали з ефектом пам'яті форми можуть застосовуватися в теплових двигунах, що використовують, наприклад, різницю температур гарячої та холодної води. Принцип дії двигуна Гінеля з кривошипно-шатунним механізмом на основі сплавів з пам'яттю форми ілюструє рис. 2. [4].

Ефект пам'яті форми у виробках із функціонального сплаву може проявлятися мільйони циклів, його можна посилювати попередніми термообробками.

У світовій практиці лідером серед сплавів з пам'яттю форми за застосуванням і за вивченістю є нікелід титану (нітинол) - інтерметалід еквіатомного складу з 55 % Ni (за масою). Температура плавлення - 1240-1310 °С, густина - 6,45 г/см<sup>3</sup>.

Двигун приводиться в обертання за допомогою шести спіралей зі сплаву Ti–Ni. Осі робочого колеса і кривошипного вала зміщені одна відносно одної. Подовження та скорочення спіралей залежно від різниці температур гарячого та холодного середовищ, що становить 10... 20 °С, діють так само, як зворотно-поступальний рух поршня у звичайних кривошипно-шатунних механізмах, викликаючи обертання робочого колеса.

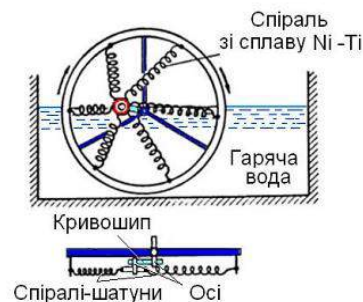


Рисунок 1 – Двигун Гінеля з кривошипно-шатунним механізмом на основі сплавів з пам'яттю форми [4]

**Висновок.** Отже, використання сплавів з ефектом пам'яті форми є можливим для створення ефективної генеруючої електроустановки, оскільки попередні дослідження показують, що такі елементи перетворюючи низькотемпературну теплову енергію розвивають достатнє зусилля для систем генерації електроенергії.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сплави з ефектом пам'яті форми – потужний клас функціональних матеріалів / Ю. М. Коваль // *Наука та інновації*. 2005. Т. 1, № 2. С. 80-95.
2. Бунько В. Я., Козирський В. В. ЗАСТОСУВАННЯ «ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ» МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ПАМ'ЯТІ ФОРМИ. *Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування (теорія, практика, історія, освіта):* Матеріали наук.-техн. конф., м. Київ 19 жовтня 2023 року. С. 126-127.
3. [https://dspace.nuph.edu.ua/bitstream/123456789/11688/1/250\(1\).pdf](https://dspace.nuph.edu.ua/bitstream/123456789/11688/1/250(1).pdf) (дата звернення 25.10.2023)
4. Філяшкін М. К. Мікроелектромеханічні системи: Навч.пос. К.:НАУ, 2019. 276с.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ  
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙВолобуєв А. С., аспірант, e-mail: [andreyvolobuev7777@gmail.com](mailto:andreyvolobuev7777@gmail.com)Савченко О. А., к.т.н., доц., e-mail: [savoa@btu.kharkiv.ua](mailto:savoa@btu.kharkiv.ua)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** На сьогоднішній день у всьому світі зберігається тенденція зростання встановлених потужностей відновлюваних джерел енергії. Найбільшу частину в потужності відновлюваних джерел енергії має сонячна електроенергетика. За прогнозами International Energy Agency найближчим часом на сонячну фотоелектричну енергію припадатиме 60 % глобального зростання відновлюваної енергії. Також очікується, що збільшення потужності фотоелектричних станцій продемонструє новий рекорд у 2023 році. При цьому річне зростання досягне 200 ГВт у 2023 році. У довгостроковій перспективі агресивна політика Російської Федерації, очевидно, призведе до перегляду стратегії енергетичної безпеки в європейських країнах. При цьому очікується прискорення темпів відмови від російських копалин енергоносіїв і переходу на відновлювані джерела енергії, серед яких сонячна електроенергетика займе одне з лідируючих місць.

Як відомо, інтеграція сонячних електростанцій до енергетичних систем призводить до необхідності застосування систем прогнозування вироблення електричної енергії. Надійний прогноз дозволяє передбачати флуктуації електричної потужності фотоелектростанцій, пов'язані із залежністю від природних факторів, і, як наслідок, покращити стабільність роботи енергосистеми та підвищити економічні показники. За величиною горизонту передбачення багато дослідників виділяють короткостроковий (до 6 годин), середньостроковий (6-24 години) та довгостроковий (понад 24 години) прогнози. Керуючі компанії сонячних електростанцій, інтегрованих до об'єднаних енергосистем, зобов'язані надавати такий прогноз для участі в торгах на ринку електроенергії на добу вперед. У зв'язку з вищезазначеним, тема досліджень є актуальною.

**Мета досліджень.** Метою дослідження є аналіз методів прогнозування продуктивності сонячних електростанцій.

**Основні матеріали досліджень.** Були проведені велика кількість досліджень з метою розробки відповідних моделей прогнозування для точного прогнозування виробництва електроенергії сонячними фотоелектричними системами з мінімальною складністю та вартістю. Прогнозування вихідної потужності сонячних електростанцій зазвичай складається з двох кроків. Перший полягає в виділенні енергетичних характеристик і аналізі факторів, які на них впливають. Другий – вибір методу прогнозування та оптимізація моделі прогнозування. Методи прогнозування вихідної потужності сонячних електростанцій можна в цілому класифікувати на три категорії — фізичні, статистичні та гібридні — на основі використовуваного методу прогнозування. Ці широкі класифікації можна далі поділити на основі фактичних процедур моделювання, застосованих у літературі.

Фізичні методи моделюють перетворення сонячного опромінення в електрику, використовуючи фізичні параметри погоди, такі як хмарність, температура навколишнього середовища, сонячне опромінення тощо, як вхідний вектор у фізичні рівняння, які прогнозують вихідну потужність. Фізичні моделі розроблені з використанням інформації про конкретне місце, параметри погоди, орієнтацію панелі та історичні дані. Моделі, розроблені з використанням цієї техніки, прості, коли розроблені з використанням глобального сонячного опромінення, але поступово ускладнюються шляхом додавання інших погодних параметрів (таких як покриття, температура навколишнього середовища тощо). На техніку значною мірою впливають раптові значні зміни погодних умов. Фізична модель досягає вищої точності при стабільній погоді. Модель чисельного прогнозування погоди, зображення

загального неба і супутникові зображення є деякими прикладами реалізації фізичного методу.

Статистичні методи в основному розроблені на основі принципу постійності або випадкових часових рядів. Моделі прогнозування вихідної сонячної фотоелектричної потужності розробляються шляхом визначення зв'язку між вхідними змінними (векторами) та відповідною вихідною потужністю за допомогою перевірених стандартних/наукових процедур. Параметри погоди (хмарність, температура, дощ, вітер, вологість, температура модуля тощо), які вплинули на вихідну потужність сонячної фотоелектричної системи, яка використовувалася як вхідні дані для алгоритму прогнозування, згадуються тут як вхідні змінні або вектори. Деякі приклади методів, які використовуються в цій категорії, – це традиційний статистичний аналіз і штучний інтелект (ШІ) або машинне навчання, аналітика. Традиційні підходи до прогнозування застосовують методи регресійного аналізу до даних часових рядів для створення моделей, які прогнозують вихідну потужність сонячних електростанцій. Деякими прикладами методів прогнозування штучного інтелекту є штучні нейронні мережі, машина опорних векторів, довготривала короткочасна пам'ять тощо. Слід зазначити, що також застосовуються різні модифікації згаданих методик ШІ.

Гібридна методика поєднує фізичні та статистичні методи для прогнозування. Спочатку застосовується фізична модель, надана виробниками для фотоелектричних модулів, а потім для підвищення точності використовується статистичний підхід до результату. Поєднання двох різних фізичних або статистичних методів також є формою гібриду. Деякі дослідження об'єднали техніку фізичного прогнозування з іншими методами штучного інтелекту та статистичними методами для досягнення вищої точності. Вони поєднали штучні нейронні мережі і фізичні методи, щоб сформулювати гібрид. В деяких випадках моделюється теоретичну модель неба (для певного місця) — шляхом моделювання сонячного опромінення для неба без хмар (з використанням моделі сонячного випромінювання ясного неба) – і використовується це змодельоване опромінення для встановлення оптимального денного ліміту. Таким чином, даний метод оптимізує функції двох методів. Одним із недоліків гібридного методу є те, що він стає більш складним, оскільки включає більше ніж одну техніку та споживає відносно більше машинних ресурсів.

**Висновок.** У даній роботі розглянуто сучасні тенденції в технологіях прогнозування вироблення фотоелектричної енергії. Кожна модель має свої переваги та недоліки, залежно від досліджуваного прикладу. Розробка моделі для прогнозування вироблення вихідної електроенергії привернула велику увагу до енергетичної промисловості для адекватного енергетичного планування в комунальному масштабі. Було проведено багато досліджень для розробки точних моделей прогнозування вихідної фотоелектричної потужності, які дали високопрогнозні моделі. Однак деякі сфери потребують удосконалення, наприклад розробка високоточної моделі прогнозування з меншою вагою точності прогнозування погоди. Іншим є розробка оптимальної моделі прогнозування вихідної фотоелектричної потужності зі зменшеними обчислювальними вимогами, яка може одночасно забезпечити високий рівень точності для середньо- та довгострокового прогнозування.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Gensler, A., Henze, J., Sick, B., Raabe, N. Deep Learning for solar power forecasting—An approach using AutoEncoder and LSTM Neural Networks. In Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), Budapest, Hungary, 9–12 October 2016.
2. Hendouzi, A., Bourouhou, A. Solar Photovoltaic Power Forecasting. J. Electr. Comput. Eng. 2020, 2020
3. Mellit, A., Pavan, A., Ogliairi, E., Leva, S., Lughi, V. Advanced Methods for Photovoltaic Output Power Forecasting: A Review. Appl. Sci. 2020, 10, 487.
4. Li, P., Zhou, K., Yang, S. Photovoltaic Power Forecasting: Models and Methods. In Proceedings of the 2nd IEEE Conference Energy Internet Energy System Integration, Beijing, China, 20–22 October 2018.



## ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАЛИВА РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ

Волчок В. О., к.т.н., доц., e-mail: [recvicv@gmail.com](mailto:recvicv@gmail.com)

Волчок О. В., e-mail: [evolchok8@gmail.com](mailto:evolchok8@gmail.com)

Одеський національний технологічний університет

**Актуальність досліджень.** Одним з ефективних способів вирішення проблеми, пов'язаної зі зростанням вартості традиційних енергоресурсів і одночасним зменшенням енергоспоживання є використання у якості джерела теплової енергії відходів рослинного походження.

Відсутність достовірної інформації про властивості сипких біоматеріалів викликає певні труднощі при розробці, проектуванні та експлуатації обладнання, що працює на переробці сільгосппродукції. Наявна в літературі інформація про властивості обмежена і не дозволяє інтерпретувати отримані закономірності на інші системи.

При експериментальному дослідженні було використано комплекс загальноприйнятих, стандартних і оригінальних методів визначення фізичних показників сировини, які в сукупності забезпечили виконання поставлених задач [1].

**Основні матеріали досліджень.** При дослідженні сировинної бази для виробництва палива рослинного походження були використані такі види сировини: солома пшенична, тирса (дуб), подрібнені качани кукурудзи, відходи очистки соняшника, лущиння соняшника, лузга гречки, лузга вівса. Масову частку вологи, об'ємну масу та кут природного укусу знаходили відповідними методами висушування наважки до постійної маси [2], з використанням літрової пурки [3], на обладнанні шляхом висипання з лійки [4].

Вільну вологу можна видаляти методом висушування, яка знаходиться в сировині. Суть методу визначення масової частки вологи полягає у визначенні різниці між масою наважки до і після висушування і подальшому обчисленні масової частки вологи, що видалена зі зразка (відношення маси вологи до маси досліджуваного продукту до висушування, вираженого у відсотках).

У досліджах по визначенню об'ємної маси використовували контейнер циліндричної форми з внутрішнім об'ємом 0,005 м<sup>3</sup>. Тарировку контейнеру проводили з використанням дистильованої води при температурі 20 °С. Насипну щільність розраховували виходячи з маси нетто і внутрішнього об'єму контейнера. Розрахована величина стосується палива з вмістом вологи, рівним вмісту вологи випробуваної проби.

Об'ємну масу слід враховувати при підборі ємкостей для зберігання, та оперативних бункерів перед і після основного технологічного обладнання, також при розрахунках та підборі транспортного обладнання.

Пристрій для визначення кута природного укусу складається з двох суміжних вертикальних стінок розміром 395x195 мм, виконаних з акрілу і змонтованих на горизонтальній площині розміром 395x395 мм. На одну зі стінок пристрою нанесені за допомогою фрезерного гравіювання градуси. Наважку досліджуваного продукту обережно через металеву лійку засипають, не допускаючи накопичення матеріалу в воронці. Засипку закінчують, коли вершина насипу зрівняється з верхньою кромкою металевої трубки на межі переходу її в конус. Кут природного укусу визначають відповідно до градусів нанесених на бічну поверхню пристрою.

За остаточний результат приймали середнє арифметичне значення результатів паралельних випробувань. Підготовка проб до аналізу здійснювалася в лабораторних умовах кафедр ОНТУ. Розрахунки проводили для трьох проб сировини, після чого визначали середнє значення. У таблиці 1 представлені середні значення вологості, об'ємної маси і кута природного укусу сипкого палива рослинного походження, отримані в ході проведення досліджень. Виконано аналіз похибок експериментальних даних. Встановлено, що основний внесок у повну похибку робить її випадкова складова.

Таблиця 1 – Фізичні властивості сипкого палива рослинного походження

| Сировина                       | Масова частка<br>вологи, % | Об'ємна маса,<br>кг/м <sup>3</sup> | Кут природного<br>укоосу, град |
|--------------------------------|----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Тирса                          | 7,8                        | 22                                 | 40                             |
| Подрібнені качани<br>кукурудзи | 8,2                        | 80                                 | 65                             |
| Відходи очистки<br>соняшника   | 14,6                       | 152                                | 60                             |
| Лушпиння соняшника             | 13,2                       | 120                                | 55                             |
| Лузга ячмінна                  | 11,3                       | 182                                | 51                             |
| Лузга гречки                   | 12,8                       | 138                                | 63                             |
| Лузга вівса                    | 12,2                       | 135                                | 66                             |

За даними результатів досліджень видно, що вологість усіх видів сировини знаходиться на рівні 7 – 15 %, хоча на практиці переробки сировини вологість зустрічається різна. Наприклад, тирсу для виробництва твердого палива інколи подають із початковою вологістю до 50% і більше – що потребує додаткових затрат на сушіння. Солома злакових, яка зберігалась без належного укриття від атмосферних опадів, також має підвищену вологість, а іноді і навпаки – занижену (менше 6 %), таку солому потрібно дозволювати. Відходи очистки соняшника зазвичай знаходяться по вмісту вологи на рівні із насінням соняшника що пояснюється тим, що їх зазвичай відбирають після сушіння зернової маси. Вологість лузги гречки і вівса знаходиться в межах 12 – 13 %.

Об'ємна маса залежить від вологості, крупності, однорідності. Можна відмітити, що найбільша об'ємна маса у такої сировини як відходи очистки соняшника. Це пов'язано із тим, що до складу даної сировини входять різного роду включення, такі як насіння дикорослих рослин, мілка смітна домішка тощо. Найменша об'ємна маса у тирси, що пов'язано як із низькою вологістю сировини так і з формою часточок тирси, в якій велику кількість об'єму займає повітря.

**Висновок.** Аналізуючи такий показник як кут природного укоосу слід зазначити, що при проведенні досліджень він знаходився в межах 40 – 65 °, хоча на практиці він дещо більший та залежить від вологості, крупності, однорідності. Кут природного укоосу слід враховувати при проектуванні самопливів та випускних воронки бункерів. Достовірність отриманих експериментальних даних підтверджується коректною постановкою виконаних досліджень і проведенням аналізом експериментальних похибок даних.

Автори вдячні за корисні поради, обговорення і матеріали, надані в ході збору та узагальнення інформації студентам, інженерам підприємств та співробітникам кафедр ОНТУ.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пентин Ю. А., Вилков Л. В. Физические методы исследования в химии: учеб. пособ. Москва, 2003. 683 с.
2. ДСТУ EN 14774-1:2013 Тверде біопаливо. Визначення вмісту вологи. Метод висушування в сушильній шафі. Частина 1. Загальна волога. Стандартний метод. [Чинний від 2014-01-10]. Київ, 2014. 8 с. (Інформація та документація).
3. ДСТУ EN 15103:2009 Метод визначення насипної щільності. [Чинний від 2009-03-11]. Київ, 2009. 9 с.
4. ДСТУ 33255-2015 (EN 14780:2011) Тверде біопаливо. Методи підготовки проб. [Чинний від 2015-51-12]. Київ, 2015. 11 с.

## ЗАРЯДНІ СТАНЦІЇ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ НА СОНЯЧНИХ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛЯХ

Галько С. В.<sup>1</sup>, к.т.н., доц., e-mail: [galkosv@gmail.com](mailto:galkosv@gmail.com)

Мірошник О. О.<sup>2</sup>, д.т.н., проф., e-mail: [omiroshnyk@ukr.net](mailto:omiroshnyk@ukr.net)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного<sup>1</sup>  
Державний біотехнологічний університет<sup>2</sup>

**Актуальність досліджень.** Суміщення інфраструктури зарядки електромобілів (ЕМ) з технологією гарячого водопостачання (ГВ) або опалення приміщень на сонячних циліндричних когенераційних фотоелектричних модулях (ЦКФЕМ) має величезний потенціал для трансформації екологічного транспорту. У цьому дослідженні показана ефективність сонячних ЦКФЕМ, підкреслюється їх вирішальна функція в максимізації виробництва енергії. Ця креативна стратегія зменшує залежність від традиційної мережевої електроенергії та мінімізує викиди парникових газів, використовуючи сонячну енергію як для ГВ або опалення приміщень, так і для зарядки ЕМ. Для оцінки фінансової життєздатності та екологічних переваг зарядних станцій для ЕМ на КФЕМ використовується детальний аналіз витрат та оцінка впливу на навколишнє середовище.

**Мета досліджень.** Оцінити екологічні переваги, фінансову та технологічну життєздатність зарядних систем для ЕМ на основі ЦКФЕМ.

**Основні матеріали досліджень.** Ефективність зарядних станцій для ЕМ на основі сонячних ЦКФЕМ значною мірою залежить від здатності КФЕМ поглинати та утримувати сонячну енергію, а також сильно впливають характеристики поверхні, такі як матеріал та дизайн [1]. Сучасні матеріали з низькими втратами енергії, такі як покриття з високим поглинанням і селективні поверхні, продемонстрували потенціал у підвищенні ефективності. Крім того, важливо враховувати, як ЦКФЕМ орієнтуються і відстежуються по відношенню до сонця. Збільшення уловлювання енергії є результатом оптимального розташування, що гарантує максимальний вплив сонячного світла протягом дня. Ефективність додатково підвищується за рахунок систем стеження, які змінюють положення ЦКФЕМ у відповідь на рух сонця [2].

Розрахункова схема гібридної сонячної фотопанелі (ГСФП) і ЦКФЕМ приведені на рисунку 1.

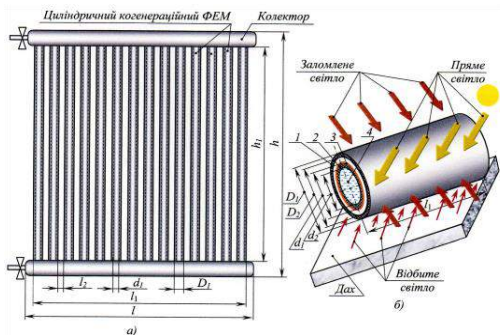


Рисунок 1 – Розрахункова схема ГСФП і поглинання сонячних променів КФЕМ

а) ГСФП; б) циліндричний КФЕМ

1 – зовнішня трубка; 2 – внутрішня трубка;  
3 – ФЕП; 4 – теплоносій

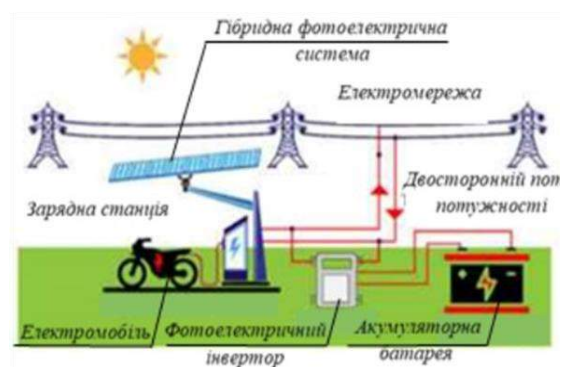


Рисунок 2 – Зарядна станція для електромобілів

Оптимізація ефективності зарядних станцій для ЕМ на ЦКФЕМ (рис. 2) вимагає включення додаткової теплової енергії в процес заряджання. За допомогою цієї процедури надлишкове тепло, вироблене ЦКФЕМ, яке в іншому випадку було б втрачено, уловлюється і використовується [3-5]. Загальна ефективність і стійкість зарядного пристрою підвищуються за рахунок ефективного відведення цієї додаткової енергії. Використання сховищ теплової енергії –

це одна зі стратегій. Для подальшого використання ці системи зберігають додаткове тепло в середовищі, наприклад, у баку з гарячою водою або речовиною зі зміною фази. Тепло, що виділяється, може бути ефективно використане при виникненні потреби в опаленні або електроенергії, знижуючи потребу в додаткових витратах енергії [6]. Системи циклу Ренкіна або теплові генератори є прикладами технології перетворення тепла в електроенергію, які можна використовувати. Ці технології перетворюють теплову енергію в електроенергію, що дозволяє більш гнучко використовувати її в інфраструктурі зарядної станції. Використання додаткового тепла для обігріву приміщення є альтернативним варіантом [7]. Технологія підвищується за вартістю та ефективністю, миттєво надаючи теплову енергію для обігріву зарядної станції або прилеглих будівель [8,9]. Температуру навколишнього середовища акумуляторів ЕМ можна контролювати та оптимізувати, що, як відомо, впливає на ефективність заряджання та термін служби акумулятора.

**Висновок.** Інтеграція зарядних станцій для ЕМ із ЦКФЕМ – це шлях до підвищення ефективності зарядних станцій з використанням екологічно чистої енергії. Це дослідження виявило вирішальну роль, яку відіграють ЦКФЕМ в максимізації виробництва та споживання енергії. Для підвищення ефективності необхідні постійні дослідження передових ЦКФЕМ і технологій зберігання енергії. Ці пропозиції в цілому відкривають двері для більш ефективної та екологічної мережі зарядних станцій для ЕМ.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Галько С. В. Використання когенераційних фотоелектричних модулів для зарядки акумуляторів електромобілів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки*. Мелітополь: ТДАТУ. 2019. Вип. 19, т. 3. С. 130-141. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-3-130-141>.
2. Mastoi M. S., Zhuang S., Munir H. M., Haris M., Hassan M., Usman M., Bukhari S. S. H., Ro J. S. An in-depth analysis of electric vehicle charging station infrastructure, policy implications, and future trends. *Energy Reports*. 2022. Vol. 8. P. 11504-11529. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.09.011>.
3. Галько С. В. Експериментальне дослідження і визначення параметрів когенераційного фотоелектричного модуля для гібридних сонячних електростанцій. *Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень: матеріали Міжнар. наук. конф., м. Луцьк, 10 квіт. 2020 р.* Луцьк: МЦНД. 2020. Т. 1. С. 83-90. <https://doi.org/10.36074/10.04.2020.v1.10>.
4. Bazaluk O., Postnikova M., Halko S., Kvitka S., Mikhailov E., Kovalov O., Suprun O., Miroshnyk O., Nitsenko V. Energy saving in electromechanical grain cleaning systems. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2022. Vol. 12(3). P. 1418. <https://doi.org/10.3390/app12031418>.
5. Bazaluk O., Postnikova M., Halko S., Mikhailov E., Kovalov O., Suprun O., Miroshnyk O., Nitsenko V. Improving energy efficiency of grain cleaning technology. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2022. Vol. 12(10). 5190. <https://doi.org/10.3390/app12105190>.
6. Zhou G., Zhu Z., Luo S. Location optimization of electric vehicle charging stations: Based on cost model and genetic algorithm. *Energy*. 2022. Vol. 247. P. 123437. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123437>.
7. Justin S., Saleh W., Lashin M. M. A., Albalawi H. M. Design of Metaheuristic Optimization with Deep-Learning-Assisted Solar-Operated On-Board Smart Charging Station for Mass Transport Passenger Vehicle. *Sustainability*. 2023. Vol. 15(10). P. 7845. <https://doi.org/10.3390/su15107845>.
8. Halko S., Suprun O., Miroshnyk O. Influence of temperature on energy performance indicators of hybrid solar panels using cylindrical cogeneration photovoltaic modules. *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2021 – Conference Proceedings*. 2021. P. 132-136. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9569975>.
9. Halko S., Halko K. Research of electrical and physical characteristics of the solar panel on the basis of cogeneration photoelectric modules. *Integración de las ciencias fundamentales y aplicadas en el paradigma de la sociedad post-industrial: Colección de documentos científicos «ΛΟΓΟΣ» con actas de la Conferencia Internacional Científica y Práctica, 24 de abril de 2020*. Barcelona, España: Plataforma Europea de la Ciencia. 2020. Vol. 2. P. 39-44. <https://doi.org/10.36074/24.04.2020.v2.10>.

## ГЕНЕРАЦІЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ НА ВІТРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ

Головко В. М., д.т.н., проф., e-mail: [golovkovm@ukr.net](mailto:golovkovm@ukr.net)

Міхалін В. І., аспірант, e-mail: [mikhalin.vladyslav@iit.kpi.ua](mailto:mikhalin.vladyslav@iit.kpi.ua)

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

**Актуальність дослідження.** Відновлювана енергетика впевнено зміцнює свої позиції стосовно світового розподілу енергетичних потужностей. Вартість відновлюваної енергії в деяких країнах зменшилась до менш ніж 3 центів за кВт·год, що менше, ніж собівартість викопного палива (від 5 до 9 центів за кВт·год). Однак такі відновлювані джерела енергії, як вітер і сонячна енергія потребують стабілізації потужності через їх стохастичність генерації [1]. Поки що це питання вирішується шляхом розвитку електромереж та балансуванням потужності, яке забезпечують теплові електростанції. Однак дуже скоро цього може не вистачати для підтримання стабільної роботи відновлюваної генерації. Дослідження [2] показали, що акумулювання теплової енергії є найбільш економічним способом стабілізації електромережі навіть враховуючи те, що ефективність перетворення теплової енергії в електричну є нижчою, ніж ефективність електричних акумуляторів. Компанія Siemens розробляє власну технологію теплового акумулювання енергії вітрогенерації [3].

**Мета досліджень.** Аналіз можливостей теплового акумулювання енергії з вітрових електростанцій за допомогою індукційного нагрівання теплоносія для подальшого його використання у періоди підвищеного попиту на електричну енергію.

**Основні матеріали досліджень.** Існує два типових методи перетворення електричної енергії в теплову для подальшого зберігання. Перший передбачає використання електронагрівача. Цей метод може бути застосований із будь-яким джерелом відновлюваної енергії, що має стохастичний характер генерації. Другий метод – нова система під назвою WTES (Wind powered thermal energy systems) показанf на рисунку 1 [2]. Енергія вітру перетворюється в теплову на вершині вітряка за допомогою індукційного нагрівання. Решта системи є такою ж, як система концентрованої сонячної енергії. Ліва частина системи на рисунку 1 залежить від швидкості вітру, тоді як права сторона генерує електроенергію лише при виникненні потреби.

Вартість будівництва вітроенергетичної системи напряму залежить від маси вітроагрегата. Прямопривідна установка має переваги над редукторною, головні з яких – простота, надійність в експлуатації та низька вартість обслуговування через меншу кількість вузлів. Коефіцієнт корисної дії прямого приводу набагато вищий, ніж у редукторної системи, оскільки. Проте маса прямопривідного вітрогенератора потужністю 2 МВт може перевищує 100 тонн і, отже в результаті вартість установки також буде дуже високою через необхідність будівництва міцної вежі. Індукційний теплогенератор, який використовується для WTES можна зробити набагато легшим, ніж електричний генератор, оскільки його конструкція значно простіша.

Теплова енергія, що виробляється на вершині вежі, передається до резервуару завдяки циркуляційного насоса. Нагрітий теплоносій зберігається в теплоізольованій ємності і відбирається відповідно до попиту на виробництво електроенергії за допомогою парової турбіни. Така технологія циркуляції теплоносія на висоту понад 100 метрів вже успішно використовується в промислових масштабах. Розглядається навіть вітротурбіна з висотою башти 275 метрів [4]. WTES легко поєднувати з іншими тепловими установками, такими як концентруючі геліоустановки, геотермальні електростанції та установки, які спалюють біогаз.

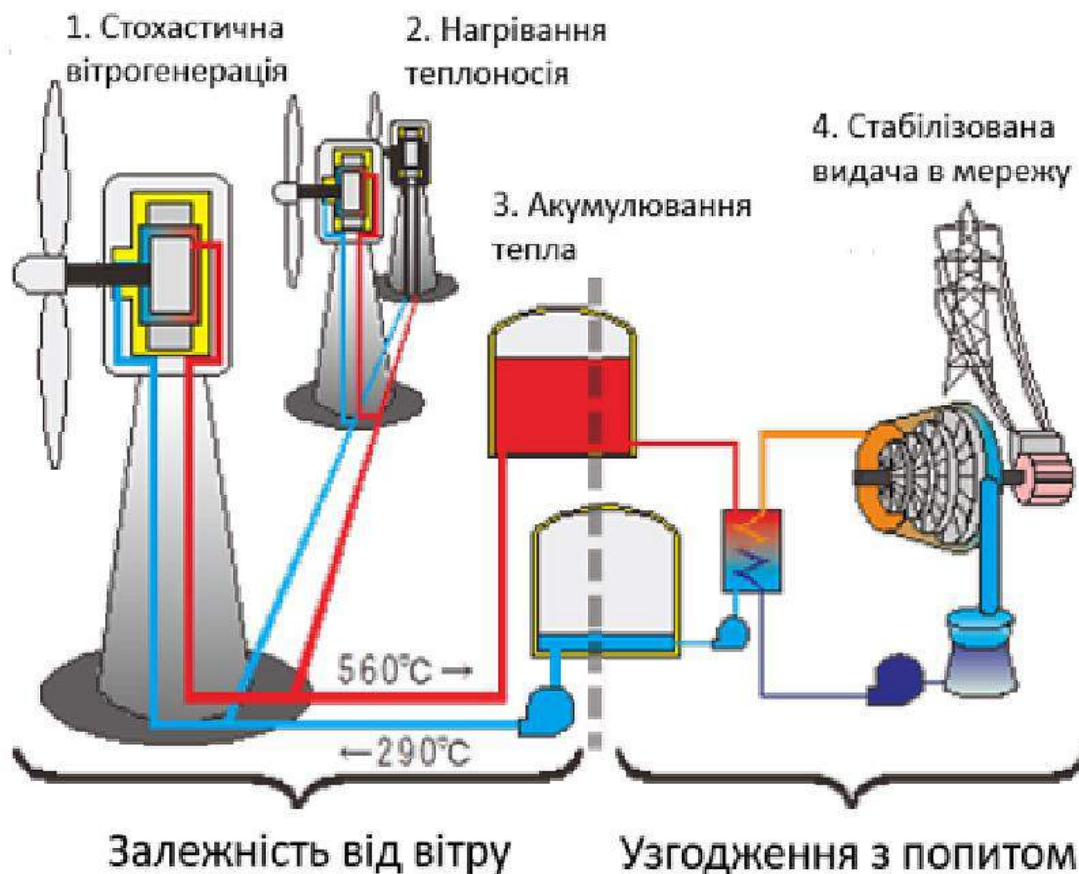


Рисунок 1 – Блок-схема системи теплоаккумулявання з вітроагрегатами

**Висновок.** Резервні теплові накопичувачі енергії необхідні для більш повного і раціонального використання енергії вітру, зважаючи на стохастичний характер вітрогенерації. Впровадження теплових накопичувачів енергії дозволяє розділити енергоустановку на частини, одна з яких є незалежною від вітрогенерації, натомість функціонує покладаючись на попит в електроенергії. WTES може також знайти застосування як складова частина більш комплексної енергоустановки, до складу якої входять сонячна концентраційні геотермальні та біоенергетичні установки, кожна з яких працює на спільну систему накопичення теплової енергії.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. International Energy Agency, "Medium-term renewable energy market report 2016," ISBN PRINT 978-92-64-26496-0.
2. T. Okazaki, Y. Shirai, T. Nakamura, "Concept study of wind power utilizing direct thermal energy conversion and thermal energy storage," *Renewable Energy*, vol. 83, pp. 332-338, Nov. 2015.
3. Siemens. (Sept. 2016). Press Release: Siemens presents thermal storage solution for wind energy. URL: <https://www.siemens.com/press/pool/de/pressemitteilungen/2016/windpower-renewables/PR2016090419WPEN.pdf>.
4. Kolb Gregory. An evaluation of possible next-generation high-temperature molten-salt power towers. SANDIA REPORT SAND2011e9320. Dec. 2011. p. 20.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕТІКАННЯ ЕНЕРГІЇ МІЖ  
ВУЗЛАМИ ГІДРОАКУМУЛЮЮЧОЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ ІЗ ЗАМКНУТИМ ЦИКЛОМ  
ВИКОРИСТАННЯ РОБОЧОГО ТІЛА

Головко В. М., д.т.н., проф., e-mail: [golovkovm@ukr.net](mailto:golovkovm@ukr.net)  
Семененко Р. Ю., аспірант, e-mail: [semenenko.roman@lil.kpi.ua](mailto:semenenko.roman@lil.kpi.ua)  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Актуальність дослідження.** Покращення енергетичних характеристик гідроакумулюючих електроустановок при мінімальних конструкційних змінах завжди було пріоритетним напрямком досліджень у відновлюваній енергетиці. Особливо якщо зауважити, що у сучасній фото- та вітроенергетиці через стохастичність та нестабільність добового надходження енергії однієї з найважливіших є задача акумулювання електроенергії та її зберігання. Накопичування енергії в періоди пікового виробництва та її споживання мережею під час пікових навантажень дозволяє забезпечити надійне та стає постачання енергії різних джерел, що в кінцевому підсумку зменшить викиди вуглецю і сприятиме енергетичній безпеці. Залежність потужності на валу турбіни від гідродинамічних характеристик лопаті та характеристик потоку води відомі і втілені у вигляді діючих інженерних рішень[1]. Також відомо, що скид води гідравлічної турбіни встановлюється вище рівня води нижнього б'єфу, за рахунок цього вода має певну залишкову кінетичну та потенційну енергію[2]. Робота присвячена вдосконаленню математичної моделі автономної гідроакумулюючої електроустановки з замкнутим циклом використання робочого тіла за рахунок використання залишкової енергії води скинутої гідротурбіною.

**Мета досліджень** полягає у визначенні співвідношень енергетичних показників складових частин автономної гідроакумулюючої електроустановки з замкнутим циклом використання робочого тіла шляхом імітаційного математичного моделювання характеру протікання динамічних процесів в ній.

**Основні матеріали та методи досліджень.** Методи дослідження – математичне моделювання процесів перетікання енергії між вузлами гідроакумулюючої установки за допомогою програми MATLAB/SIMULINK. Для імітації процесів перетворення енергії та перетікання води між резервуарами в системі автономної гідроакумулюючої станції побудована модель, що містить наступні елементи:

- модель фотоелектричної станції – імітаційне джерело потужності, що отримуючи основні характеристики фотоелектростанції вираховує значення миттєвої інсоляції на похилу площину (сонячні панелі) та генерує сигнал, що відповідає потужності відпуску електрики споживачеві;
- модель споживача електричної енергії, яка генерує поточне значення електричної потужності, що споживається, враховуючи прогнозований графік навантаження, ймовірнісну складову, а також поточний стан електричної мережі;
- модель верхнього та нижнього резервуарів, отримана шляхом складання балансу витрати води (1) та його накладання на морфометричні характеристики резервуарів для отримання поточного об'єму води:

$$V(t) = V_{\text{поч}} \pm \int Q_{\text{вб}} dt, \quad (1)$$

де  $V_{\text{поч}}$  – початковий об'єм водосховища, м<sup>3</sup>;

$Q_{\text{вб}}$  – витрата води бака-акумулятора, м<sup>3</sup>/с,

- модель турбіно-генераторного блоку який спираючись на потреби у генерації електроенергії, гідромеханічні характеристики турбіни та електромеханічні характеристики генератора розраховує миттєву витрату води, споживану агрегатом із верхнього резервуару;

- модель гідравлічного тарану, яка, спираючись на дані про витрату воду на виході із гідротурбіни, рівень води у резервуарах, розраховує потік води накачаної до верхнього та скинутої нижнього водосховища
- модель багатоагрегатної насосної станції, яка дозволяє при вхідних величинах рівня води у нижньому резервуарі, верхньому резервуарі та електричної потужності від ФЕС отримати витрату води через насоси, кількість насосів що працюють, ККД насосів.

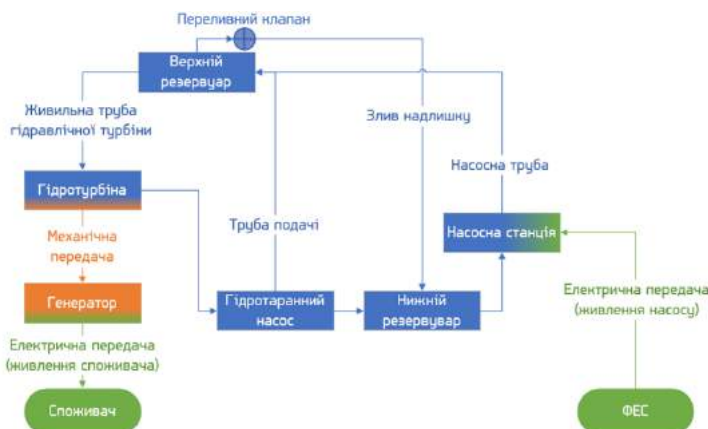


Рисунок 1 – Блок-схема автономної гідроакумулюючої установки з замкнутим циклом використання робочого тіла

Імітаційна математична модель дозволяє моделювати роботу електростанції на будь-якому часовому проміжку, з будь-яким споживачем, гідроагрегатом, фотоелектростанцією. На прикладі невеликого домогосподарства із денним споживанням 117.5кВт\*год, гідроагрегатом типу «Каплан» зі встановленою потужністю 50кВт, двома водосховищами об'ємом 20 000м<sup>3</sup> та ФЕС площею 152м<sup>2</sup> було досліджено динаміку зміни основних енергетичних показників установки.

**Висновки.** Було вдосконалено математичну моделі автономної гідроакумулюючої електроустановки з замкнутим циклом використання робочого тіла шляхом шляхом використання залишкової енергії води скинутої гідротурбіною. Модель було простестовано на прикладі домогосподарства із фотоелектростанцією (джерело енергії), гідроакумулюючого агрегату та гідравлічного тарану (насос що використовує кінетичну енергію потоку води на скиді гідротурбіни). В результаті аналізу витрати води крізь основні блоки установки встановлено, що в середньому гідротурбіна для покриття навантаження споживає воду на рівні 0.051м<sup>3</sup>/с та короткочасно 0.095м<sup>3</sup>/с для покривання пікових годин. Кількість води закачаною гідравлічним тараном, становить 14-16 %, що дозволяє зменшити встановлену потужність електричних насосів, збільшити запас води та відповідно рівень забезпеченості споживача на ~15%. В літні дні спостерігається значний надлишок сонячної енергії що підтверджується насиченням верхнього водосховища вже о 15:00. В зимовий період спостерігається відключення гідротурбіни через нестачу води у верхньому резервуарі. У період з 49го дня по 312 день він на 100% забезпечений енергією, з 312 по 49 дні від 45%-100%. Модульність насосної станції дозволяє утримувати ККД насосів на рівні понад 0.7 впродовж 94% часу роботи а також збільшити загальну к-сть накачаної за рік води на 24%.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Concept of Accumulation of Energy from Photovoltaic and Wind Power Plants by Means of Seawater Pumped Hydroelectric Energy Storage / P. Vasko et al. 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), Kyiv, Ukraine, 17–19 April 2019. 2019. URL: <https://doi.org/10.1109/ess.2019.8764167>
2. Twaróg B. Modelling a pumped storage power plant on the example of the Porąbka Żar power plant. Technical Transactions. 2023. Vol. 2023, no. 1. P. 1–16. URL: <https://doi.org/10.37705/techtrans/e2023001>



## ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ ДЛЯ СТВОРЕННЯ БІОПАЛИВА

Горбачов О. С., аспірант, e-mail: [oleksandr.horbachov@gmail.com](mailto:oleksandr.horbachov@gmail.com)

Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна

Біопаливо – це вид відновлюваного палива, що одержується з матеріалів, таких як рослини, деревина, тварини. Використання біомаси для виробництва біопалива є більш актуальним у пошуку альтернативних джерел енергії, які були б більш екологічно чистими та надійними.

**Актуальність дослідження** використання біомаси для створення біопалива очевидна та виправдана низкою важливих причин:

1. Енергетична стійкість: в умовах посилення зміни клімату та вичерпання нафтових ресурсів, пошук альтернативних джерел енергії стає необхідною умовою для забезпечення енергетичної стійкості та безпеки. Біопаливо є одним з найбільш перспективних варіантів, здатних пом'якшити енергетичну залежність від нафти.

2. Скорочення викидів парникових газів: біопаливо, на відміну від традиційних нафтових видів палива, потенційно може знизити викиди парникових газів, таких як вуглекислий газ та метан, що забезпечує дотримання умов зміни клімату та дотримання умов навколишнього середовища.

3. Утилізація відходів: використання біомаси, включаючи органічні відходи, дозволяє зменшити обсяги сміття.

**Мета дослідження:** вивчити та оцінити потенціал використання біомаси для створення біопалива з метою визначити його ефективність, стійкість та внесок у зниження викидів парникових газів, а також виявити технологічні та екологічні аспекти у сфері енергетики та охорони навколишнього середовища.

1. Вивчення технологій виробництва: аналіз сучасних методів та технологій переробки біомас у біопаливо, визначення їх ефективності, екологічних наслідків та технічних аспектів.

2. Екологічний аналіз: дослідження впливу використання біопалива на довкілля.

3. Економічний аналіз: оцінка економічної ефективності виробництва біопалива, ринкових аспектів та можливостей економії для споживачів.

**Види біопалива.**

Біопаливо може бути виготовлено з різних типів біомаси, і існує декілька його видів:

1. Біодизель: отримують з рослинних олій, таких як рапсова олія, соєва олія та пальмова олія.

2. Біоетанол: виробляється з цукру або крохмалю, найчастіше з кукурудзи, цукрової тростини і т.д.

3. Біометан: виходить шляхом біологічної обробки відходів та біогазу.

**Процес виробництва біопалива**

Процес виробництва біопалива включає кілька ключових етапів:

1. Збір біомаси: початковий етап включає збір біомаси, яка може бути як культурної (наприклад, кукурудза або ріпак), так і некультурної (наприклад, деревина, органічні відходи).

2. Підготовка біомаси: зібрана біомаса включає обробку, яка включає помол, газифікацію або хімічну обробку для отримання сировини для подальшої переробки.

3. Конверсія біомаси: перетворення біомаси на кінцеве біопаливо відбувається за допомогою різних процесів, включаючи термохімічні (піроліз, газифікація) або біохімічні (ферментація, бродіння) методи.

4. Очищення та обробка: біопаливо піддається очищенню та обробці для видалення домішок та покращення його якості.

Дослідження також виявило деякі недоліки та складності, пов'язані з використанням біомаси для створення біопалива:

1. Конкуренція, земельні ресурси та використання землі: вирощування сільськогосподарських культур вимагає великих культурних земельних ділянок, що може призвести до конфлікту між використанням землі для сільського господарства, лісового господарства та виробництва біомаси для біопалива, що може спричинити зростання цін на продукти харчування та зниження продовольчої безпеки.

3. Ефективність: деякі види біопалива можуть бути менш ефективними з погляду виходу запаси нафтових видів палива.

4. Збалансованість джерел біомаси: залежність від обмежених видів біомаси, таких як пальмова олія, може призвести до небажаних наслідків, таких як вирубування лісів та руйнування екосистеми.

5. Соціальні аспекти: виробництво біопалива може впливати на місцеві спільноти, включаючи проблеми із земельними правами, зайнятістю та доступом до ресурсів. Ці соціальні аспекти мають бути враховані розробки стратегій виробництва біопалива.

6. Залежність від сезонності та кліматичних умов: виробництво біопалива, може бути залежним від сезонності та кліматичних умов, що потребує додаткових викликів у плануванні та управлінні виробництвом.

**Висновок:** таким чином, використання біомаси для створення біопалива є альтернативним джерелом енергії на основі природних ресурсів і має економічний потенціал, але вимагає ретельного обліку та балансування інтересів різних секторів, включаючи енергетику, економічне господарство та охорону навколишнього середовища, для забезпечення стійкості та, отже, переваги цих альтернативних видів палива з урахуванням природних ресурсів. Подальші дослідження та розвиток технологій у цій галузі можуть покращити виробництво та використання біопалива в майбутньому.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. V. Anbarasu, P. Karthikeyan and S. P. Anandaraj, "Turning Human and Food Waste into Reusable Energy in a Multilevel Apartment Using IoT," 2020 6th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS), Coimbatore, India, 2020, pp. 440-444, doi: [10.1109/ICACCS48705.2020.9074170](https://doi.org/10.1109/ICACCS48705.2020.9074170).

2. E. Harb and A. Mourtada, "Biodiesel production from freshwater algae in Qaraoun Lake in Lebanon," International Conference on Renewable Energies for Developing Countries 2014, Beirut, Lebanon, 2014, pp. 133-138, doi: [10.1109/REDEC.2014.7038545](https://doi.org/10.1109/REDEC.2014.7038545).

3. J. Zhang et al., "Potential and Future Prospects of Biomass Production in Saline Soils," 2010 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, Chengdu, China, 2010, pp. 1-3, doi: [10.1109/APPEEC.2010.5448540](https://doi.org/10.1109/APPEEC.2010.5448540).

4. D. B. Durocher and B. Powell, "On-site biomass co-gen case study: Unleashing power to create value for the wood products industry," Conference Record of 2012 Annual IEEE Pulp and Paper Industry Technical Conference (PPIC), Portland, OR, USA, 2012, pp. 1-7, doi: [10.1109/PPIC.2012.6292991](https://doi.org/10.1109/PPIC.2012.6292991).

## ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ХВИЛЬОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Гулевський В. Б., к.т.н., e-mail: [vadym.hulevskiy@tsatu.edu.ua](mailto:vadym.hulevskiy@tsatu.edu.ua)

Постол Ю. О., к.т.н., e-mail: [yuliapostol111@gmail.com](mailto:yuliapostol111@gmail.com)

Мигуля В. В., здобувачка СВО «Бакалавр»

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність дослідження.** Хвилі океанів і морів мають величезну енергію. Як і всі альтернативні джерела енергії [1], енергія хвиль відновлюється. Хвилі створюються вітром, а вітер — нерівномірним нагріванням поверхні планети, спричиненим головним чином сонячним нагріванням різних місць з різною швидкістю.

Одним із найсерйозніших перешкод на шляху до використання хвильової енергії є те, що більшість хвильових енергетичних систем досить малі і не підходять для живлення великих будівель чи споруд.

Інша проблема з хвильовою енергією полягає в тому, що, як і у випадку із сонячною або вітровою енергією, кількість енергії, яку можна використовувати, залежить від розміру хвиль у будь-який момент часу. Змінні фактори, що впливають на енергію хвиль, включають висоту хвилі, швидкість хвилі, довжину хвилі та щільність хвилі – всі з яких можуть бути непередбачуваними [2].

Різні типи хвильових установок відрізняються складовою енергії вітрової хвилі (видом кінетичної або потенційної енергії), яку робоче тіло установки перетворює в інший вид енергії. В даний час дослідні групи по всьому світу досліджують низку різних концепцій хвильової енергії. Ці дослідницькі зусилля в основному спрямовані на технічну оптимізацію характеристик перетворювачів хвильової енергії на трьох етапах передачі енергії: (1) перетворення енергії хвилі на механічну енергію за рахунок взаємодії хвилі та структури між океанськими хвилями та структурами пристроїв (геометрична оптимізація); (2) передача механічної енергії в електричну (через генератор з прямим приводом або опосередковано, наприклад, за допомогою обертового руху за допомогою повітряних турбін, гідроциліндрів, коробок передач або механічних випрямлячів руху) з використанням оптимальних стратегій управління для налаштування динаміки системи для максимізації вихідної потужності, і (3) силова електроніка для покращення якості електроенергії для перетворення нестандартної потужності змінного струму на потужність постійного струму для зберігання енергії або стандартну потужність змінного струму для інтеграції в мережу.

Якщо правильно використовувати технології перетворення хвильової енергії то це може стати величезною частиною зеленої енергетики, доповнюючи сонячну, вітрові турбіни, геотермальну та гідроенергію [3].

**Мета досліджень.** Перетворення енергії хвиль на електрику — це завдання, яке необхідно вирішити винахідливо та інноваційно. Але процес експериментування та вдосконалення різних конструкцій колекторів хвильової енергії не настільки добре розвинений.

**Основні матеріали досліджень.** Сьогодні існує величезний спектр рішень у галузі хвильової енергетики, деякі з яких знаходяться під водою, інші встановлюються на поверхні, на березі або в морі. Системи уловлювання енергії відрізняються від одного прототипу до іншого. На основі використання однієї характерної ознаки хвильового руху або їх комбінації вже створено велике число різних пристроїв, що поглинають і перетворюють хвильову енергію. Сюди ж входять і пристрої, що уловлюють воду з гребнів хвиль і повертають її на середній рівень або до підніжжя хвиль після перетворення потенційної енергії. Крім того, можна використовувати найрізноманітніші споруди для збільшення інтенсивності хвильового руху в місцях розміщення перетворювачів за рахунок дифракційних і каналних ефектів.

Поширений принцип класифікації хвильових перетворювачів запроваджено М. Френчем [4], заснований за чотирма основними ознаками:

- тип робочих поверхонь: тверді, гнучкі або повітряні;
- тип зв'язків (реакцій): закріплені, балансируні; інерційні;
- конфігурація (форма взаємодії з хвилями);
- спосіб отримання енергії: пневматичний; гідравлічний; прямий електричний.

На сьогодні складність більшості пристроїв, в яких використовуються одночасно перетворення енергії хвиль у потік енергоносія чи механічний момент, а потім на електричну, або інші види енергії, швидше за все приведе до регулярного (і дорогого) обслуговування.

Пошук прямого отримання енергії привів до різних інноваційних рішень, включаючи використання енергії кристалів. Кристали відомі своїми унікальними властивостями, зокрема здатністю перетворювати механічну енергію в електричну. Це явище відоме як п'єзоелектричний ефект, який виникає, коли до певних типів кристалів, таких як кварц, турмалін і топаз, прикладається тиск або механічна напруга. Коли ці кристали стискаються, це призводить до розділення зарядів, утворюючи різницю потенціалів, яку можна використовувати для виробництва електроенергії [5].

Таким чином, якщо до конструкції гнучкого перетворювача енергії хвиль з вертикальними стійками додати п'єзокристали з можливістю вертикальних стійок, під дією хвиль переміщуватися при згинанні-розгинанні, то отримаємо електричну енергію. Вироблена електрика піде на зарядку акумулятора, як додаткової енергетичної можливості. Така хвильова енергетична установка може працювати постійно чи сезонно у прибережних водах морів і океанів, а й у річках.

**Висновок.** Зараз досить перспективним напрямком альтернативної електроенергетики є розвиток хвильової енергетики. При перетворенні енергії хвиль ефективність вироблення електроенергії може значно перевищувати інші альтернативні перетворення [1,6]. Незважаючи на наявність великої кількості конструкцій хвильових генераторів, а також прикладів практично реалізованих проєктів, існує також багато прикладів недостатньо ефективної експлуатації хвильових електростанцій. Причинами проблем є, як принципово невдалі технічні рішення, так і недостатньо опрацьовані технології отримання енергії хвиль. В цій роботі автори запропонували можливість перетворення енергії хвиль на електроенергію за допомогою гнучкого перетворювача.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Стьопін Ю. О., Гулевський В. Б., Перова Н. П. Енергозбереження і використання поновлювальних джерел енергії: Методичні вказівки до практичних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності 141 - "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка". Мелітополь: ПП Белень Л.В., 2019. 60 с. <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/6789>
2. Wave energy pros and cons. *SolarReviews*. URL: <https://www.solarreviews.com/blog/wave-energy-pros-and-cons> (дата звернення: 30.10.2023).
3. How waves could power a clean energy future. *CNBC* URL: <https://www.cnbc.com/2022/09/07/why-wave-power-could-complement-solar-and-wind.html> (дата звернення: 30.10.2023).
4. French, M.J. (1985). Introduction. In: *Conceptual Design for Engineers*. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-11364-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-11364-6_1)
5. Пат. 146832, Україна, МПК F03B 13/18 (2006.01). Гнучкий перетворювач енергії хвиль. Стручасв М.І., Постол Ю.О., Самойчук К.О., Гулевський В.Б., Тимофєєв С.О.; заявл. 22.09.2020; опубл. 24.03.2021. Бюл. №12/2021. <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/13693>
6. Гулевський В. Б., Постол Ю. О. Удосконалення конструкції кавітаційного теплогенератора. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Мелітополь: ТДАТУ, 2022. Вип. 12, Т 2. DOI: [10.31388/2220-8674-2022-2-25](https://doi.org/10.31388/2220-8674-2022-2-25).

## ЛОКАЛЬНІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ЯК БАЛАНСУЮЧІ ГРУПИ

Гулько І. О., докторант, e-mail: [iryna\\_hunko@ukr.net](mailto:iryna_hunko@ukr.net)Лежнюк П. Д., д.т.н., проф., e-mail: [lezhpd@gmail.com](mailto:lezhpd@gmail.com)Козачук О. І., аспірант, e-mail: [olegxname@gmail.com](mailto:olegxname@gmail.com)Інститут відновлюваної енергії НАН України  
Вінницький національний технічний університет

**Актуальність дослідження.** В роботі показана можливість формування локальних електроенергетичних систем (ЛЕС) на основі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) як балансуєчих груп в електроенергетичній системі (ЕЕС), які можуть зберігати працездатність і забезпечити електропостачання споживачів в автономному режимі. Розглянуто проблему балансування потужності та електроенергії в ЛЕС, в яких споживання електроенергії та її генерування відновлюваними джерелами енергії співрозмірні між собою. В ЛЕС реалізується принцип – те, що генерується, споживається власними споживачами. Разом з тим ЛЕС є частиною електроенергетичної системи (ЕЕС) з тепловими і атомними електростанціями та розглядається як окрема балансуєча група. ЛЕС формуються таким чином, що вони можуть працювати в автономному режимі як в нормальному, так і воєнному станах країни. Джерелами електроенергії в ЛЕС є малі гідроелектростанції (МГЕС), фотоелектричні та вітрові електростанції (ФЕС, ВЕС), вироблення якими електроенергії є нестабільним через залежність від природних умов. Тому в структурі ЛЕС з ВДЕ передбачена система накопичення енергії, запаси якої достатні для компенсації нестабільності генерування та балансування режиму. В ЛЕС задіяні, як резерв, існуючі в ЕЕС маневрені потужності, електрохімічні накопичувачі, водневі технології та біогазові установки. Використовується також спосіб узгодження в ЛЕС графіків генерування і споживання електроенергії за рахунок активних споживачів.

**Основні матеріали досліджень.** На рисунку наведено склад ЛЕС, яка може бути окремою балансуєчою групою в складі електроенергетичної системи (ЕЕС).

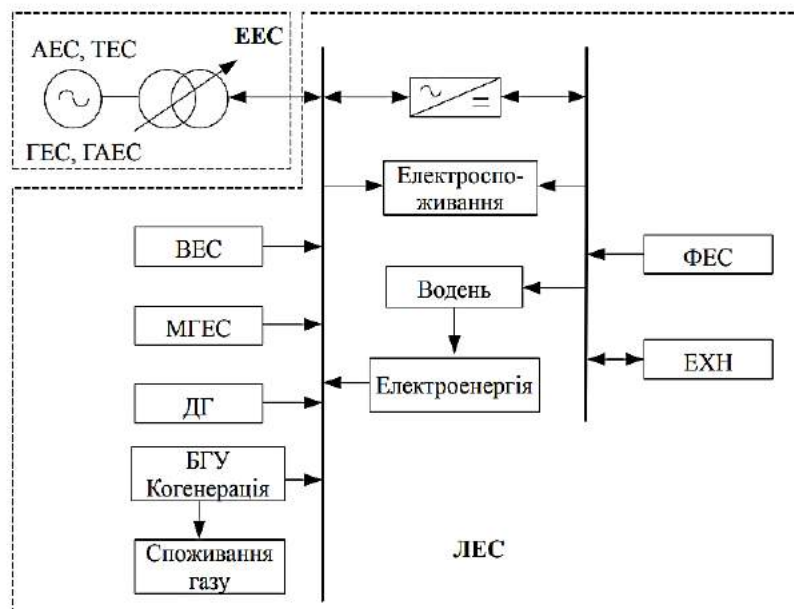


Рисунок 1 – Структура локальної електроенергетичної системи

Залежно від технічних і фінансово-економічних можливостей ЛЕС можуть формуватися по-різному. Основними є два варіанти: існує інфраструктура з розвиненим електроспоживанням і навколо розбудовується система розосередженого генерування, ЛЕС

проектується і будується практично з «нуля» зі споживачем електроенергії і його енергозабезпеченням. Існують реальні приклади. Наприклад, діюча птахофабрика як комплекс з відгодівлею і переробленням сировини, комбікормовий завод, елеватори та ін. загальною потужністю в середньому 30 МВА з живленням від ЕЕС на 110 кВ. Інший варіант – проектується база відпочинку з окремими повністю електрифікованими будинками, ФЕС і лінією електропередачі від ЕЕС. Як для першого, так і другого варіантів характерною є поетапна розбудова в ЛЕС відновлюваних джерел енергії і засобів резервування їх нестабільного генерування. Виникає питання щодо обґрунтування їх складу, потужності і ємності, черговості впровадження. За певних умов, під час втрати зв'язків з ЕЕС, ЛЕС може функціонувати в автономному режимі. В неї входять джерела електроенергії, накопичувачі електроенергії та споживачі електроенергії. Джерелами електроенергії є ФЕС, ВЕС, малі гідроелектростанції (МГЕС), дизель генератори (ДГ), біогазові установки (БГУ) з когенераційними установками. ЛЕС під'єднана до ЕЕС, в склад якої входять атомні електричні станції (АЕС), теплові електростанції (ТЕС), гідроелектростанції (ГЕС) та гідроакumuлюючі електростанції (ГАЕС). В залежності від стану і можливостей власних джерел живлення ЛЕС може брати або передавати електроенергію в ЕЕС.

Як накопичувачі і перетворювачі електроенергії в інші види енергії і навпаки використовуються електрохімічні накопичувачі (ЕХН), водневі і біогазові установки. Водневі технології призначені шляхом електролізу виробляти водень, який може для підтримання балансу електроенергії в ЛЕС використовуватися для вироблення електроенергії. Споживачами електроенергії в ЛЕС є промислове і комунально-побутове навантаження, а також водневі технології та ЕХН в режимі заряду.

Баланс електроенергії в ЛЕС, як в балансуєчій групі, записується:

$$\pm P_{EES}(t) + P_{ФЕС}(t) + P_{ВЕС}(t) + P_{МГЕС}(t) + P_{БГУ}(t) \pm P_{\theta}(t) \pm P_x(t) - P_{cn}(t) - \Delta P(t) = 0, \quad (1)$$

де  $P_{EES}(t)$  – потужність ЕЕС;  $P_{ФЕС}(t)$  – потужність ФЕС;  $P_{ВЕС}(t)$  – потужність ВЕС;  $P_{МГЕС}(t)$  – потужність малих гідроелектростанцій;  $P_{БГУ}(t)$  – електрична потужність когенераційних установок;  $P_{\theta}(t)$  – потужність водневих установок;  $P_x(t)$  – потужність електрохімічних накопичувачів;  $P_{cn}(t)$  – потужність споживачів електроенергії, в тому числі «активних»;  $\Delta P(t)$  – технологічні витрати в електричних мережах.

Вибір складу способів і засобів для резервування та балансування режимів ЛЕС є оптимізаційною задачею. Критерієм оптимальності є сумарні витрати на резервування потужності несталого генерування ВДЕ за умови дотримання техніко-технологічних показників. Складність оптимізації полягає в тому, що скористатися традиційними методами оптимізації, в яких складові цільової функції є розмірними величинами (в грошових одиницях), на сьогодні нереально через розбіжність, а то й відсутність відповідних цінових показників. Тому пропонується скористатися критеріальним методом, основою якого є теорія подібності, який дозволяє оцінити складові способів і засобів резервування у відносних одиницях і порівняти їх між собою.

**Висновок.** Таким чином, завдяки розбудові відновлюваних джерел в електроенергетичних системах, зокрема в розподільних електричних мережах, появилася можливість створювати системи електропостачання споживачів на основі ВДЕ. Поза тим, що це забезпечує певні переваги щодо енергоефективності електропостачання, є можливість формування локальних електроенергетичних систем на основі ВДЕ як балансуєчих групи в електроенергетичній системі. Проте через те, що генерування фотоелектричних і вітрових електростанцій залежить від погодних умов, то вони не можуть бути гарантованим постачальником електроенергії без додаткових засобів. Такими можуть бути системи, які запасують (накопичують) електроенергію, коли в ЛЕС генерується надлишок електроенергії для власних споживачів, і які повертають електроенергію в ЛЕС, коли в ній спостерігається дефіцит. За таких умов ЛЕС можуть зберігати працездатність і забезпечити електропостачання споживачів в автономному режимі.

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ  
ПРИ ПРОВЕДЕННІ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ 0,38 ТА 10 КВ

Демченко Г. С., магістрант, e-mail: [demcenkogrigorij21@gmail.com](mailto:demcenkogrigorij21@gmail.com)

Мороз О. М., д.т.н., проф., e-mail: [moroz.an@ukr.net](mailto:moroz.an@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Особливістю електричних мереж об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України є великі значення технологічних витрат, особливо в розподільних електричних мережах у порівнянні з економічно розвиненими країнами. Такі витрати в першу чергу обумовлюються станом електротехнічного обладнання мереж. Аналіз даних технологічних витрат електричної енергії в мережах з рівнем напруги 10 – 0,38 кВ за 2017 рік склав біля 8,1 млрд. кВт\*год, тобто майже 63% від загального обсягу технологічних витрат в розподільних мережах. У цінах 2017 ці втрати склали майже 36 млн. доларів США [1]. Таким чином реконструкція мереж з напругою 10-0,38 кВ дозволить значно зменшити технологічні втрати електричної енергії в них та підвищити їх енергоефективність. В свою чергу ефективність реконструкції мереж залежить в значній мірі від прийнятих технологічних рішень.

**Мета досліджень.** Проведення комплексного дослідження щодо визначення напрямків підвищення ефективності технологічних рішень при проведенні реконструкції мереж 0,38 та 10 кВ, зокрема шляхом оптимального розміщення пристроїв, які дозволяють зменшити час визначення місць пошкоджень в розподілених електричних мережах і відповідно знизити недовідпуск електроенергії, а також визначення концепцій відновлення енергосистеми України після війни.

**Основні матеріали досліджень.** Реконструкції електричних мереж проводиться з метою підвищення їх пропускної здатності за рахунок збільшення перерізу проводів, підвищення їх механічної міцності та оснащення лінії пристроями автоматики, телемеханіки і дистанційних визначень до місць пошкоджень. Обов'язковій реконструкції підлягають електричні мережі, що знаходяться в незадовільному стані, зокрема при перевищенні обсягів робіт з усунення виявлених дефектів номенклатури обсягів робіт капітального ремонту, що визначаються згідно нормативного документу [2], та необхідності істотного поліпшення основних техніко-економічних характеристик об'єкта.

Підвищення ефективності технологічних рішень при проведенні реконструкції мереж 0,38 та 10 кВ може бути досягнуто за допомогою різних підходів та стратегій, основними з яких є такі напрямки:

1. Детальний аналіз поточного стану і робочої ефективності існуючої мережі. Це допоможе зрозуміти, які саме елементи мережі потребують реконструкції.

2. Впровадження сучасних технологій, таких як автоматизація, віддалене керування, моніторинг та системи управління мережею, які можуть покращити технічні та економічні показники, а також надійність мережі.

3. Оцінка можливостей зменшення втрат електричної енергії шляхом використання більш ефективного обладнання та підвищення ступеня автоматизації.

4. Розгляд можливостей використання розосереджених потужностей генерації електричної енергії на основі використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні та вітрові електростанції, для зменшення втрат електроенергії при її транспортуванні в лініях електропередачі.

5. Визначення оптимальної топології мережі та місць для розміщення обладнання з метою зменшення втрат електроенергії, підвищення ефективності передачі та покращення якості електричної енергії.

6. Розробка стратегій для ефективного управління завантаженням мережі та попередження перевантажень.

7. Забезпечення високого рівня безпеки та надійності електричних мереж шляхом впровадження заходів захисту від аварійних режимів роботи та несанкціонованого доступу до електрообладнання.

8. Аналіз витрат та розробка бюджету для максимізації ефективності витрат під час реконструкції мережі.

9. Дотримання стандартів та регулювань у сфері електроенергетики для забезпечення правильної роботи мережі та безпеки обслуговуючого персоналу.

10. Навчання та підготовка персоналу для роботи з новим обладнанням та технологіями.

Одним із напрямків технологічних рішень при реконструкції електричних мереж є оптимальне розміщення пристроїв, які дозволяють зменшити час визначення місць пошкоджень в розподілених електричних мережах і відповідно знизити недовідпуск електроенергії [3]. Проведені дослідження показали, що в розгалужених нерезервованих мережах 10 кВ як при малих, так і при великих потужностях електроустановок споживачів найбільш ефективною є установка лінійного роз'єднувача спільно з покажчиком пошкодженої ділянки, що дозволяє передавати інформацію про місце пошкодження на диспетчерський пункт. У той же час установка засобів підвищення ефективності електропостачання (ЗПЕЕ) в мережах з резервуванням є більш дорожчою, з огляду на необхідність установки хоча б одного автоматичного секціонуючого апарату на магістралі лінії, та, як наслідок, неефективною при малих (менше 250 кВА) потужностях електроустановок споживачів. Таким чином установка оптимальної схеми розташування ЗПЕЕ дозволяє знизити (у порівнянні з мережею без ЗПЕЕ) річні збитки від перерв в постачанні електричної енергії до 83,17% – в нерезервованих мережах та до 89,93% – в мережах з АВР.

Головним викликом для енергетичної системи України на сьогодні є наміри рф зруйнувати її, а також питання відбудови і розвитку енергосистеми в майбутньому. Однією із концепцій відновлення енергосистеми є впровадження смартгрідів та розподіленої генерації. В майбутній перспективі Україні необхідно буде посилювати гнучкість та стійкість енергосистеми, оскільки існуюча централізована енергосистема з потужними електричними станціями не є надійною і сталою. Сьогодні актуальними є нові виклики: технологічні, пов'язані з декарбонізацією, зміною культури споживання, диверсифікацією умов та запитів на споживання, просьюмерством, децентралізацією генерації та інші. Перспективними параметрами ОЕС України є такі показники: 50% централізована генерація, 20-25% – розподілена генерація, 20-25% – інтерконнектори з суміжними енергосистемами, які повинні забезпечити сталість та стійкість (resilient) системи [4].

**Висновки.** Загальний підхід до підвищення ефективності реконструкції мережі полягає в поєднанні інженерних рішень, економічного аналізу та використання сучасних технологій для покращення роботи та надійності електроенергетичної системи, а також передбаченні напрямків розвитку енергетичної системи України, в тому числі і при проведенні реконструкції розподільних мереж.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Стрелкова Г. Г., Пустовойтов А. М. Аналіз технологічних витрат електричної енергії в розподільних електричних мережах України. V Міжнародна науково-технічна та навчально-методична конференція «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS'18». URL: <https://cutt.us/J2SD7>.

2. Методичні вказівки з обліку та аналізу в енергосистемах технічного стану розподільчих мереж напругою 0,38-20 кВ з повітряними лініями електропередачі. URL: <https://cutt.us/MEcPO>.

3. Сиротенко М. О. Моделі та методи оптимізації розташування апаратних засобів підвищення ефективності електропостачання в мережах 10 кВ. Автореферат дис. на здоб. наук. ступеню к.т.н., спец. 05.14.02 – електричні станції, мережі та системи. Харків, 2016. 22 с. URL: <https://cutt.us/UiRm4>.

4. Відбудова енергосистеми по-новому. URL: <https://cutt.us/dN27x>.



ОПТИМІЗАЦІЯ АНТИВІДБИВНИХ ПОКРИТТІВ КРЕМНІЄВИХ  
ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ  
ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Дяденчук А. Ф., к.т.н., доц., e-mail: [alena.dyadenchuk@tsatu.edu.ua](mailto:alena.dyadenchuk@tsatu.edu.ua)

Галько С. В., к.т.н., доц., e-mail: [galkosv@gmail.com](mailto:galkosv@gmail.com)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність дослідження.** В останні десятиліття спостерігається стрімкий розвиток сонячної енергетики як важливого джерела відновлювальної енергії [1-3]. Сонячні панелі стають все більш поширеними і економічно доступними для домогосподарств, підприємств та громадських будівель. Оптимізація фотоперетворювачів може допомогти підвищити ефективність цих систем. В антивідбивних покриттях фотоперетворювачів велике значення мають втрати через відбивання світла [4]. Ці втрати можуть суттєво знижувати загальну ефективність сонячних панелей. Оптимізація антивідбивних покриттів є важливим завданням для зменшення цих втрат. Використання діоксиду кремнію  $\text{SiO}_2$  як антивідбивного покриття в кремнієвих фотоелементах призводить до зменшення втрат через відбивання світла та підвищення ефективності фотоперетворення [5]. Мінімізація відбивання світла може відбуватися шляхом оптимізації параметрів шару діоксиду кремнію щодо товщини та оптичних властивостей.

**Мета даного дослідження** полягає в дослідженні та оптимізації антивідбивних покриттів кремнієвих фотоелементів з використанням діоксиду кремнію  $\text{SiO}_2$  шляхом контролю товщини шару.

**Основні матеріали дослідження.** Відбивна здатність структури може бути обумовлена різними факторами, включаючи оптичні та геометричні властивості матеріалу, товщина та кількість шарів тощо. Відбивну здатність структури, коли падаюче світло падає нормально на поверхню кремнію, покритого шаром одного антивідбивного покриття, знайдемо за формулою [6]:

$$R = \frac{r_1^2 + r_2^2 + 2r_1r_2 \cos 2\theta_1}{1 + r_1^2r_2^2 + 2r_1r_2 \cos 2\theta_1},$$

де

$$r_1 = \frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1}, \quad r_2 = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}, \quad \theta_1 = \frac{2\pi n_1 d_1}{\lambda}.$$

На рис. 1 показано зміну коефіцієнта відбиття як функцію довжини хвилі. При розрахунках товщина шару  $\text{SiO}_2$  фіксувалась на значенні 100 нм, показник заломлення для  $\text{SiO}_2$  та Si обирались 1,55 та 3,88 відповідно.

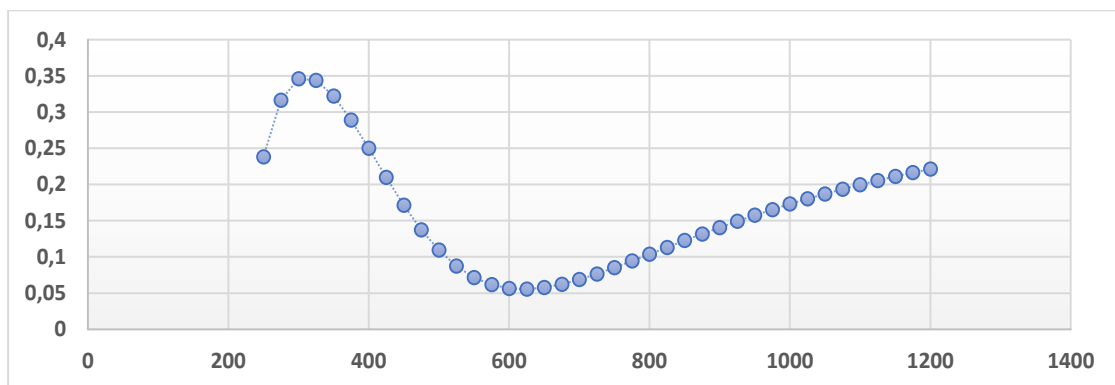


Рисунок 1 – Зміна коефіцієнта відбиття як функція довжини хвилі для структури  $\text{SiO}_2/\text{Si}$

З рис. 1 видно, що покриття  $\text{SiO}_2$  в діапазоні довжин хвиль 500-700 нм, на який припадає пікова енергія в сонячному спектрі (500 нм) та максимальний відгук в кремнієвій комірці ~800 нм, має коефіцієнт відбиття в межах 6-11 %.

На наступному етапі дослідження було проведено дослідження впливу товщини шару діоксиду кремнію на відбивну здатність розглядуваної структури (рис. 2).

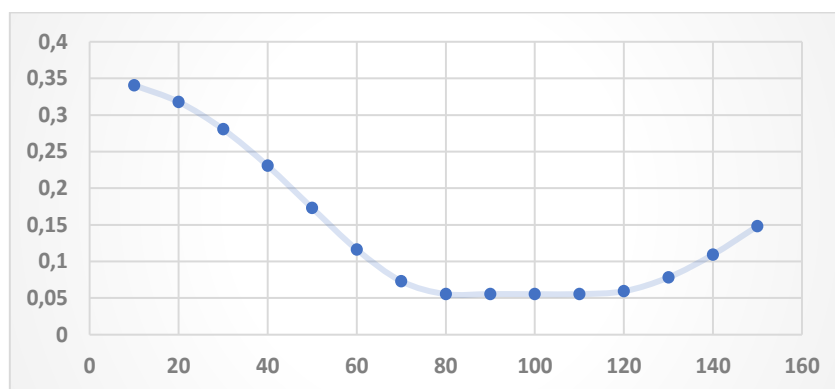


Рисунок 2 – Зміна коефіцієнта відбиття як функція товщини шару SiO<sub>2</sub>

Отримані результати свідчать, що в заданому інтервалі товщин (500-700 нм) відбивна здатність набуває значень 35-5%. Встановлено, що існує оптимальна товщина шару 80-100 нм для досягнення мінімального відбиття на рівні 5%.

Дослідження можуть бути продовжені для пошуку оптимальної товщини шару діоксиду кремнію, яка забезпечує найменше відбивання в різних діапазонах довжин хвиль. Це дозволить визначити точні параметри для мінімізації втрат світла.

**Висновок.** Отримані значення коефіцієнту відбиття (6-11%) свідчать про певну антивідбивну ефективність поверхні структури SiO<sub>2</sub>/Si. Встановлена оптимальна товщина шару діоксиду кремнію в межах 80-100 нм, яка дозволяє досягти мінімального коефіцієнта відбиття на рівні 5%. Ця оптимальна товщина може бути важливою для розробки антивідбивних покриттів для оптичних систем та сонячних панелей. Результати дослідження підкреслюють важливість оптимізації товщини шару діоксиду кремнію для підвищення антивідбивної ефективності та покращення ефективності оптичних систем та сонячних енергетичних систем.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Галько С. В. Використання когенераційних фотоелектричних модулів для зарядки акумуляторів електромобілів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки*. Мелітополь: ТДАТУ. 2019. Вип. 19, т. 3. С. 130-141. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-3-130-141>.
2. Галько С. В. Експериментальне дослідження і визначення параметрів когенераційного фотоелектричного модуля для гібридних сонячних електростанцій. *Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень: матеріали Міжнар. наук. конф., м. Луцьк, 10 квіт. 2020 р.* Луцьк: МЦНД. 2020. Т. 1. С. 83-90. <https://doi.org/10.36074/10.04.2020.v1.10>.
3. Divyapriya S., Amudha A., Vijayakumar R. Design of Solar Smart Street Light Powered Plug-in Electric Vehicle Charging Station by Using Internet of Things. *J. Inst. Eng. India Ser. B*. 2021. V. 102. Pp. 477–486. <https://doi.org/10.1007/s40031-021-00548-y>
4. Kidalov V. V., Dyadenchuk A. F., Khrypko S. L., Khrypko O. S. Investigation the Structures ZnO: Al/SiO<sub>x</sub>/PorSi/p-Si/Al. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2017. V. 18(2). Pp. 180-183.
5. Kanmaz I., Abdullah Ü. Z. Ü. M. Silicon dioxide thin films prepared by spin coating for the application of solar cells. *International Advanced Researches and Engineering Journal*. 2021. V. 5(1). Pp. 14-18.
6. Sharma R., Gupta A., Viridi A. Effect of Single and Double Layer Antireflection Coating to Enhance Photovoltaic Efficiency of Silicon Solar. *J. Nano- Electron. Phys*. 2017. V. 9, No 2. Pp. 02001(4pp). [https://doi.org/10.21272/jnep.9\(2\).02001](https://doi.org/10.21272/jnep.9(2).02001)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧА НА ОСНОВІ ZnO/porous-Si/Si

Дяденчук А. Ф., к.т.н., доц., e-mail: [alena.dyadenchuk@tsatu.edu.ua](mailto:alena.dyadenchuk@tsatu.edu.ua)

Галько С. В., к.т.н., доц., e-mail: [galkosv@gmail.com](mailto:galkosv@gmail.com)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність дослідження.** Сонячні фотоперетворювачі мають величезне значення з точки зору сталого розвитку та збереження природних ресурсів [1]. В умовах зростаючого попиту на чисту та відновлювану енергію дослідження фотоелектричних властивостей фотоперетворювача на основі ZnO/porous-Si/Si стає надзвичайно актуальним завданням [2-3]. Даний фотоперетворювач може мати різні конструкції та параметри в залежності від конкретних досліджень та розробок, але в цілому ця структура є одним із можливих варіантів для створення сонячних елементів та інших фотодетекторів. Крім цього критично важливою проблемою у дослідженнях сонячних енергосистем і фотоелектричних пристроях є вплив температури на ефективність фотоперетворювача (ФЕП) [4-5], тому доцільним також є дослідження впливу температури на фотоперетворювачі з метою вдосконалення конструкції, які зменшують негативний вплив тепла.

Враховуючи вищезазначене, **метою дослідження** є дослідження робочих характеристик фотоперетворювача на основі ZnO/porous-Si/Si та аналіз впливу температури на ефективність цього фотоперетворювача.

**Основні матеріали дослідження.** Фотоелектричні властивості перетворювача на основі ZnO/porous-Si/Si були отримані за допомогою програмного забезпечення для моделювання фотовольтаїчних пристроїв PC1D. Дана програма дозволила провести розрахунки вольт-амперної характеристики для оцінки ефективності та продуктивності фотоперетворювача (рис. 1). Основні робочі характеристики, використані та отримані з моделювання, представлено в табл. 1.

Таблиця 1 – Робочі характеристики фотоперетворювача ZnO/porous-Si/Si

| Товщина шару<br>ZnO, нм | Товщина шару<br>porous-Si, нм | Напруга холостого<br>ходу, $U_{oc}$ , мВ | Струм короткого<br>замикання, $J_{sc}$ , мА |
|-------------------------|-------------------------------|--|---|
| 100                     | 200                           | 29,9                                     | 804,2                                       |

ККД досліджуваного перетворювача розраховано за формулою наведеною в [6]. Проведені підрахунки дозволили встановити, що ефективність отриманого ФЕП на основі ZnO/porous-Si/Si становить 20,2%.

Результати моделювання впливу температури на ефективність фотоперетворювача свідчать, що зі збільшенням робочої температури ФЕП відбувається незначне збільшення значення струму короткого замикання, що пов'язано зі збудженням великої кількості електронно-діркових пар. Значення напруги холостого ходу у діапазоні температур 280-330 К дещо зменшується. Це може вплинути на ефективність ФЕП при вищих температурах, оскільки напруга холостого ходу є важливою характеристикою сонячних елементів. Підвищення температури також призводить до зниження ККД досліджуваної структур на 2,2%, що свідчить про необхідність розглядати методи для збільшення термостійкості та покращення ефективності цієї сонячної структури при вищих температурах.

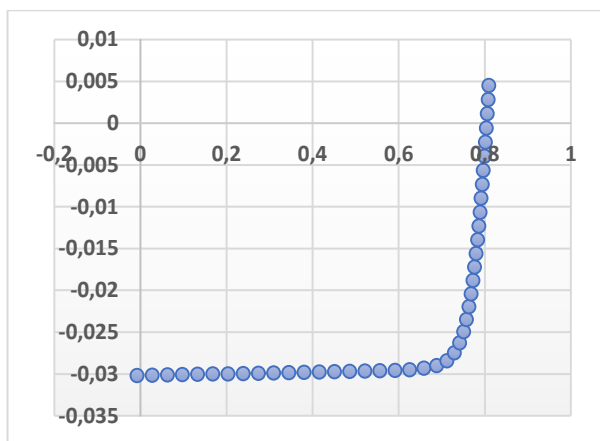


Рисунок 1 - Вольт-амперна характеристика фотоперетворювача на основі ZnO/porous-Si/Si

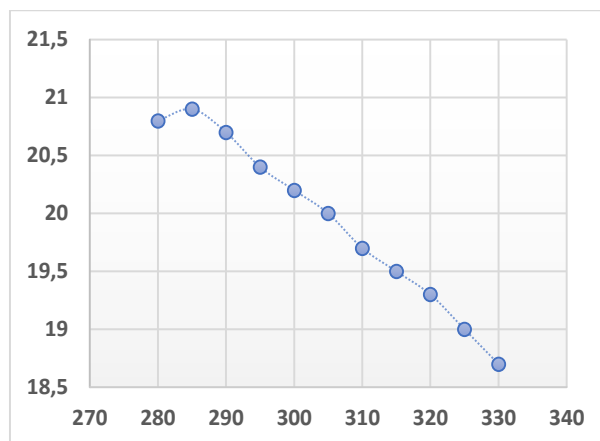


Рисунок 2 - Залежність ККД фотоперетворювача на основі ZnO/porous-Si/Si від температури

Отже, збалансовуючи позитивні та негативні аспекти досліджень, можна зробити висновок про можливості та обмеження використання даної структури для сонячних елементів і визначити шляхи подальших досліджень для поліпшення її характеристик.

**Висновок.** Дослідження структури ZnO/porous-Si/Si може призвести до розробки більш ефективних та доступних сонячних фотоперетворювачів, що сприятиме зменшенню викидів парникових газів та розвитку сонячної енергетики як екологічно чистого джерела електроенергії. Ефективність фотоперетворювача у 20,2% вважається досить високою, і структура ZnO/porous-Si/Si може бути потенційно корисною для виробництва сонячних елементів. Однак важливо також розглянути інші фактори, такі як стабільність та термостійкість, щоб визначити, наскільки ця структура підходить для практичного застосування в сонячних панелях.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Halko S., Halko K. Research of electrical and physical characteristics of the solar panel on the basis of cogeneration photoelectric modules. Integración de las ciencias fundamentales y aplicadas en el paradigma de la sociedad post-industrial: *Colección de documentos científicos «ΛΟΓΟΣ» con actas de la Conferencia Internacional Científica y Práctica*, 24 de abril de 2020. Barcelona, España: Plataforma Europea de la Ciencia. 2020. Vol. 2. P. 39-44. <https://doi.org/10.36074/24.04.2020.v2.10>.
2. Hadí A. J., Nayef U. M., Mutlak F. A. H., Jabir M. S. High-Efficiency Photodetectors Based on Zinc Oxide Nanostructures on Porous Silicon Grown by Pulsed Laser Deposition. *Plasmonics*. 2023. Pp. 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11468-023-02016-3>
3. Kidalov V., Dyadenchuk A., Khrypko S., Khrypko O. Investigation the Structures ZnO:Al/SiOx/PorSi/p-Si/Al. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2017. V. 18(2). Pp. 180-183. <https://doi.org/10.15330/pcss.18.2.180-183>
4. Зайцев Р. В., Кіріченко М. В., Хрипунов Г. С., Зайцева Л. В. Вплив робочої температури на ефективність промислових зразків кремнієвих фотоелектричних перетворювачів китайського виробництва. *Відновлювана енергетика*. 2017. Т. 3. С. 35-41.
5. Halko S., Suprun O., Miroshnyk O. Influence of temperature on energy performance indicators of hybrid solar panels using cylindrical cogeneration photovoltaic modules. 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2021 – Conference Proceedings. 2021. P. 132-136. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9569975>.
6. Dyadenchuk A.F., Kidalov V.V. Films CdS Grown on Porous Si Substrate. *Journal of Nano-and Electronic Physics*. 2018. V. 10 (1). P. 01007 (4pp). [https://doi.org/10.21272/jnep.10\(1\).01007](https://doi.org/10.21272/jnep.10(1).01007).

## ОЦІНЮВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ГРАФІКІВ ГЕНЕРУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ СТАНЦІЯМИ НА ДОБУ НАПЕРЕД

Комар В. О., д.т.н., проф., e-mail: [kvo1976@ukr.net](mailto:kvo1976@ukr.net)Семенюк Ю. В., аспірант, e-mail: [le14b.semenyuk@gmail.com](mailto:le14b.semenyuk@gmail.com)Підгорець С. В., магістр, e-mail: [pidgorets123@gmail.com](mailto:pidgorets123@gmail.com)

Вінницький національний технічний університет

**Актуальність дослідження.** Наразі в Україні діють вимоги допустимих відхилень прогнозованого графіка генерування від фактичного виробітку електроенергії на рівні 5%, це прописано в Законі України Про ринок електричної енергії. Цим же Законом встановлено умови компенсації за небаланси, об'єм визначається Постановою НКРЕКП Про затвердження нормативно-правових актів, що регулюють діяльність гарантованого покупця та купівлі електричної енергії за «зеленим» тарифом та за аукціонною ціною №641 від 26.04.2019 р.

**Основні матеріали дослідження.** Для отримання прогнозів, які будуть відповідати вимогам Закону, необхідно мати відповідної якості прогноз метеопараметрів. Так склалось, що українських метеосервісів з прогнозами сонячного випромінювання з годинною дискретністю немає. Тому для прогнозування використовують закордонні сервіси. Їх є достатня кількість однак вартість їх послуг досить таки висока і це не є запорукою відповідного рівня якості прогнозів. В роботі проведемо аналіз двох сервісів за допустимою ціною (називати їх не будемо, а пронумеруємо 1 та 2). Перевірку проведемо на дослідній фотоелектричній станції (ФЕС) потужністю 3 кВт, яка розташована на даху корпусу факультету електроенергетики та електромеханіки Вінницького національного технічного університету і укомплектована метеостацією з вимірюванням сонячного випромінювання, температури навколишнього середовища, температури панелі, швидкості вітру. Дані з метеопосту з 5-ти хвилинною дискретністю зберігається на сервері.

Аналіз статистичних даних підтверджує відомі результати отримані іншими науковцями щодо залежності генерованої потужності ФЕС від метеопараметрів: коефіцієнти кореляції між електричною потужністю і сонячною радіацією – 0,988; температурою панелі – 0,726; температурою навколишнього середовища – 0,461; швидкістю вітру – 0,198. Чутливість генерованої потужності до відповідних параметрів становить: сонячна радіація – 0,96; температура панелі – 0,019; швидкість вітру – 0,00086; температура навколишнього середовища – 0,0075. Очевидно, що чутливість дещо змінюється в залежності від сезону.

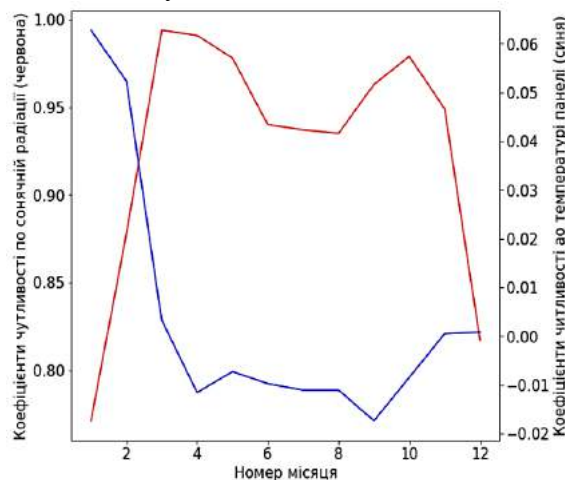


Рисунок 1 – Чутливість генерованої електроенергії до впливових метеопараметрів

На рисунку 1 показано результати аналізу чутливості генерованої ФЕС електроенергії до впливових метеопараметрів протягом року. Під час літнього періоду (червень-серпень)

коефіцієнти чутливості по сонячній радіації (чевна крива) є найнижчими. Щодо температури на поверхні панелі (синя крива), то найнижчими коефіцієнти чутливості будуть у місяці найбільшої сонячної активності (з квітня по вересень). На рисунку 2 показано розподіли фактичних та прогнозних метеопараметрів (температура навколишнього середовища (а), швидкість вітру (б), сонячне випромінювання (в)).

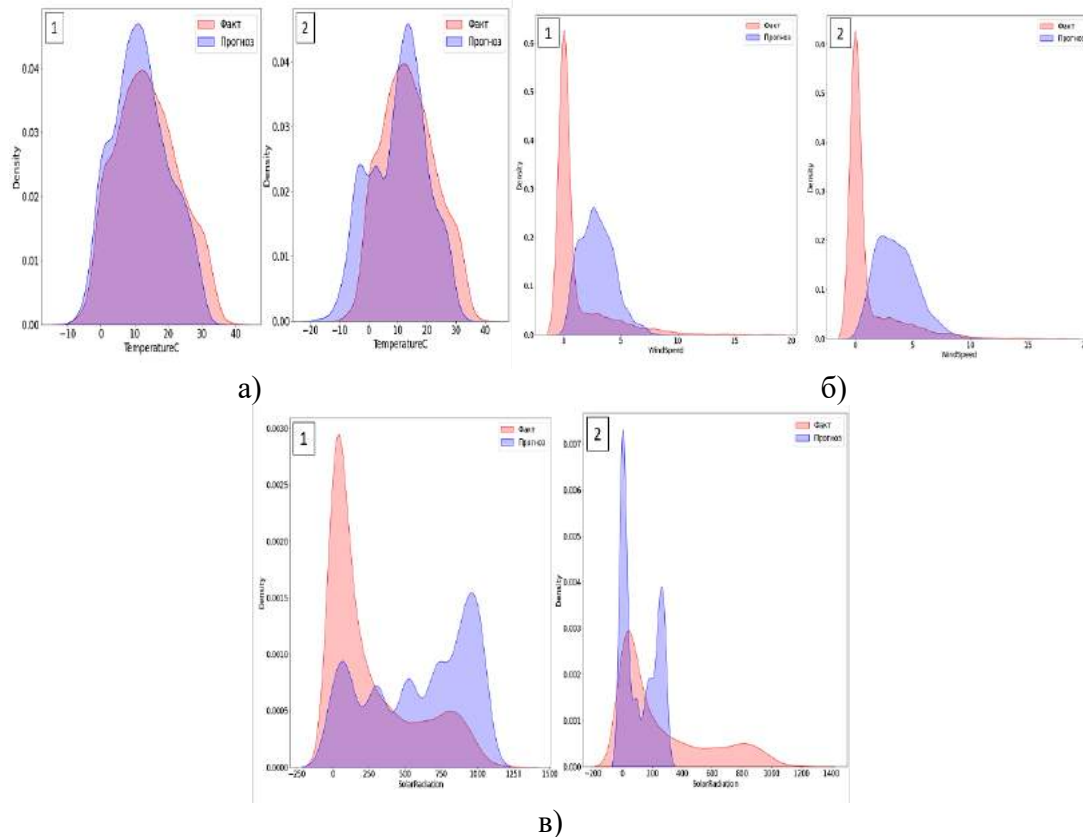


Рисунок 2 – Розподіл метеопараметрів за фактичними (червона крива) та прогнозованими значеннями (синя крива)

Аналіз результатів наведених на рисунку 2 дозволяє зробити висновок, що наразі для території України відсутні прогнози метеопараметрів з достатньою точністю.

Використання прогнозованих метеопараметрів за вказаної точності призводить до погіршення точності моделі прогнозування генерації електроенергії ФЕС та унеможливає дотримання зазначених в Законі України Про ринок електроенергії допустимих меж відхилення  $\pm 5\%$ .

**Висновок.** Проведені дослідження доступних математичних моделей прогнозування сонячної радіації показали необхідність визначення додаткових параметрів, зокрема: вмісту аерозолей, каламутності, відношення прямого та розсіяного випромінювання тощо.

Для отримання додаткових параметрів потрібна розгалужена система метеостанцій, якої в Україні немає і найближчим часом будуватись не буде. Тому, для зниження небалансів, необхідно розбудовувати системи накопичення енергії та маневрені потужності. Для цього необхідно залучати як державні кошти, так і кошти інвесторів. Однак для інвестиційної привабливості необхідно щоб в повній мірі запрацював ринок допоміжних послуг.

Шлях, яким пішла України, зазначивши в Законі України Про ринок електричної енергії допустимі відхилення прогнозованого графіка генерування від фактичного виробітку на рівні 5% для фотоелектричних станцій, лише призвів до відтоку інвестицій з цього сектора економіки. Основні причини:

- в необґрунтованості діапазону в 5%, який не можуть забезпечити і в Європейських країнах;
- непрозорість формули, за якою визначають розмір компенсацій.

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ АВТОНОМНОЇ ФОТО-ДИЗЕЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Коробка С. В., к.т.н., доцент, e-mail: [korobkasv@ukr.net](mailto:korobkasv@ukr.net)Сиротюк С. В., к.т.н., доцент, e-mail: [ssyr@ukr.net](mailto:ssyr@ukr.net)Стукалець І. Г., к.т.н., доцент, e-mail: [igorstukalets@gmail.com](mailto:igorstukalets@gmail.com)Станицький Т. О., e-mail: [stanytskyytaras@gmail.com](mailto:stanytskyytaras@gmail.com)

Львівський національний університет природокористування

**Актуальність дослідження.** Збільшення використання відновлюваних джерел енергії для створення автономних гібридних енергетичних систем є актуальним завданням з метою зменшення впливу на навколишнє середовище, відмови від використання дизельних генераторів та зниження операційних витрат під час виробництва електроенергії в інтелектуальних мережах з розподіленою генерацією, зокрема з використанням "зелених" джерел енергії. Ця проблема особливо актуальна для стільникових веж мобільного зв'язку, віддалених житлових районів і інших децентралізованих споживачів, чис потенційність становить десятки або навіть сотні кіловат.

**Мета дослідження.** Розробка комп'ютерних моделей для оптимізації управління роботою автономних фото-дизельних систем електропостачання, які використовують постійний струм для інтеграції електроенергії від різних джерел, може бути досить доцільною. Ці моделі дозволять мінімізувати час, протягом якого потрібно включати дизель-генератор у випадках аварій або інших пошкоджень, забезпечуючи оптимальну роботу системи при мінімальних витратах. Такий підхід сприятиме збільшенню внеску фотоелектричної станції у загальний баланс енергії при збереженні вигідних техніко-економічних показників. Крім того, використання системи з постійним струмом може допомогти значно зменшити час без продуктивної роботи дизель-генератора, що в свою чергу призведе до економії пального і подовження терміну служби резервного джерела електропостачання, зокрема дизель-генератора (ДГ).

**Основні матеріали дослідження.** Ця робота розширює існуючі методи моделювання та оптимізації автономних гібридних енергетичних установок, які використовують постійний струм. Розширення полягає в використанні нової цільової функції з врахуванням відповідностей та обмежень, а також в адаптації моделей для врахування конкретних техніко-економічних аспектів системи електропостачання. В роботі використовуються доступні комерційні характеристики обладнання, які використовуються в системі, для забезпечення точності аналізу техніко-економічних показників.

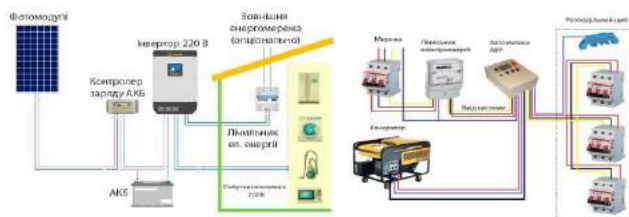


Рисунок 1 – Схема системи живлення фото-дизеля малої потужності

Дослідження передбачає створення комп'ютерних моделей для інтелектуального управління автономним гібридним енергетичним комплексом, який включає в себе фотоелектричну станцію, дизель-генераторну установку, систему зберігання електричної енергії, розподіленого споживача та інші допоміжні пристрої. Моделювання процесів управління виконується за допомогою бібліотеки Stateflow та синтаксису мови високого рівня Matlab, які дозволяють досягти бажаних цілей. Для оптимізації загальних витрат на будівництво та експлуатацію системи використовується функція Intlinprog. Цей підхід дозволяє розподілити вироблену електроенергію між різними компонентами енергетичної системи і використовувати технологію постійного струму для досягнення максимальних технічних та економічних переваг. Нижче наведено функцію для мінімізації цінності цільової функції:

$$f(x) = n_1 C_{spec}^{PV} W_{PV} + n_2 C_{spec}^{DG} W_{DG} + n_3 C_{spec}^{EES} W_{EES} \quad (1)$$

де WPV, WDG і WEES є фактичним річним виробництвом електроенергії кожним генеруючим джерелом, а також кількість енергії, накопиченої в станції;  $n_1, n_2, n_3$  – вектори шуканого змінні: оптимальна кількість фотоелектричних модулів, частина енергії, взятої з ДГ, оптимальна кількість блоків станції відповідно:

$$\begin{cases} n_1, n_2, n_3 \geq 0 \\ n_1 \leq n_{\max}^{PV} \\ n_2 \leq W_{DG} \\ n_1 W_{PV} + n_2 W_{DG} + n_3 W_{EES} = W_{load} \end{cases} \quad (2)$$

Річний визначаються витрати на обслуговування фотоелектричного модуля і отримані річні витрати (3) діляться на кожен кВт·год виробленої електроенергії за сезон.

$$C_{spec}^{PV} = \frac{Price^{PV}}{LT_{PV} W_{sum\_pv}} \quad (3)$$

де PricePV – ціна одного фотоелектричного модуля; LTPV – номінальний термін служби.

Облік собівартості функціонування ДГ (4) складається з двох компонентів: вартість апарату та вартість палива. Витрата палива наведено при середньому коефіцієнті навантаження (Load\_factor2) середній день кожної пори року:

$$C_{pec}^{DG} = \frac{Fuel\_cost}{Load\_factor2 \cdot P_{pomDG}} + \frac{Price^{DG}}{Load\_factor2 \cdot P_{pomDG} \cdot 8760 \cdot LT_{DG}} \quad (4)$$

де Fuel\_cost – вартість палива; PriceDG – ціна DG; LT<sub>DG</sub> – термін його служби.

Основним показником економічної вигідності є вартість виробництва 1 кВт·год електроенергії (вираз 5). Цей показник обчислюється на підставі такої формули:

$$COE = \frac{\frac{1}{T} K + C}{P_{rated}} \quad (5)$$

де Prated – номінальна потужність джерела живлення (кВт); K – загальний обсяг інвестицій в електростанцію, \$; T – економічний термін служби обладнання, років; C – загальні річні експлуатаційні витрати, \$.

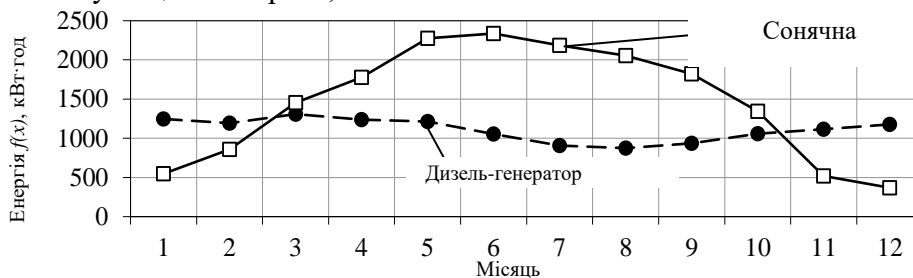


Рисунок 2 – Показники роботи фото-дизельної системи електропостачання постійного потоку для всього сезону роботи

**Висновок.** Дослідження показує, що використання фото-дизельних систем електропостачання на постійному струмі може бути економічно доцільним у всіх сценаріях, які включають в себе різні види акумуляторних батарей. Проте, для системи без зберігання електроенергії, використання розподілу постійного струму часто не є економічно обґрунтованим. Отримані результати будуть корисні фахівцям, які займаються розробкою або експлуатацією автономних систем електропостачання.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Substantiation of economic efficiency of using a solar dryer under conditions of personal peasant farms / Babych M., Korobka S., Skrynkovskyy R., Korobka S., Krygul R. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. **2016**. Vol. 6, Issue 6/8 (84). P. 41–47. doi: [10.15587/1729-4061.2016.83756](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.83756)



МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ КОМІРКИ/МОДУЛІ/  
МАСИВИ З ТЕГАМИ В MATLAB/SIMULINKКоробка С. В., к.т.н., доцент, e-mail: [korobkasv@ukr.net](mailto:korobkasv@ukr.net)Баранович С. М., к.т.н., доцент, e-mail: [baranovich1977@ukr.net](mailto:baranovich1977@ukr.net)Сиротюк С. В., к.т.н., доцент, e-mail: [ssyr@ukr.net](mailto:ssyr@ukr.net)Станицький Т. О., e-mail: [stanytskyitaras@gmail.com](mailto:stanytskyitaras@gmail.com)

**Актуальність дослідження.** Фотоелектрична (PV) батарея, складаючись з модулів, є основним джерелом живлення у системі фотоелектричного генератора. Важко стверджувати, що ця батарея має неоднакові характеристики та вимагає значних зусиль та витрат часу для отримання робочих характеристик під різними умовами експлуатації. Для подолання цих труднощів інженери розробили і інтегрували звичайні та прості моделі сонячних панелей у програмне забезпечення Matlab/Simulink. Проте ці моделі не придатні для використання в гібридних енергетичних системах через їхню вимогу до гнучкої настройки параметрів системи, а також складність їх розуміння для звичайних користувачів. У цій роботі надається послідовний підхід до моделювання фотоелектричних сонячних комірок/модулів/масивів з використанням інструментів тегів у середовищі Matlab/Simulink. Для цього використовується сонячна панель DS-100M, як контрольна модель. В рамках дослідження також аналізуються характеристики фотоелектричних батарей за різних робочих умов та фізичних параметрів.

**Мета дослідження.** Доцільність у розробці комп'ютерних моделей з використанням доступних пакетів, які зазвичай існують у розпорядженні некомерційних дослідників. До них можна віднести пакети Matlab/Simulink тощо. Застосування зазначених програмних засобів дозволяє відносно швидко та точно виконати побудову моделей та їх дослідження, які однак будуть потребувати перевірки в реальних умовах.

**Основні матеріали дослідження.** Характеристики виходу моделі відповідають характеристикам сонячної панелі DS-100M. Зменшення сонячної радіації з 1000 до 100 Вт/м<sup>2</sup> призводить до зниження вихідної потужності, струму і напруги. Зменшення температури призводить до невеликого збільшення вихідної потужності і напруги, залишаючи вихідний струм практично сталим. Опір шунта має значний вплив на робочі характеристики сонячних фотоелектричних батарей і зниження його від 1000 Ом до 0,1 Ом призводить до помітного зменшення вихідної потужності.

Модель сонячної батареї, розроблена з використанням інструментів Tag у середовищі Simulink, обмежена лише двома аспектами (сонячне опромінення та температура) і не надає докладну послідовність для моделювання. Таким чином, запропоновані моделі не забезпечують достатньої інформації для вивчення всіх параметрів, які можуть суттєво впливати на вольт-амперні та потужнісні характеристики фотоелектричної батареї, включаючи фізичні параметри, такі як струм, коефіцієнт ідеальності, послідовний і шунтовий опір, а також врахування екологічних умов (сонячна інсоляція, температура й особливо затінення). Брак послідовної процедури моделювання ускладнює розуміння та виконання моделювання самостійно для читачів і дослідників.

Отже, у цьому дослідженні представлена надійна модель, побудована з використанням інструментів тегів у середовищі Simulink. Запропонована модель відзначається тим, що вона дозволяє ретельно досліджувати вплив всіх параметрів на функціонування фотоелектричних батарей. Крім того, унікальна послідовність моделювання надає читачам можливість навчитися і самостійно проводити симуляції для проведення власних досліджень. Математична модель перехідних процесів являє собою задачу Коші для систем нелінійних диференціальних рівнянь, які описують зміну струмів та напруг такими виразами:

а) вмикання

$$\frac{dU}{dt} = \frac{I_n - U_n / R_n}{C_n}, \quad \frac{dI_n}{dt} = \frac{U - U_n - R_n I_n}{L_n - L_n},$$

$$\frac{dU}{dt} = \frac{I_\phi - \frac{U}{R_{in}} - I_0 \left( \exp\left(\frac{qU}{AkT}\right) - 1 \right) - I_n}{C_0 \left(1 - \frac{U}{U_k}\right)^{-1/2} + I_0 \tau_n \frac{q}{AkT} \exp\left(\frac{qU}{AkT}\right) + U \frac{U_0}{2U_k} \left(1 - \frac{U}{U_k}\right)^{-3/2} + I_0 \tau_n \left(\frac{q}{AkT}\right)^2 \exp\left(\frac{qU}{AkT}\right)};$$

з такими початковими умовами:

$$U(0) = U_{xx}; U_n(0) = U_{xx}; I_n(0) = 0;$$

б) вимкнення

$$\frac{dU_n}{dt} = \frac{I_n}{C_n},$$

$$\frac{dI_n}{dt} = \frac{U - U_n - R_n I_n}{L_n - L_n},$$

$$\frac{dU}{dt} = \frac{I_\phi - \frac{U}{R_{in}} - I_0 \left( \exp\left(\frac{qU}{AkT}\right) - 1 \right) - I_n}{C_0 \left(1 - \frac{U}{U_k}\right)^{-1/2} + I_0 \tau_n \frac{q}{AkT} \exp\left(\frac{qU}{AkT}\right) + U \frac{U_0}{2U_k} \left(1 - \frac{U}{U_k}\right)^{-3/2} + I_0 \tau_n \left(\frac{q}{AkT}\right)^2 \exp\left(\frac{qU}{AkT}\right)},$$

з такими кінцевими умовами:

$$U(0) = U_{стац}; U_k(0) = U_n стац; I_k(0) = 0.$$

де  $I_n$  – зворотній струм, А;  $q$  – заряд електрона, Кл;  $U_n$ ;  $U_0$ ;  $U_k$  – відповідно напруги розімкненого і замкнутого кола, В;  $k$  – стала Больцмана, Дж/°К;  $A$  – коефіцієнт ідеальності діода;  $T$  – температура фотоелектричної панелі, °К.

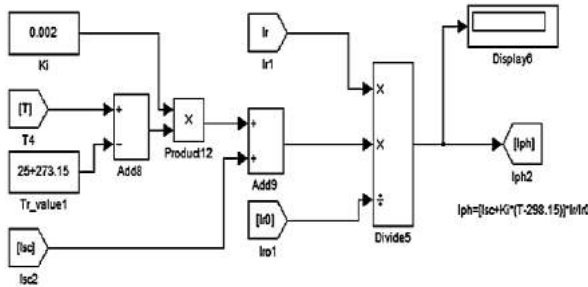


Рисунок 1 – Імітаційна модель сонячної фотоелектричної батареї

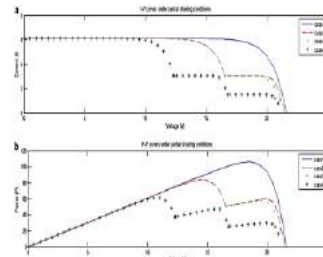


Рисунок 2 – а Криві I–V криві в умовах часткового затінення. б Криві P–V в умовах часткового затінення

Поступовий процес моделювання фотоелектричної системи з використанням блоків бібліотеки Simulink у Matlab створює зручну інтерактивну інструментовану платформу з інтуїтивно зрозумілими піктограмами та діалогами. Ця процедура допомагає людям отримати краще уявлення про робочі характеристики фотоелектричних модулів, зокрема їх вольт-амперних і потужнісних характеристик. Крім того, вона може бути корисною для передбачення поведінки сонячних фотоелементів, модулів і масивів в різних умовах навколишнього середовища, таких як температура, опромінення і можливість часткового затінення, а також фізичних параметрів, а саме послідовний опір, шунтовий опір, коефіцієнт ідеальності тощо. Ця дослідницька робота є першим кроком у вивченні гібридних систем, де фотоелектрична генерація енергії інтегрується з іншими джерелами відновлюваної енергії, такими як вітер.

**Висновок.** Запропонована методика гарантує точність, надійність і легкість налаштування моделі сонячного фотоелектричного масиву. Крім того, вона надає суттєву перевагу при вивченні функціонування сонячних фотоелектричних батарей з різними фізичними параметрами, такими як послідовний опір, шунтовий опір, коефіцієнт ідеальності тощо, і в різних умовах експлуатації, включаючи зміну температури, рівень опромінення і особливо врахування ефектів часткової тіні.

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОХОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ВИРОБЛЕНОЇ З ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Лежнюк П. Д., д.т.н., проф., e-mail: [lezhpd@gmail.com](mailto:lezhpd@gmail.com)

Ситник А. В., асистент, e-mail: [kveda@ukr.net](mailto:kveda@ukr.net)

Вінницький національний технічний університет

**Актуальність дослідження.** Швидкий прогрес технологій робить рішення для виробництва та зберігання енергії, виробленої на електричних станціях, що використовують відновлювані енергоносії, доступнішими для споживачів та дає їм змогу стати відповідальними учасниками енергетичного процесу. В Україні використання гарантій походження зеленої електроенергії стає дедалі вагомішим інструментом для споживачів, які прагнуть зменшити вплив свого енергоспоживання на зміну клімату та перейти на більш екологічні джерела енергії. Гарантії походження (ГП) є інструментом підтвердження походження електроенергії, що продається на роздрібному ринку. Вони є основою для розрахунків викидів парникових газів та звітування щодо викидів вуглецю і є найбільш затребуваним європейськими підприємствами.

**Основні матеріали досліджень.** Наявні рішення для маркування електроенергії на основі сертифікатів мають низку проблем. Вони часто не точно відображають викиди вуглецю, не забезпечують прозорості та можливості перевірки для кінцевих споживачів оскільки не враховують фізичні процеси у системі маркування. Для вирішення цієї проблеми необхідно розробити метод визначення частки навантаження кожного вузла електричної мережі, що забезпечується певним джерелом електроенергії, використовуючи закони електротехніки. Це дозволить уникнути суб'єктивності і розробити дієвий інструмент підтвердження обсягів електроенергії у гарантіях її походження з урахуванням фізичних процесів електричних мереж.

Складність задачі полягає в тому, що електричні мережі, до яких приєднуються відновлювані джерела електроенергії (ВДЕ), в неповній мірі можуть оцінити наслідки цього процесу. Це стосується того, що змінюються перетоки електроенергії у вітках мережі, змінюються її техніко-економічні показники такі як втрати електроенергії, в тому числі, від ВДЕ, надійність електропостачання і якість електроенергії. Ключем до вирішення проблем є моніторинг щодо вироблення і перетікання електроенергії в електричних мережах від ВДЕ. Для цього необхідно розробити метод та засоби оцінювання частки електроспоживання заданого споживача, яка забезпечується з відновлювальних джерел енергії. Його застосування на етапі ідентифікації походження електроенергії, забезпечить енергоефективне керування фізичними процесами в електричних мережах та сприятиме обґрунтованому підвищенню довіри споживачів до електропостачання від ВДЕ. Разом з тим формуватиметься відповідальність споживачів за електроенергію, яку він отримує з електричних мереж. Йдеться не тільки про якість електроенергії, а й про її походження.

Для подальшої розбудови ВДЕ та оптимального інтегрування їх в електричні мережі необхідно продовжувати створювати умови, які б сприяли формуванню зацікавленості в цьому процесі як виробників електроенергії, так і розподільних мереж та споживачів. Щодо споживачів, то вони мають бути впевнені в джерелі електроенергії. Його надійності і перспективі розбудови в майбутньому. Звідси слідує вимога до гарантованого походження електроенергії. Пропонується підхід, який ґрунтується на розрахунках виключно згідно законів електротехніки. Результатами розрахунків є складова потоку електроенергії у кожній вітці електричної мережі, яка належить певному ВДЕ. Таким чином в заданому вузлі мережі структурується кількість електроенергії, що надійшла від ВДЕ. У вітках мережі визначаються втрати електроенергії від перетоків у них електроенергії, згенерованої ВДЕ. Для оптимізації втрат електроенергії в мережі та розподілу навантаження між ВДЕ використовується принцип найменшої дії у формулюванні Гамільтона-Остроградського.

Пропонований метод може бути інструментом підтвердження гарантій походження (ГП) енергії, що продається на роздрібному ринку. Використовуючи його може бути

сформована локальна електроенергетична система на основі ВДЕ з можливістю переходу її в автономний режим. За умови, що в ЛЕС встановлена система накопичення електроенергії, використовуються активні споживачі електроенергії та узгоджуються графіки споживання і генерування ВДЕ, то вона може функціонувати як балансуєча група.

Існуючі підходи до організації роботи національних електронних реєстрів гарантії походження не передбачають врахування топології мережі та місця виробництва електроенергії. Реєстри організовані на принципах відокремлення фізичних процесів від комерційних. Тому, актуальним є доповнення існуючої структури організації ГП врахуванням фізичних процесів у системах передачі та розподілу електроенергії, що потребує розроблення відповідного математичного апарату. Запропоновано метод визначення частки перетікань потужності від сукупності ВДЕ до певних вузлів навантаження, що приєднані до електричної мережі. Суть методу полягає в тому, що значення повної потужності на початку і в кінці кожної вітки схеми визначається за формулою [1]:

$$\dot{S}_B = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_{\Sigma d} \mathbf{M}_{\Sigma} \cdot \hat{\mathbf{I}}_d, \quad (1)$$

де  $\dot{U}_{\Sigma d}$  – діагональна матриця напруги у вузлах, включаючи і балансувальні;  $\mathbf{M}_{\Sigma}$  – матриця з'єднань віток у вузлах, включаючи і балансувальні;  $\hat{\mathbf{I}}_d$  – діагональна матриця струмів у вітках схеми.

Враховуючи сутність методу структурування потужності (1) в [2] отримано вираз для визначення коефіцієнтів розподілу перетікань потужності у вітках схеми електричної мережі, які викликаються генеруванням у вузлах:

$$\dot{A}_i = (\dot{U}_i \mathbf{M}_{\Sigma i}) \hat{\mathbf{C}}_{\text{вде}i}^{-1} \dot{U}_{\text{вде}}^{-1}, \quad (2)$$

де  $\dot{U}_{\text{вде}}^{-1}$  – обернена діагональна матриця напруги у вузлах з ВДЕ;  $\hat{\mathbf{C}}_{\text{вде}i}$  –  $i$ -й вектор-рядок матриці коефіцієнтів розподілу струмів по вітках схеми електричної мережі, який відповідає вузлам з ВДЕ:

$$\mathbf{C}_{\text{вде}} = \mathbf{z}_B^{-1} \mathbf{M}_{\text{вдет}} (\mathbf{Y}_{\text{вде}})^{-1};$$

$\mathbf{M}_{\text{вдет}}$ ,  $\mathbf{Y}_{\text{вде}}$  – фрагменти транспонованої матриці з'єднань та матриці вузлових провідностей схеми електричної мережі, які відповідають вузлам з ВДЕ;  $\mathbf{z}_B$  – діагональна матриця комплексних опорів віток схеми електричної мережі.

Для визначення перетікань від ВДЕ у вітках схеми можна записати:

$$\dot{S}_{\text{вде}}^B = \dot{A} \cdot \dot{S}_{\text{вде}}. \quad (3)$$

де  $\dot{S}_{\text{вде}}^B$  – вектор перетікань потужності у вітках схеми викликаних вузлами з ВДЕ;  $\dot{S}_{\text{вде}}$  – вектор потужностей вузлів схеми, що відповідає вузлам схеми з ВДЕ.

**Висновок.** Однією з важливих проблем є визначення в балансі країни частки потужності та електроенергії, виробленої з ВДЕ. В ринкових умовах постала необхідність визначати також кількість електроенергії, яка споживається окремими споживачами. Це дозволяє розв'язувати такі перспективні завдання як формування кооперативів для енергозабезпечення селищних громад та інших угруповань на основі ВДЕ. Так склалося, що на сьогодні з різних причин важливим є формування локальних електроенергетичних систем на основі ВДЕ з переходом їх на автономний режим в нормальному, аварійному та воєнному станах, а для цього необхідно бути певним гарантії походження електроенергії.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Lezhniuk P., Burykin O., Malogulko Y. Distributed energy sources in the local electrical systems. – LAP LAMBERT Academic Publishing. 2018. 140 p.
2. Method of estimating the share of electricity consumption of a given consumer, which is provided from renewable energy sources. Legniuk, P., Kulyk, V., Malogulko, Y., Burykin, O., Sytnyk, A. 2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems, ESS 2022. Proceedings. pp. 85–88.

## ПЕРЕВАГИ ВІД ВИКОРИСТАННЯ СЕС В ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Мотайло М. С., аспірант, e-mail: [maksim.motaylo@gmail.com](mailto:maksim.motaylo@gmail.com)

Мороз О. М., д.т.н., проф., e-mail: [moroz.an@ukr.net](mailto:moroz.an@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Використання сонячних електричних станцій (СЕС) у локальних електричних мережах має низку важливих і актуальних переваг, які стають ключовими факторами в сучасному енергетичному секторі. Системи СЕС можуть бути важливими компонентами для оптимізації локальних електричних мереж в контексті підвищення ефективності та зниження витрат електроенергії.

**Мета досліджень.** Визначення переваг від впровадження СЕС в локальні електричні мережі.

**Основні матеріали досліджень.** Зростання кількості локальних мереж та мікромереж (microgrids) у місцях, які важко досяжні для централізованих енергосистем, вимагає впровадження альтернативних і доступних місцевих джерел енергії, зокрема СЕС, для забезпечення надійного електропостачання у цих областях.

Використання СЕС у локальних мережах і мікромережах може значно зменшити споживання електроенергії, зменшити витрати та допомогти знизити негативний вплив на навколишнє середовище. Багато країн та регіонів [1, 2, 3], сприяють впровадженню таких технологій за допомогою фінансових стимулів та регулюючих політик, що сприяють збільшенню використання СЕС у своїх локальних мережах.

Мікромережі – це відносно невеликі незалежні системи енергопостачання, які можуть працювати як частина централізованої мережі або незалежно від неї [4]. Вони можуть використовувати поєднання СЕС, ВЕУ, когенераційних установок, батарей для зберігання енергії та інших технологій для забезпечення надійного постачання електроенергії.

Використання сонячних електростанцій у мікро- локальних мережах сприяє створенню більш сталих, екологічно чистих та ефективних систем енергопостачання, що допомагає вирішувати екологічні проблеми та забезпечувати стабільність у галузі енергетики.

Основними аргументами, які пояснюють важливість використання СЕС у локальних мережах, є такі фактори [5]:

1) Модульність — сонячні енергосистеми можна довести до будь-якого розміру в залежності від енергетичних потреб споживача.

2) Низькі витрати на будівництво — зазвичай сонячні енергосистеми розташовують близько до споживача, а значить довжини ліній електропередач буде не великою, як це необхідно у випадку підключення до централізованих систем електропостачання.

3) Екологічно чиста енергія: Сонячні електростанції виробляють екологічно чисту енергію без викидів парникових газів або інших забруднюючих речовин. Це сприяє зменшенню викидів CO<sub>2</sub> та зниженню негативного впливу на навколишнє середовище.

4) Зниження витрат на енергоресурси: Використання сонячних електростанцій дозволяє генерувати електроенергію безкоштовно з використанням сонячної енергії. Це може значно зменшити рахунки за електроенергію для домогосподарств та підприємств.

5) Незалежність від централізованої мережі: СЕС можуть допомогти в локальних мережах забезпечити енергетичну незалежність. Вони можуть працювати навіть під час відключення від централізованої мережі, що підвищує надійність електропостачання при надзвичайних ситуаціях, а також при створенні автономних систем електропостачання.

6) Зменшення пікового навантаження: сонячні електростанції можуть забезпечити електроенергію під час пікових навантажень [6], коли споживання найвище, що допомагає зменшити ризики перевантаження локальних мереж та зменшити витрати на розширення інфраструктури. Для забезпечення постачання електроенергії під час пікових навантажень, СЕС можуть використовувати системи зберігання енергії, такі як літій-іонні та нікель-

кадмієві акумулятори [7]. Протягом сонячних днів, коли виробництво перевищує споживання, електроенергія може бути збережена в акумуляторах для подальшого використання під час піків навантажень.

7) Додатковий прибуток та зменшення витрат для підприємств: Комерційні підприємства можуть встановлювати сонячні електростанції на своїх будівлях і генерувати додатковий дохід, продаючи надлишкову електроенергію до централізованої мережі. При цьому вони можуть знизити витрати на електроенергію для власних потреб.

8) Зберігання енергії: За допомогою батарей та систем зберігання енергії сонячні електростанції можуть накопичувати надлишкову енергію, щоб використовувати її вночі або в періоди низького сонячного випромінювання.

9) Стимулювання інновацій та інвестицій: В розробці та впровадженні сонячних технологій використовуються інновації, що сприяє розвитку нових технологій та робочих місць у галузі виробництва, а також інвестицій у будівництво та обслуговування СЕС.

10) Зменшення викидів NO та інших забруднюючих речовин: Зниження використання викопних енергоресурсів для генерації електроенергії також допомагає зменшити викиди забруднюючих речовин, таких як оксиди азоту, сірки і інші.

Недоліками СЕС є їх стохастичний характер роботи [8] СЕС внаслідок залежності генерації від погодних умов, відсутність генерації при відсутності сонця та невеликі об'єми генерації в зимові періоди.

**Висновок.** Сонячні електростанції мають ряд переваг, що відкриває значні перспективи для їх впровадження в локальні електричні мережі. Це особливо є актуальним в невеликих населених пунктах та підприємствах, які в разі знеструмлення від основного джерела електропостачання можуть працювати в автономному режимі. Для підвищення надійності роботи локальних електричних мереж необхідно покращити прогнозні моделі генерації та використовувати установки зберігання енергії, внаслідок чого СЕС можуть отримувати додаткові доходи від участі у наданні додаткових послуг щодо забезпечення балансової надійності об'єднаної енергетичної системи України.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Закон про «зелену» трансформацію: нові правила для ринку ВДЕ. URL: <http://surl.li/lwnek>.
2. В Україні розробили концепцію програми підтримки розподіленої «зеленої» генерації. URL: <http://surl.li/muntz>.
3. Українські громади зацікавлені в будівництві сонячних електростанцій. Артем Семенишин. URL: <http://surl.li/muoig>.
4. Grid Modernization – Microgrids. URL: <http://surl.li/munls>.
5. Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії. Частина I: навчальний посібник для здобувачів освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Уклад.: О.П. Голик, Р.В. Жесан, І.В. Волков [та ін.]. – Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2020 – 192 с. URL: <http://surl.li/cqwbn>.
6. Богомолова О.С. Планування режиму роботи електричної мережі з джерелами відновлюваної енергії. URL: <http://surl.li/muomd>.
7. Довгалюк О. М., Саїдов Ш. Н., Яковенко І. С. Дослідження особливостей використання систем накопичення енергії при роботі трейдерів на енергоринку України. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика надійність та енергоефективність, № 14 (1339) 2019, с. 54-60. URL: <https://cutt.ly/RNWIAzf>.
8. Матушкін Д.С. Огляд сучасних методів прогнозування сонячної енергії. URL: <http://surl.li/munuz>.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА МАТЕРІАЛІВ

Мохонько А. О., асистентка, e-mail: [anetka.chirva@btu.kharkiv.ua](mailto:anetka.chirva@btu.kharkiv.ua)

Пазій В. Г., ст. викл., e-mail: [pazziy@btu.kharkov.ua](mailto:pazziy@btu.kharkov.ua)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Розвиток та використання фотоелектричних систем (ФЕС) є ключовим елементом глобальних зусиль у напрямку сталого розвитку та переходу до "зеленої" енергетики, адже сонячна енергетика зменшує негативний вплив на екологію та зміни клімату, формує енергетичну безпеку держави, є доступною у найвіддаленіших місцях та більш економічно стабільна у порівнянні з вичерпними джерелами енергії. Оскільки ефективність фотоелектричних систем напряму залежить від процесу перетворення сонячного світла на електричну енергію, то розробку нових матеріалів, дизайну елементів або систем охолодження є досить актуальним питанням, що потребує додаткових досліджень.

**Мета досліджень.** Пошук нових способів та матеріалів для використання у фотоелектричних системах сонячної енергетики з метою підвищення їх ефективності.

**Основні матеріали досліджень.** Фотоелектричні системи пройшли значний шлях розвитку протягом останніх десятиліть. Технологічні інновації допомагали підвищити ефективність перетворення сонячної енергії та знизити вартість виробництва.

На даний момент розроблена значна кількість новітніх систем серед яких:

1) Перископові структури: Ці структури допомагають збільшити кількість світла, яке поглинається фотоелектричними елементами, збільшуючи їх ефективність.

2) Гетеросполуки з внутрішнім випромінюванням (НІТ – «Heterojunction with Intrinsic Thin layer»): Панелі НІТ використовують комбінацію аморфного і кристалічного кремнію, що дозволяє досягти вищої ефективності. Ця конструкція дозволяє зменшити рекомбінацію носіїв заряду та підвищити коефіцієнт перетворення сонячної енергії. НІТ сонячні елементи відзначаються високою ефективністю та надійністю, що робить їх популярними у сонячній енергетиці [1].

3) Тандемні сонячні елементи: Ці елементи використовують два або більше матеріалів з різними граничними частотами для збільшення діапазону довжин хвиль, які можуть бути поглинуті і перетворені в електричну енергію.

4) Перовскітні сонячні елементи ("Perovskite Solar Cell" (сонячний елемент на основі перовскіту)): Один з найбільш перспективних напрямків досліджень. Перовскітні елементи можуть бути дешевими у виробництві і демонструють високу ефективність перетворення.

5) Гнучкі сонячні панелі: Розроблені з використанням гнучких матеріалів, таких як полімери, що дозволяє їх інтегрувати в одяг, сумки та інші предмети повсякденного користування [2].

6) Біфасадні (двосторонні) сонячні панелі: Здатні поглинати сонячне світло з обох сторін, що підвищує їх продуктивність, особливо коли вони встановлені на поверхнях з високим альбедо.

7) Автоматизовані системи моніторингу та управління: Сучасні ФЕС оснащені сенсорами та програмним забезпеченням для моніторингу продуктивності, виявлення збоїв і оптимізації роботи системи.

8) Енергозберігаючі технології: Розвиток акумуляторних технологій, таких як літій-іонні батареї, дозволяє зберігати енергію, вироблену ФЕС, для використання в "сонячні" години.

Ці інновації сприяли швидкому розвитку галузі сонячної енергетики, роблячи сонячну енергію все більш доступною та ефективною для виробництва електроенергії.

Розглянемо більш детально тонкоплівкові сонячні панелі. Незважаючи на початкові проблеми з ефективним перетворенням світла, особливо серед фотоелектричних матеріалів третього покоління, станом на 2023 рік деякі тонкоплівкові сонячні елементи досягли ефективності до 29,1% для одноперехідних тонкоплівкових GaAs елементів, перевищуючи максимальну ефективність у 26,1% для стандартних одноперехідних сонячних батарей першого покоління. Станом на 2023 рік багатоперехідні концентраторні осередки, які використовують тонкоплівкові технології, досягли ефективності до 47,6% [3]. Вони використовуються зокрема на вікнах у деяких виробках та системах, які більш відомі як "сонячні вікна" або "сонячні склопакети". Це спеціальні види вікон, які інтегрують тонкі сонячні плівки або сонячні батареї безпосередньо в склопакет. Сонячні вікна можуть мати декоративні або прозорі покриття, що дозволяє сонячному світлу проходити через них, але водночас збирати сонячну енергію для виробництва електроенергії [4].

Ці сонячні вікна можуть мати застосування у будівництві, освітленні, архітектурних проєктах та інших сферах. Вони можуть бути використані для зменшення витрат енергії в будівлях і представляють собою один зі способів інтеграції сонячних технологій в житлові та комерційні споруди.

В результаті проведеного аналізу пропонується використання гнучких та плівкових сонячних панелей не лише на даху, а і на склі автомобілів. Це може допомогти заряджати батареї автомобіля під час руху. Існує ряд причин, через які на даний момент неможливо повноцінне зарядження автомобіля від сонячної енергії під час руху, зокрема порівняно низька потужність та ефективність існуючих панелей, а також невелика площа даху автомобіля, що не дає змогу забезпечити необхідного обсягу генерації. Однак це стосується використання панелей лише на даху автомобіля [5]. З розвитком плівкових сонячних панелей доцільно використовувати їх також на склі авто. Це дозволить нівелювати головний недолік такого методу, а саме малу площу панелей, звідки і обмежену потужність. Енергія, вироблена сонячними панелями може бути корисними для зарядження допоміжних систем, таких як батареї автомобіля, освітлення, клімат-контроль та інше, а також для підтримки гібридних систем.

**Висновок.** Використання плівкових та гнучких сонячних панелей на склі автомобіля має інноваційний характер за рахунок збільшення площі за для генерування енергії.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. High-efficiency Silicon Heterojunction Solar Cells: A Review / Stefaan De Wolf, Antoine Descoeudres, Zachary C. Holman, Christophe Ballif. // Green. 2012. №2. С. 7–24.
2. "While you're up, print me a solar cell - New MIT-developed materials make it possible to produce photovoltaic cells on paper or fabric, "nearly as simply" as printing a document". MIT News. Retrieved 2011-09-09.
3. Best Research-Cell Efficiency Chart [Електронний ресурс] // The National Renewable Energy Laboratory (NREL). – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>.
4. Transparent solar panels could reach consumers surprisingly soon [Електронний ресурс] // Interesting Engineering. 2022. Режим доступу до ресурсу: <https://interestingengineering.com/innovation/transparent-solar-panels-windows>.
5. The Future – Steadily closer to everyday-life [Електронний ресурс] // SolarWorld AG – Режим доступу до ресурсу: <http://www.solarworld-gt.de/en/solarworld-gt/>.



## ОЦІНКА ВИРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ФОТОПАНЕЛЯМИ ЗА УМОВ РІЗНИХ ТИПІВ КРІПЛЕННЯ МАСИВУ ФОТОПАНЕЛЕЙ

Немикіна О. В., к.т.н., доц., e-mail: [olganemikina@ukr.net](mailto:olganemikina@ukr.net)

Демченко Б. С., магістр, e-mail: [st15ibogdan@gmail.com](mailto:st15ibogdan@gmail.com)

Національний університет «Запорізька політехніка»

Немикіна О. С., студент, e-mail: [sasha.nemikina@gmail.com](mailto:sasha.nemikina@gmail.com)

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

**Актуальність дослідження.** Вироблення електроенергії фотопанелями залежить від багатьох факторів. У роботі розглянуто вироблення електроенергії фотопанелями залежно від типу кріплення масиву фотопанелей. Тип кріплення масиву буває: фіксований, з використанням одновісного трекару, який відстежує рух сонця по небу з однією віссю обертання чи з двома осями обертання. Одновісний трекаер, який повертається ранок-вечір з фіксованим кутом для середньорічного схилення сонця має кращу ефективність порівняно з фіксованим масивом. Одновісний трекаер може збільшити ефективність від 25 до 35%. Двовісний трекаер, який повертається у двох осях - по азимуту та схилення може збільшити вироблення енергії приблизно на 40% [1,2].

**Основні матеріали досліджень.** Дослідження проводились у програмі PVWatts® [3], яка розраховує кількість електроенергії, виробленої фотоелектричними (PV) панелями. Вихідні дані представлені на рис. 1. Розрахунок проводився для м. Одеса, розташованого широта: 46°, довгота: 31° для 3 варіантів. I варіант - фіксований масив, з оптимальним цілорічним кутом нахилу 34,2°; II варіант - при використанні 1-вісного сонячного трекаера (з осью обертання, яка спрямована на південь); III варіант - при використанні 2-вісного сонячного трекаера.

### SYSTEM INFO

Modify the inputs below to run the simulation.

|                      |                   |  |
|----------------------|-------------------|--|
| DC System Size (kW): | 5                 |  |
| Module Type:         | Standard          |  |
| Array Type:          | Fixed (open rack) |  |
| System Losses (%):   | 14.08             |  |
| Tilt (deg):          | 34.2              |  |
| Azimuth (deg):       | 180               |  |

DC System Size (kW)/ Система постійного струму (кВт)

Module Type/Тип модуля/ Стандартний кристалічний кремній, ККД=19%

Array Type/Тип масиву: фіксований, 1-вісний сонячний трекаер, 2-вісний сонячний трекаер

System Losses (%)/ Системні втрати (%)

Tilt (deg)/ Нахил (град)

Azimuth (deg)/ Азимут (град)

Рисунок 1 – Вихідні дані для розрахунку для I варіанту - фіксований масив

Результат розрахунку виробництва електроенергії залежно від типу кріплення масиву наведено на рис. 2.

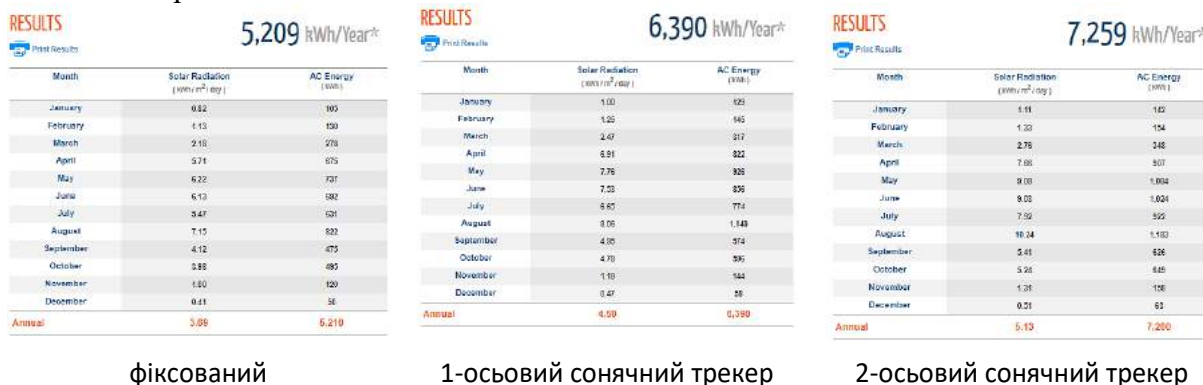


Рисунок 2 – Результат розрахунку виробництва електроенергії фотопанелями від типу кріплення масиву

Розрахунок виконано для наступних параметрів: співвідношення потужності постійного та змінного струму=1,2; ефективність інвертора = 96%; коефіцієнт покриття землі = 0,4; альbedo з файлу погоди для м. Одеса.

Результат розрахунку виробництва електроенергії фотопанелями від типу кріплення масиву у відносних одиницях представлений на рис.3, рис. 4, рис 5 та рис. 6. Виробництво електроенергії з фіксованим масивом прийнято за 100%.

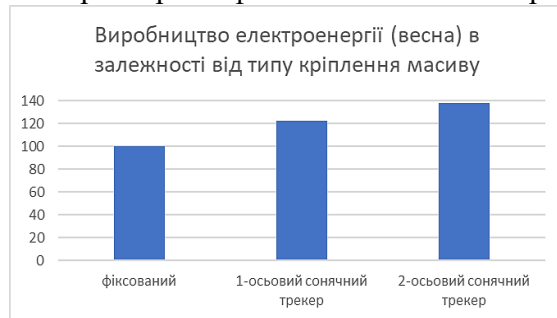


Рисунок 3 – Виробництво електроенергії (%) весна

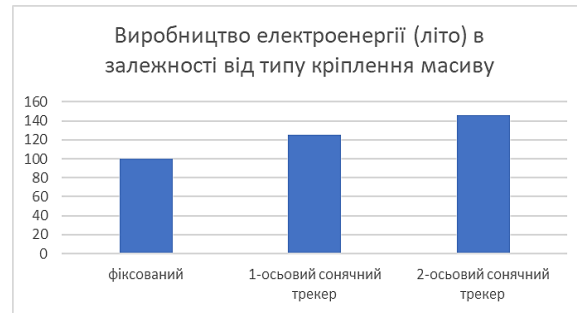


Рисунок 4 – Виробництво електроенергії (%) літо

Виробництво електроенергії за літній період збільшилось на максимальний процент в порівняння з іншими періодами. При використанні 1-вісного сонячного трекера збільшилось на 25% та при використанні 2-вісного сонячного трекера на 46%.

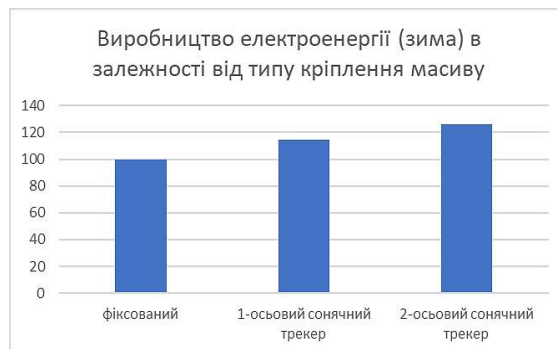


Рисунок 5 – Виробництво електроенергії (%) зима



Рисунок 6 – Виробництво електроенергії за рік (%)

**Висновок.** Виробництво електроенергії за зимній період збільшилось на мінімальний процент в порівняння з іншими періодами. Отже за зимовий період при використанні 1-вісного сонячного трекера генерація збільшилось на 14,4% та при використанні 2-вісного сонячного трекера на 26%. Виробництво електроенергії за рік при використанні 1-вісного сонячного трекера збільшилось на 23% та при використанні 2-вісного сонячного трекера збільшилось на 39,4%. Отже вибір тип кріплення масиву потребує техніко економічного порівняння варіантів у кожному конкретному випадку.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Немикіна О.В. Поновлювальні та альтернативні джерела енергії. Для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка: навч. посібник. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 188 с.

2. Nemykina O, Blyzniakov A. FEATURES OF CALCULATION THE LOAD FOR OFF-GRID SOLAR POWER PLANT. Матеріали II Міжнар. науково-практичної конф. «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі» (Мелітополь 01-26 листопада 2021 р). Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 49-51.

3. PVWatts® Calculator <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>

## АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ LiFePO<sub>4</sub> АКУМУЛЯТОРІВ В АВТОНОМНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ

Оксенич Р. В., аспірант, e-mail: [grid2600@btu.kharkov.ua](mailto:grid2600@btu.kharkov.ua)

Миргород Д. Г., аспірант, e-mail: [19mirgoroddenis92@gmail.com](mailto:19mirgoroddenis92@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

### **Актуальність аналізу.**

Зважаючи на нагальні потреби енергетичного сектора та зростання популярності альтернативних джерел енергії, актуальність аналізу використання LiFePO<sub>4</sub> батарей у стаціонарних сонячних системах набуває особливої важливості. Застосування сонячних батарей у віддалених регіонах без доступу до електромережі може значно полегшити життя місцевого населення та сприяти сталому розвитку зеленої енергетики.

### **Мета аналізу.**

Метою даного аналізу є оцінка та порівняння характеристик LiFePO<sub>4</sub> батарей в контексті їх використання у стаціонарних сонячних фотовольтаїчних системах. Вивчення особливостей цих батарей та їх ефективності у порівнянні з традиційними свинцево-кислотними батареями та іншими літійовими акумуляторами має на меті визначити переваги та перспективи їх застосування для забезпечення стійкого та ефективного функціонування сонячних систем.

### **Основні матеріали досліджень.**

Дослідження відомостей щодо характеристик LiFePO<sub>4</sub> батарей від різних виробників дозволило встановити певні особливості щодо ємності, стану заряду та напруги на кінці заряду цих батарей. Зокрема, було виявлено, що деякі батареї мають дещо відхилену ємність порівняно з вказаною номінальною виробником, що може впливати на їх ефективність та тривалість служби в реальних умовах експлуатації. Такі відхилення підкреслюють важливість додаткових випробувань та аналізу для визначення оптимального вибору батарей для конкретних сонячних систем.

Подальший аналіз свідчить про те, що LiFePO<sub>4</sub> батареї мають високий потенціал управління енергією та ефективність у різних умовах заряду та розряду. Це дає можливість використовувати їх для забезпечення стабільного енергетичного резерву у сонячних системах, що працюють у різноманітних кліматичних умовах та мають різні потреби щодо енергії.

Подальший аналіз результатів досліджень вказує на те, що LiFePO<sub>4</sub> батареї мають значно більшу кількість циклів заряду-розряду порівняно з іншими типами батарей, що робить їх економічно вигідними та ефективними в довгостроковій перспективі. Такі переваги підкреслюють значимість вибору правильного типу батарей для стаціонарних сонячних систем з огляду на економічні та екологічні фактори.

Дослідження також показали, що LiFePO<sub>4</sub> батареї демонструють стійкість до впливу низьких температур, що робить їх ідеальним вибором для застосування в умовах, де температурні коливання можуть бути значними та непередбачуваними. Це робить їх надійними та ефективними для використання в сонячних системах, які функціонують у різних географічних регіонах та мають різні вимоги щодо стійкості та надійності.

На підставі отриманих результатів можна зробити висновок про те, що LiFePO<sub>4</sub> батареї є перспективним рішенням для забезпечення енергетичних потреб у стаціонарних сонячних системах, оскільки вони поєднують в собі високу ефективність, довговічність та стійкість до зовнішніх впливів. Такий аналіз може сприяти розвитку та впровадженню ефективних та стійких сонячних енергетичних систем, що має важливе значення для подальшого розвитку екологічно чистих та стійких джерел енергії.

## Висновок.

Цей аналіз демонструє важливість та переваги використання LiFePO<sub>4</sub> батарей у стаціонарних сонячних фотовольтаїчних системах з метою забезпечення стабільного та ефективного функціонування систем енергозабезпечення. Результати дослідження підтверджують високу ефективність та надійність цих батарей, що робить їх перспективним та обіцяючим рішенням для розвитку сучасних стаціонарних сонячних фотовольтаїчних систем.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Tseng, Y.-M.; Huang, H.-S.; Chen, L.-S.; Tsai, J.-T. Characteristic research on lithium iron phosphate battery of power type. *Matec Web Conf.* 2018, 185, 00004.
2. Deng, D. Li-ion batteries: Basics, progress, and challenges. *Energy Sci. Eng.* 2015, 3, 385–418.
3. He, H.; Liu, Y.; Liu, Q.; Li, Z.; Xu, F.; Dun, C.; Ren, Y.; Wang, M.-X.; Xie, J. Failure Investigation of LiFePO<sub>4</sub> Cells in Over-Discharge Conditions. *J. Electrochem. Soc.* 2013, 160, A793–A804.
4. Information on <http://www.rev-electricbikekits.com.au/assets/files/Innovation%20in%20Lithium%20Batteries.pdf>
5. Information on [http://wiki.answers.com/Q/What\\_are\\_the\\_disadvantages\\_of\\_lead\\_acid\\_accumulator#ixzz1ZmzH0Uyo](http://wiki.answers.com/Q/What_are_the_disadvantages_of_lead_acid_accumulator#ixzz1ZmzH0Uyo)
6. European Commission, 2010, The European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan), European Commission Research and Innovation, ec.europa.eu/research/energy (accessed 4th December 2012)
7. V. Pazyi, O. Miroshnyk, O. Moroz, I. Trunova, O. Savchenko and S. Halko, "Analysis of technical condition diagnostics problems and monitoring of distribution electrical network modes from smart grid platform position," 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology
8. Cericola, R. Kötz, "Hybridization of rechargeable batteries and electrochemical capacitors: Principles and limits," *Electrochimica Acta* 2012, Vol. 72, pp. 1-17.
9. O. Rubanenko, I. Hunko, O. Rubanenko and A. Rassölkin, "Influence of Solar Power Plants on 0.4 kV Consumers," 2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), Riga, Latvia, 2019, pp. 1-5, <https://doi.org/10.1109/RTUCON48111.2019.8982257>

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОГНОЗНОЇ ТА ФАКТИЧНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ СЕС  
ТА ВПЛИВ ВІДХИЛЕНЬ НА ЇЇ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Павлов А. О.<sup>1</sup>, провідний інженер, e-mail: [andrey.pavlov@ocean-sc.net](mailto:andrey.pavlov@ocean-sc.net)

Мороз О. М.<sup>2</sup>, д.т.н., проф., e-mail: [moroz.an@ukr.net](mailto:moroz.an@ukr.net)

Мірошник О. О.<sup>2</sup>, д.т.н., проф., e-mail: [omiroshnyk@ukr.net](mailto:omiroshnyk@ukr.net)

Ганус<sup>3</sup> О. І., к.т.н., доцент, e-mail: [ganus.oi@ua.energy](mailto:ganus.oi@ua.energy)

Середа А. І.<sup>2</sup>, к.т.н., доцент, e-mail: [ais66@ukr.net](mailto:ais66@ukr.net)

СК МОНОЛИТ<sup>1</sup>,

Державний біотехнологічний університет<sup>2</sup>

АК «Харківобленерго»<sup>3</sup>

**Актуальність дослідження.** Останні два десятиліття у світі спостерігається стрімкий розвиток відновлювальної енергетики (ВЕ), особливо сонячної. Про важливість цього питання свідчать плани ЄС щодо Європейського зеленого курсу, планів REPowerEU та «Готові до 55», так 12 вересня 2023 року Європарламент схвалив оновлення Директиви про відновлювані джерела енергії з метою стимулювання їх використання в ЄС. Оновлена Директива (REDIII) встановлює обов'язкову цільову частку ВДЕ в кінцевому споживанні енергії на рівні 42,5 % до 2030 р., але з індикативним збільшенням до 45 %, попередня ціль становила 32 %. Згідно статистичними даними у 2021 р. частка ВДЕ в енергоспоживанні ЄС складала 21,8 %. Таким чином, нова ціль передбачає майже подвоєння частки ВДЕ в ЄС до 2030 р. [1]. Подібні плани розвитку ВЕ розробляються і в Україні, так у проєкті Національного плану дій з розвитку ВЕ на період до 2030 року передбачено індикативною ціллю значення ВДЕ у виробництві електричної енергії у 25 % [2].

Будівництву промислової сонячної електростанції (СЕС) передують техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) проєкту її будівництва [3]. Вирішальним фактором, що впливає на терміни відшкодування капіталовкладень, є генерація електричної енергії СЕС, яка на етапі проєктування може визначатися за допомогою спеціалізованих програм, що базуються на статистичних даних сонячної радіації для місцевості розміщення станції.

**Мета досліджень.** Метою дослідження є порівняльний аналіз прогнозних даних генерації електричної енергії СЕС з її фактичними даними за декілька років експлуатації.

**Основні матеріали досліджень.** Об'єктом дослідження є промислова СЕС з номінальною потужністю по постійному струму (DC) 2,41 МВт\*пік і мережевою потужністю по змінному струму (AC) 1,98 МВт, яка розміщена в місті Мерефа Харківської області. Фотоелектричні модулі (ФЕМ) були розміщені на спеціальних конструкціях під кутом нахилу до горизонту 27<sup>0</sup> з орієнтацією на південь.

Прогнозування генерації СЕС при визначеній потужності СЕС було проведено за допомогою програми PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM [4]. Загальні розрахункові втрати в елементах станції були визначені на рівні 12,6 %. При подальшій роботі станції були враховані процеси деградації ФЕМ, так деградація за перший рік експлуатації була прийнята у 2,7 %, а для наступних років експлуатації - 0,7 % на рік. Втрати від деградації ФЕМ у перший рік експлуатації були враховані як такі, що змінюються за лінійним законом, тому на початку 2020 року, коли станція була введена в експлуатацію загальні втрати були прийняті 12,6 %, а у кінці року – 15,3 %, у інші роки втрати на деградацію збільшувались на 0,7 %. Отримані прогнозні дані порівнювались із фактичними даними генерації за 2020, 2021 та за п'ять місяців 2022 року, коли СЕС працювала із заявленими параметрами. У кінці травня 2022 року станція зазнала руйнівних пошкоджень внаслідок вибухів двох ракет рф Іскандер, але після видалення пошкоджених елементів станції та компонування уцілілого обладнання, станція почала працювати із потужністю біля 80 % від планових показників. З серпня 2022 року по вересень 2023 року помісячний прогноз генерації СЕС планувався на рівні 80 % від потужності станції до пошкоджень. Результати аналізу генерації приведені на рисунках 1 і 2.

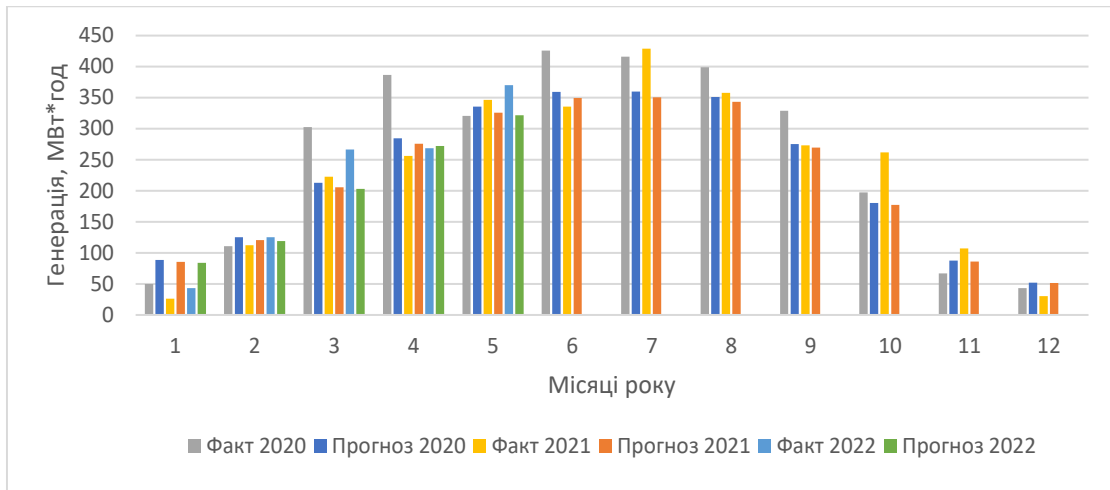


Рисунок 1 – Прогнозні та фактичні дані генерації СЕС до ракетного удару

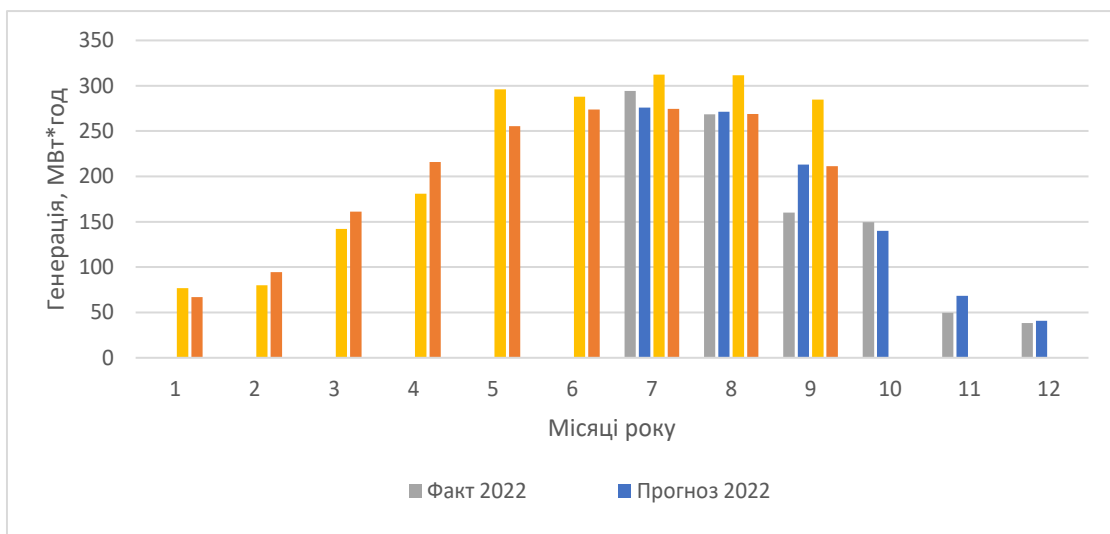


Рисунок 2 – Прогнозні та фактичні дані генерації СЕС після ракетного удару

**Висновок.** Прогнозна генерація СЕС для першого та другого років експлуатації, визначена за допомогою програми PVCIS, складала відповідно 2,713 і 2,64 ГВт\*год. Фактична генерація для цих років складала відповідно 3,05 і 2,76 ГВт\*год, таким чином відхилення фактичної річної генерації від прогнозованої для 2020 р. склало +12,4 %, а для 2021 р. +4,5 %. Відхилення прогнозованої генерації СЕС від фактичної після ракетних обстрілів для липня-грудня 2022 р. та січня-вересня 2023 р. склали відповідно +5,1 % і -7,6 %. Таким чином прогнозовані об'єми генерації електричної енергії менші від фактичних, що дозволить отримати більше прибутку і зменшити термін відшкодування капіталовкладень у будівництво СЕС.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Альона Корогод. Розвиток ВДЕ до 2030 року: цілі ЄС та плани України. URL: <https://cutt.us/IabYD>
2. Національний план дій з розвитку відновлюваної енергетики на період до 2030 року (проект). URL: <https://cutt.us/4hKSf>.
3. Етапи та задачі техніко-економічного обґрунтування будівництва СЕС / Мороз О.М., Мірошник О.О., Павлов А.О., Ганус О.І. // Енергетика і автоматика, 2019, № 6. – С. 43-54. URL: <https://cutt.ly/CZmGukf>.
4. PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. URL: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/).

## ОГЛЯД СУЧАСНИХ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Павлюк Д. О., аспірант, e-mail: [pavlyukmusic@gmail.com](mailto:pavlyukmusic@gmail.com)

Галько С. В., к.т.н., доцент e-mail: [galkosv@gmail.com](mailto:galkosv@gmail.com)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність дослідження.** Сучасний світ вимагає новітніх інновацій в енергетичному секторі, зокрема в сфері відновлюваної енергії. Перетворення сонячної інсоляції за допомогою когенераційних фотоелектричних модулів (КФЕМ), які охолоджуються рідиною, є однією зі значущих інженерних ідей, спрямованих на покращення ефективності перетворення сонячної енергії в інші види енергії (електричну, теплову тощо). КФЕМ циліндричної форми забезпечують більшу абсорбцію сонячної енергії, що призводить до збільшення електричної генерації.

**Мета досліджень.** Огляд сучасних світових когенераційних фотоелектричних технологій для оцінки енергетичної ефективності перетворення сонячного випромінювання.

**Основні матеріали досліджень.** Система Virtu PVT, запропонована компанією Naked Energy (рис. 1) [1, 2] складається з абсорбційної пластини, монокристалічних сонячних елементів PERC, бор силікатної вакуумної трубки, інтегрованого рефлектора та інтегрованої системи кріплення.



Поглинаюча пластина - це екструдована тепла пластина з мідними каналами для сприяння турбулентному теплообміну. Вона мінімізує теплові втрати, оскільки використовує надлишкове тепло, що генерується фотоелектричними елементами, і генерує тепло до 80 °С. Це тепло може передаватися в будівлі через 8-ми міліметрові труби, під'єднані до 22-х міліметрового колектору. Виробник заявляє, що інтегровані рефлектори дозволяють системі збирати на 40% більше енергії порівняно зі звичайними фотоелектричними елементами, а колектори, що обертаються, можуть оптимізувати продуктивність на скатних дахах, плоских дахах і вертикальних фасадах. Одинарний трубчастий блок має розміри 2165 мм×300 мм×265 мм і важить 19,9 кг. Площа отвору становить 0,64 м<sup>2</sup>, а площа абсорбера - 0,324 м<sup>2</sup>. Пікова тепла потужність складає 275 Вт, а електрична - 70 Вт.

Рисунок 1 – Когенераційна фотоелектрична система Virtu PVT компанії Naked Energy.

У Південній Кореї створена енергетична система для теплиць, яка поєднує когенераційні фотоелектричні панелі (КФЕП) з геотермальним тепловим насосом (рис. 2) [3].

Стверджується, що КФЕП компенсують типові недоліки геотермальної енергії і можуть зменшити витрати на опалення та охолодження в теплицях на 78%. У Кореї геотермальна енергія широко використовується як відновлювана енергія для сільського господарства, але якщо геотермальне тепло використовується протягом тривалого часу, джерела тепла стає недостатньо.

КФЕП здатні виробляти гарячу воду температурою 30 - 40°C. Потім вона використовується як джерело тепла для теплового насоса, який виробляє гарячу воду при температурі від 48 до 50°C, що є придатним діапазоном для обігріву теплиць. Навесні, влітку та

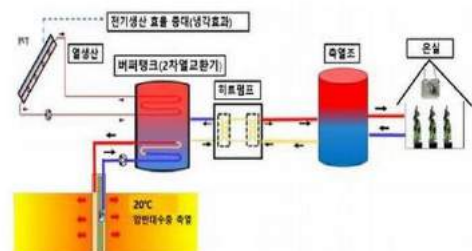


Рисунок 2 – Когенераційна фотоелектрична система для теплиць (Південна Корея)

восени, тепло, вироблене КФЕП, спрямовується до шару ґрунтових вод, зберігається і використовується для обігріву теплиці взимку.



Рисунок 3 – Когенераційний сонячний модуль Sunmaxx PVT (Німеччина)

Німецький виробник Sunmaxx PVT досягає 80% загальної ефективності з новим когенераційним сонячним модулем (рис. 3) [4,5]. Він складається з 108 напівелементів PERC у форматі M10, з електричною потужністю 400 Вт і тепловою потужністю 1200 Вт. Модуль має розміри 1750 мм×1140 мм×38 мм і містить 108 напівелементів. Електрична вихідна потужність становить 400 Вт, що відповідає електричній ефективності близько 20%. Новий продукт також має теплову потужність 1200 Вт, що відповідає ефективності теплового колектору EtaO 60%. Компанія Fraunhofer ISE виміряла це значення в умовах точки максимальної потужності при повному сонячному освітленні, при температурі модуля 25 °С і швидкості вітру 0 м/с. Випробування в реальних умовах експлуатації на відкритих і закритих випробувальних стендах показали, що модуль нагрівається до максимальної температури 30 °С при повному сонячному освітленні. Звичайні фотомодулі досягають температури до 80°С, що знижує їх ефективність.

Нами пропонуються гібридні сонячні панелі на основі сонячних циліндричних когенераційних фотоелектричних модулів (ЦКФЕМ), які одночасно генерують електричну енергію і виробляють гарячу воду для гарячого водопостачання або опалення приміщень [6-8].

**Висновок.** ЦКФЕМ – інноваційний підхід у сфері відновлюваної енергії, який використовує циліндричну форму для оптимізації абсорбції сонячної енергії та інтегрує в себе кілька інженерних ідей з метою максимальної ефективності.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Emiliano Bellini. Photovoltaic-thermal system in vacuum tube configuration. PV Magazine. February 15, 2023. <https://www.pv-magazine.com/2023/02/15/photovoltaic-thermal-system-in-vacuum-tube-configuration/>.

2. Virtu HOT/Virtu PVT products by Naked Energy. <https://nakedenergy.com/products>.

3. Emiliano Bellini. PVT-driven geothermal heat pump system for greenhouses. PV Magazine. October 19, 2023. <https://pv-magazine.com/2023/10/19/pvt-driven-geothermal-heat-pump-system-for-greenhouses/>.

4. Sandra Enkhardt. German manufacturer achieves 80% overall efficiency with new PVT solar module. PV Magazine March 24, 2023. <https://www.pv-magazine.com/2023/03/24/german-manufacturer-achieves-80-overall-efficiency-with-new-pvt-solar-module/>.

5. Sunmaxx PX-1 Premium PVT-Module by SunMaxx company. <https://sunmaxx-pvt.com/solution/>.

6. Halko S., Suprun O., Miroshnyk O. Influence of temperature on energy performance indicators of hybrid solar panels using cylindrical cogeneration photovoltaic modules. 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). 2021. P. 132-136. DOI: <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek.53812.2021.9569975>.

7. Галько С. В. Експериментальне дослідження і визначення параметрів когенераційного фотоелектричного модуля для гібридних сонячних електростанцій. Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень: матеріали Міжнар. наук. конф., м. Луцьк, 10 квіт. 2020 р. Луцьк: МЦНД. 2020. Т. 1. С. 83-90. <https://doi.org/10.36074/10.04.2020.v1.10>.

8. Галько С. В. Використання когенераційних фотоелектричних модулів для зарядки акумуляторів електромобілів. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки. Мелітополь: ТДАТУ. 2019. Вип. 19, т. 3. С. 130-141. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-3-130-141>.



## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ БАРАБАННИХ ПОДРІБНЮВАЧІВ-ЗМІШУВАЧІВ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

Рамш В. Ю., к.т.н., доцент кафедри, e-mail: [ramsh\\_v@ukr.net](mailto:ramsh_v@ukr.net)

Потапенко М. В., к.т.н., доцент кафедри, e-mail: [m.potapenko19@gmail.com](mailto:m.potapenko19@gmail.com)

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і  
природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

**Актуальність дослідження.** Використання біологічних відходів (біомаси) в якості енергетичної сировини дозволяє вирішити проблему енергозбереження і, разом з цим, іншу важливу проблему – екологічну [1].

Одним із способів використання біомаси є використання біогазових технологій, які полягають у переробці біологічних відходів в анаеробному реакторі біогазової установки.

Основним елементом технологічного обладнання, який забезпечує кількісний і якісний склад живильних речовин в бункерах накопичувачах біогазових установок є барабанні подрібнювачі – змішувачі. При виборі їх конструкції звертають увагу на якість продукції на виході із агрегату, габаритні розміри, енергетичні затрати на одиницю продукції та вартість одиниці об'єму установки.

**Мета дослідження.** Розробка методики визначення техніко-економічної ефективності барабанних подрібнювачів-змішувачів біогазових установок.

**Основні матеріали дослідження.** Якщо врахувати, що затрати на приготування компонентів суміші продуктів ферментації постійні і у всіх порівнюваних варіантів змішувальних установок забезпечується задана продуктивність готової продукції та необхідна її однорідність, то в якості цільової функції можна використати показник економічної ефективності [2]:

$$P = K_{num} \cdot E_n + E_e, \quad (1)$$

де  $K_{num}$  – питомі капіталовкладення в змішувальну установку, грн./м<sup>3</sup> за рік  $E_n$  – нормативний коефіцієнт порівняння ефективності;  $E_e$  – питомі експлуатаційні витрати, грн/м<sup>3</sup>.

В рівнянні (1) характер зміни економічної ефективності визначається змінними  $K_{num}$  і  $E_e$ .

Питомі капіталовкладення установки визначаємо з виразу:

$$K_{num} = \frac{B_n \cdot L}{g \cdot t_p}, \quad (2)$$

де  $B_n$  – вартість одиниці об'єму змішувача, грн/м<sup>3</sup>;  $L$  – довжина змішувального барабану, м;  $g$  – середня швидкість проходження компонентів через барабан, м/год  $t_p$  – тривалість роботи установки, год.

Лінійна швидкість проходження компонентів змішування визначається за формулою:

$$g = \frac{Q}{F}, \quad (3)$$

де  $Q$  – об'ємна продуктивність змішувача, м<sup>3</sup>/год;  $F = \varphi \cdot \pi \cdot R^2$  – площа поперечного перерізу сегменту завантаження барабана, м<sup>2</sup>;  $\varphi$  – коефіцієнт заповнення бункера;  $R$  – радіус змішувального барабана, м.

Експлуатаційні витрати складаються з амортизаційних відрахувань та відрахувань на поточний ремонт і обслуговування обладнання. Вони пропорційні капіталовкладенням і на стадії проектування їх можна не враховувати. При експлуатації установки до вище наведених витрат додається заробітна плата обслуговуючого персоналу, вартість електроенергії та паливно-мастильних матеріалів.

Тоді змінні складові експлуатаційних витрат визначимо з виразу:

$$E = \frac{B_1 \cdot K_q \cdot n \cdot N}{Q}, \quad (4)$$

де  $B_1$  – вартість 1 квт·год електроенергії, грн.;  $K_q$  – коефіцієнт використання електродвигунів;  $n$  – кількість змішувачів однакової конструкції, шт.;  $N$  – потужність, яка затрачається для досягнення однорідності продуктів метаногенезу, кВт/м<sup>3</sup>.

Кількість змішувачів однакової конструкції, які входять в установку:

$$n = \frac{Q \cdot L}{V \cdot g}, \quad (5)$$

де  $V$  – об'єм змішувача, м<sup>3</sup>.

Потужність, яка необхідна для створення гомогенного середовища продуктів зброджування визначаємо:

$$N = \frac{0,34 \cdot D^3 \cdot L \cdot U \cdot \gamma \cdot \varphi}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot Q}, \quad (6)$$

де  $D$  – діаметр барабану, м;  $U$  – колова швидкість барабана, м/год;  $\gamma$  – густина готової суміші, кг/л.

Між потужністю  $N$  і інтенсивністю змішування в барабаних подрібнювачах--змішувачах існує залежність:

$$Z = \alpha \cdot N^S, \quad (7)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт пропорційності;  $S$  – коефіцієнт, який враховує зміну енергозатрат при зміні розмірів барабану.

Інтенсивність змішування компонентів продуктів зброджування визначаємо за залежністю:

$$Z = \frac{V(C_0) - V(C_k)}{K_u \cdot L}, \quad (8)$$

де  $V(C_0)$  – початковий коефіцієнт неоднорідності, який обумовлюється співвідношенням змішуваних компонентів;  $V(C_k)$  – кінцеве значення коефіцієнта неоднорідності, задається по технологічному процесу, або визначається експериментально;  $K_u$  – кратність циркуляції.

Значення  $K_u$  визначаємо з виразу:

$$K_u = \frac{Q}{V_p}, \quad (9)$$

де  $V_p = \varphi \cdot \pi \cdot R^2 \cdot L$  – робочий об'єм змішувального барабану.

Довжина змішувального барабану, яка необхідна для забезпечення заданого значення  $V(C_k)$ :

$$L = g \cdot t, \quad (10)$$

де  $t$  – середній час перебування матеріалу в подрібнювачі-змішувачі, який забезпечує досягнення необхідного коефіцієнту неоднорідності.

Існують декілька варіантів підвищення ефективності безперервно діючого барабанного подрібнювача-змішувача, це насамперед:

- збільшення об'ємної продуктивності  $Q$  і інтенсивності  $Z$  процесу змішування;
- зменшення вартості  $B_n$  одиниці об'єму змішувача, або потужності  $N$ , необхідної для обертання робочих органів установки.

**Висновки.** З врахуванням умов екстремальності одержано цільову функцію залежності економічної ефективності подрібнювачів-змішувачів від їх технологічних і технічних показників.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ратушняк Г. С., Анохіна К.В. Енергоефективні технологічні процеси та обладнання біоконверсії: Монографія. Вінниця: ВНТУ, 2013. 148 с.
2. Жалдак М. І., Триус Ю. В. Основи теорії і методів оптимізації: Навчальний посібник. Черкаси: Брама-України, 2005. 608 с.

## ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК У СКЛАДІ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

Рябка О. В., магістр, e-mail: [petrenkomm@ukr.net](mailto:petrenkomm@ukr.net)  
 Дудніков С. М., к.т.н., доц., e-mail: [ivanenkovv@ukr.net](mailto:ivanenkovv@ukr.net)  
 Середа А. І., к.т.н., доц., e-mail: [ais66@btu.kharkov.ua](mailto:ais66@btu.kharkov.ua)  
 Попадченко С. А., ст. викл., e-mail: [svanp111@ukr.net](mailto:svanp111@ukr.net)  
 Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** За даними ПРООН наслідки військової агресії російської федерації призвели до руйнування в Україні всіх тепло- та гідроелектростанцій та близько 45% високовольтних трансформаторів. Врахування останніх подій надає підстави до створення розосереджених систем електропостачання та продовження нарощування частки вироблення електроенергії в об'єднаній енергетичній системі України від відновлюваних джерел, що в свою чергу зумовлює необхідність впровадження високоманеврової потужності для балансування їх змінної потужності. Але акумуляторні батареї значно збільшують загальну вартість системи генерації, що ускладнює процес прийняття рішень щодо масового їх впровадження. В роботі пропонується використовувати в якості високоманеврової потужності та акумуляторів енергії для відновлюваних джерел біогазові установки, що в загальному підвищить ефективність та надійність системи електропостачання. Але масове впровадження біогазових установок вимагає їх техніко-економічне обґрунтування.

**Мета досліджень.** Обґрунтувати доцільність використання біогазових установок в складі об'єднаної енергетичної системи України.

**Основні матеріали досліджень.** Україна має великий потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії, що є гарною передумовою для динамічного розвитку сектора біоенергетики. Економічно доцільний енергетичний потенціал біомаси в країні становить близько 20-25 млн. т.у.п./рік [1]. Основними складовими потенціалу є відходи сільськогосподарського виробництва (солома, стебла кукурудзи, стебла соняшнику і т.п.) - більше 11 млн. т. у.п. / рік (за даними 2013) та енергетичні культури - близько 10 млн.т.у.п./рік, що еквівалентно понад 16 млрд. м<sup>3</sup> природного газу.

Для України біоенергетика є одним із стратегічних напрямків розвитку сектора відновлюваних джерел енергії, враховуючи високу залежність країни від імпортих енергоносіїв, в першу чергу, природного газу, і великий потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії [2].

Для переробки с.г. органічних відходів на підприємствах АПК з метою отримання добрив і біогазу використовують біогазові установки (БГУ).

На першому етапі формалізації завдання виконаємо обґрунтування показників собівартості виробленої енергії. Впровадження БГУ буде економічно ефективним, коли будуть виконуватися умови:

$$C_{БГУ} \leq C_{ЦС}, \quad (1)$$

де  $C_{БГУ}$  – собівартість електроенергії, яка вироблена на БГУ;

$C_{ЦС}$  – ціна електроенергії, яка вироблена на електростанціях централізованої системи (ЦС) електропостачання,  $C_{ЦС} = 2,64 \text{ грн/кВт}\cdot\text{год}$ .

Собівартість електроенергії, яка вироблена на БГУ визначимо за формулою:

$$C_{БГУ} = \frac{3}{w^*}, \quad (2)$$

де 3 – затрати на впровадження БГУ,  $3 = 20000 \text{ грн/м}^3$ ;

$W^*$  – еквівалент корисно використаних обсягів виробленої електроенергії з врахуванням доходу від підвищення врожайності на 30% від внесення вироблених добрив:

$$W^* = W + D'_d, \quad (3)$$

де  $D'_d$  - величина приведення річного доходу від підвищення врожайності до обсягів виробленої електроенергії (при внесенні добрив під картоплю з нормою 100 т/га,  $D'_d \approx 700$  кВт·год)

$W$  – обсяги корисно використаної енергії, для БГУ  $1\text{м}^3 W = 300$  кВт·год за рік:

$$W = \eta \cdot K_B \cdot \int_0^t P_t dt, \quad (4)$$

де  $P_t$  – потужність електростанції за часом  $t$ , кВт, (Еквівалент потужності виробленого біогазу від БГУ з реактором  $1\text{м}^3 - 0,04$  кВт);

$\eta$  – загальний ККД електростанції, яка працює на біогазі,  $\eta = 20\%$ ;

$K_B$  – коефіцієнт використання енергії, виробленої БГУ,  $K_B = 1$ .

З врахуванням вхідних даних (2-4) прийемо щорічний дохід від продажу/економії електричної енергії - 3000 грн, тоді динаміка зміни собівартості виробленої електроенергії буде мати вигляд, зображений на рис. 1.

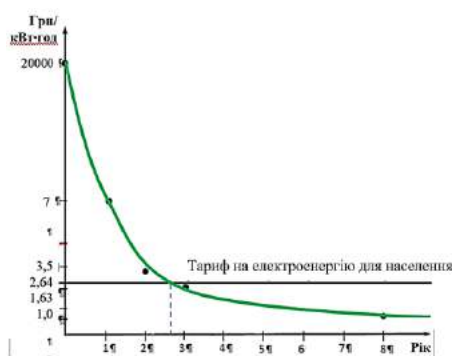


Рисунок 1 – Зміна собівартості виробленої БГУ електроенергії

За даними рис. 1 собівартість виробленої БГУ електроенергії стає нижчою ніж ціна на електроенергію від ЦС вже після 3-го року експлуатації з тенденцією до подальшого зниження.

**Висновки.** За результатами проведених досліджень встановлено економічну доцільність використання БГУ споживачами АПК, що надає запоруки до масового їх використання в складі об'єднаної енергетичної системи України. Основну увагу при проектуванні БГУ треба приділяти напрямкам використання отриманого органічного добрива

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Analysis of the energy balance of the local energy supply system based on the bioenergy complex [Electronic resource] / Q. Mohamed, A. Lazurenko, O. Miroshnyk, S. Dydnikov, O. Savchenko, I. Trunova // Energy Smart Systems : 7th International Conference, Kyiv, 12-14 May 2020. - 2020. - Ст. 9160050. - Р. 134-138. - DOI [10.1109/ESS50319.2020.9160050](https://doi.org/10.1109/ESS50319.2020.9160050).

2. Development of Algorithm for the Operation of a Combined Power Supply System with Renewable Sources [Electronic resource] / M. Qawaqzeh, S. Dudnikov, O. Miroshnyk, O. Moroz, O. Savchenko, I. Trunova, V. Pazyi, D. Danylchenko, O. Iegorov, S. Halko, R. Buinyi // IEEE, KhPI Week 2022 : Conference Proceedings 3rd KhPI Week on Advanced Technology, Kharkiv, 03-07 October 2022. - Kharkiv, 2022. - Ст. 22186808. - DOI [10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916372](https://doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916372).

## ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ СУШКИ ЗЕРНА НА ПІДПРИЄМСТВАХ АПВ

Сафаров Х. М., магістрант, e-mail: [Sogeking681@gmail.com](mailto:Sogeking681@gmail.com)

Мороз О. М., д.т.н., проф., e-mail: [moroz.an@ukr.net](mailto:moroz.an@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Енергетична безпека України не можлива без запасів зерна, яке повинно зберігатися тривалий час, умовою зберігання якого є необхідна вологість. Оптимальні значення вологості зернових культур залежить від виду культури та прогнозної тривалості зберігання. Так при тривалості зберігання від 6 до 12 місяців вологість ячменю, овесу, жита повинна бути 12 %, пшениці і гречки – 13 %, кукурудзи – 14 % [1]. Для доведення зерна до необхідної вологості використовуються різні технології сушки та види енергетичних ресурсів. Актуальність проблеми підвищення енергоефективності процесів сушки зерна полягає в тому, що від 50 до 80 % зерна, яке щорічно вирощується в Україні, підлягає сушінню. Під час сушіння на кожен тону висушеного зерна (за умови зниження його вологості від 20% до 14%) витрачається в середньому близько 12 кг умовного палива [2].

**Мета досліджень.** Проведення комплексного дослідження щодо визначення перспективних шляхів підвищення енергоефективності в процесах сушки зерна із застосуванням технічних пристроїв, що використовують відновлювальні джерела енергії (ВДЕ).

**Основні матеріали досліджень.** Сушіння зерна – складний технологічний процес, який застосовують для видалення надлишкової вологи, головною умовою якого є дотримання режиму сушіння для кожної культури, збереження якості зерна, забезпечення продуктивності процесу і раціональна витрата енергоресурсів. Для сушіння зерна харчового призначення витрачається теплоти понад 5000 кДж/кг вип. вологи, в сучасних та модернізованих сушарках витрати теплоти можуть складати біля 3500 – 4800 кДж/кг вип. вологи, а при сушінні насінневого зерна витрати збільшуються на 30 – 40 % [2].

Підвищення енергоефективності в процесах сушки зерна є важливим завданням для зменшення споживання енергії та зниження викидів в атмосферу. Найбільш перспективними шляхами підвищення енергоефективності в процесах сушки зерна є:

1. Використання сучасного обладнання: заміна застарілого обладнання на сучасне, більш ефективне з точки зору споживання енергії, може значно зменшити витрати енергетичних ресурсів.
2. Використання альтернативних джерел енергії: використання сонячних панелей, геліоколекторів або інших альтернативних джерел енергії для нагріву повітря для сушки зерна може суттєво знизити споживання електроенергії та інших енергетичних ресурсів.
3. Удосконалення ізоляції та систем вентиляції: забезпечення герметичності сушарень і вдосконалення систем вентиляції допомагає зберегти тепло та покращити розподіл повітря в сушарні, що зменшує втрати тепла.
4. Використання теплового насосу: встановлення теплового насосу для відновлення тепла з вентиляційного повітря може знизити витрати енергії.
5. Впровадження автоматизації: використання сучасних систем автоматизації може допомогти оптимізувати режими сушки та зменшити втрати енергії.
6. Моніторинг та контроль: системи моніторингу та контролю процесу сушки дозволяють точно регулювати параметри та уникати зайвого споживання енергії.
7. Використання ефективних схем вентиляції: розробка ефективних систем вентиляції дозволяє рівномірно розподілити повітря в сушарні і підвищити ефективність сушки.
8. Зменшення товщини шару зерна: зменшення товщини шару зерна під час сушки може сприяти швидшій сушці та зменшити споживання енергії.
9. Використання теплової ізоляції: Забезпечення хорошої теплової ізоляції сушарні допоможе зберегти тепло та знизити втрати енергії.

Мінімізація споживання енергії в процесах сушіння зерна може бути досягнута на

основі технології відновлюваної енергії, що зменшує залежність від викопного палива і зменшує вартість сільськогосподарської продукції, а також мінімізує якісні та кількісні втрати. Перспективним напрямком використання ВДЕ для сушіння зерна та інших сільськогосподарських культур є поєднання фотоелектричних модулів (ФЕМ), гелеоколекторів та теплових насосів [4], що дозволяє мати такі переваги:

- 1) Встановлення сонячних панелей на даху або поблизу об'єкта сушіння може забезпечити додаткову джерело електроенергії для живлення електроприводу систем сушіння, освітлення та інших електричних пристроїв.
- 2) Геліоколектори використовують сонячну енергію для нагріву рідини (зазвичай води або теплоносія) і можуть бути використані для підігріву повітря або нагріву робочого середовища в сушарках. Це дозволяє значно зменшити витрати енергії на процес сушіння.
- 3) Тепловий насос може використовувати тепло, зібране геліоколекторами, для подальшого нагрівання повітря або іншого теплоносія, що дозволяє підтримувати оптимальну температуру для сушіння зерна та інших продуктів, зменшуючи енергетичні витрати. Інтенсивність процесу сушіння зерна при використанні теплового насоса зменшується на 15 %, питомі витрати становлять близько 3700 кДж/кг випарованої вологи, та зберігається висока якість насіння [3].
- 4) Зниження витрат енергії: комбінація сонячних панелей та геліоколекторів дозволяє забезпечити електроенергію роботу теплового насоса без великих витрат на електричну енергію з мережі, що знижує витрати на сушіння зерна і підвищує економічну ефективність процесу.
- 5) Використання сонячних джерел енергії допомагає знизити викиди вуглекислого газу та інших забруднювачів, пов'язаних з виробництвом електроенергії.
- 6) Зменшити витрати на електроенергію та інші види палива у порівнянні з традиційними системами сушіння. Поєднання сонячних та теплових технологій дозволяє знизити ці витрати і зробити процес сушіння більш доступним для малих сільських господарств та підприємств.
- 7) Збереження якості продукції: використання сонячної енергії дозволяє зберігати якість зерна та уникати його псування під час сушки.
- 8) За допомогою сучасних технологій, таких як сенсори вологості та температури, можна автоматизувати процес сушіння. Системи управління можуть регулювати температуру і вентиляцію в залежності від погодних умов та інших факторів. Це дозволить ефективно використовувати сонячну енергію для оптимальних режимів сушіння насіння.
- 9) Зменшення операційних витрат: витрати на обслуговування і експлуатацію менші, оскільки ФЕМ не мають рухомих частин і вимагають мінімуму технічного обслуговування.

Недоліком технології з використанням ФЕМ, геліоколекторів та теплових насосів є те, що ефективність такої системи буде залежати від регіональних умов, розташування та масштабу проекту. При проектуванні нових сушарень необхідно враховувати можливість інтеграції ФЕМ та геліоколекторів безпосередньо в їхню конструкцію. Це дозволить оптимізувати використання сонячної енергії та геліоколекторів для ефективного сушіння.

**Висновки.** Технологічні схеми сушіння зерна з використанням ФЕМ, геліоколекторів та теплових насосів дозволяють зменшити споживання традиційних енергетичних ресурсів, підвищити енергоефективність підприємства та сприяють забезпеченню енергетичної незалежності України.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Умови зберігання зернових. URL: <https://agrosepmash.ua/uk/umovi-zberigannya-zernovix/>.
2. Пазюк В.М., Петрова Ж.О., Дуб В.В. Сучасний стан проблеми підвищення енергоефективності процесу сушіння насіння зернових культур. URL: <https://cutt.us/MaDft>.
3. Пазюк В. М. Енергоефективна сушка насіння зернових культур. Техніка, енергетика, транспорт АПК. № 3 (110) / 2020, С. 64-70.
4. Damla Barisik Marasli, Neslihan Colak Gunes & Sebnem Tavman (2021): A comprehensive review of solar photovoltaic hybrid food drying systems, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, DOI: [10.1080/10408398.2021.1873728](https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1873728).

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ПАНЕЛІ В СЕРЕДОВИЩІ  
LABVIEWСиротюк С. В., к.т.н., доцент, e-mail: [ssyr@ukr.net](mailto:ssyr@ukr.net)Боярчук В. М., к.т.н., професор, e-mail: [vim2@ukr.net](mailto:vim2@ukr.net)Гальчак В. П., к.т.н., доцент, e-mail: [halchak@ukr.net](mailto:halchak@ukr.net)Коробка С. В., к.т.н., доцент, e-mail: [korobkasv@ukr.net](mailto:korobkasv@ukr.net)Станицький Т. О., старший викладач, e-mail: [taras@ecost.com.ua](mailto:taras@ecost.com.ua)

Львівський національний університет природокористування, Україна

**Актуальність дослідження.** Є достатня кількість програмних засобів, які дозволяють виконати моделювання та аналіз режимів роботи фотоелектричної установки. До них можна віднести Solar Pro, PV-Design Pro, PV-Spice, PV CAD та інші. Однак більшість з них є достатньо дорогими ліцензійними програмами, які зазвичай недоступні для дослідників [1, 2].

**Мета досліджень.** Як варіант є доцільність у розробці комп'ютерних моделей з використанням доступних пакетів, які зазвичай існують у розпорядженні некомерційних дослідників. До них можна віднести пакети Matlab/Simulink, LabVIEW тощо. Застосування зазначених програмних засобів дозволяє відносно швидко та точно виконати побудову моделей та їх дослідження, які однак будуть потребувати експериментальної перевірки в реальних умовах.

**Основні матеріали досліджень.** Сонячна фотоелектрична панель представляється у вигляді сонячного елемента, який є джерелом струму, і який запаралелений діодом. Рівняння вольт-амперної характеристики сонячної фотоелектричної панелі можна записати за формулою [3, 4]:

$$I_d = I_s \left[ \exp \left( \frac{q(V + IR_s)}{N_s K A T_o} \right) - 1 \right],$$

де  $I_s$  – зворотний струм, А;  
 $q$  – заряд електрона, Кл;  
 $V_{oc}$  – напруга розімкненого кола, В;  
 $N_s$  – кількість фотоелементів, що з'єднані у послідовний ланцюг, од.;  
 $K$  – стала Больцмана, Дж/°К;  
 $A$  – коефіцієнт ідеальності діода;  
 $T_o$  – температура фотоелектричної панелі, °К;  
 $R_s, R_p$  – послідовний та шунтовий опір, Ом.

Виконання моделювання фотопанелі слід виконувати з врахуванням фактичних її електричних параметрів, тому за основу було взято фотоелектричну панель типу JA SOLAR JAM60S09-320/PR.

Відповідно до загальної методології оцінки електричних параметрів фотоелектричної панелі розроблено комп'ютерну модель побудови вольт-амперної та вольт-потужнісної характеристик, фрагмент фронтальної панелі якої в умовах змінної інтенсивності сонячного випромінювання та за сталої температури фотопанелі подано на рис. 1.

Аналогічні дослідження проводяться для умов сталої інтенсивності сонячного випромінювання та змінної температури фотопанелі (рис. 2).

**Висновок.**

Розроблена модель може слугувати інструментом для дослідження режимів роботи фотоелектричної панелі в широкому діапазоні впливових параметрів та обґрунтування параметрів засобів управління навантаження.

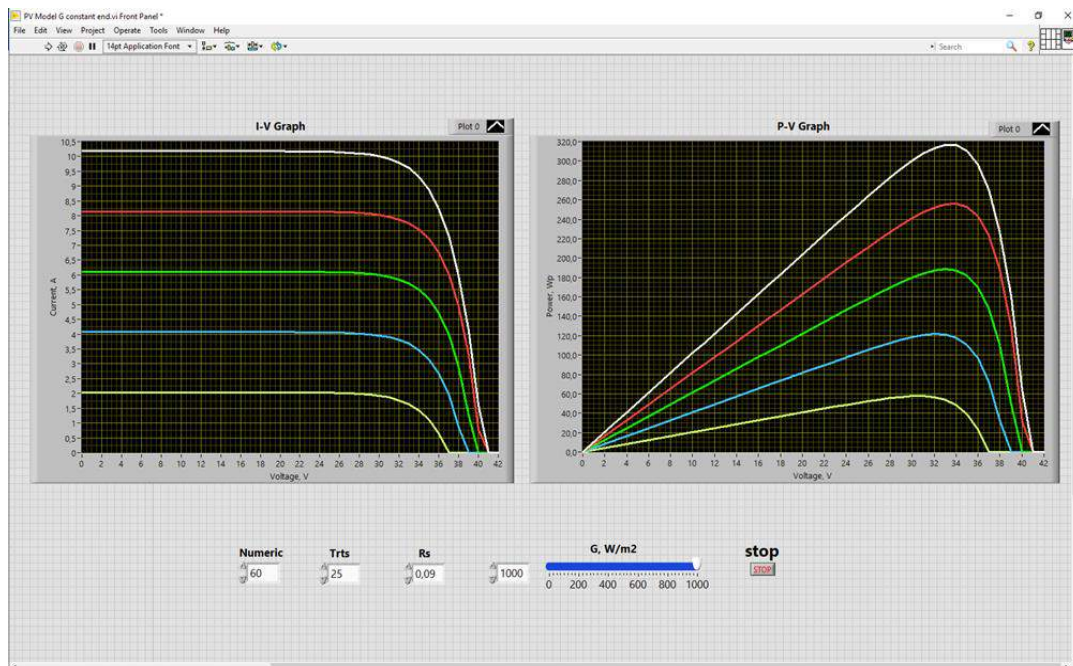


Рисунок 1 – Вольт-амперні та вольт-потужнісні характеристики фотоелектричного модуля за змінного рівня сонячного випромінювання та постійній температурі

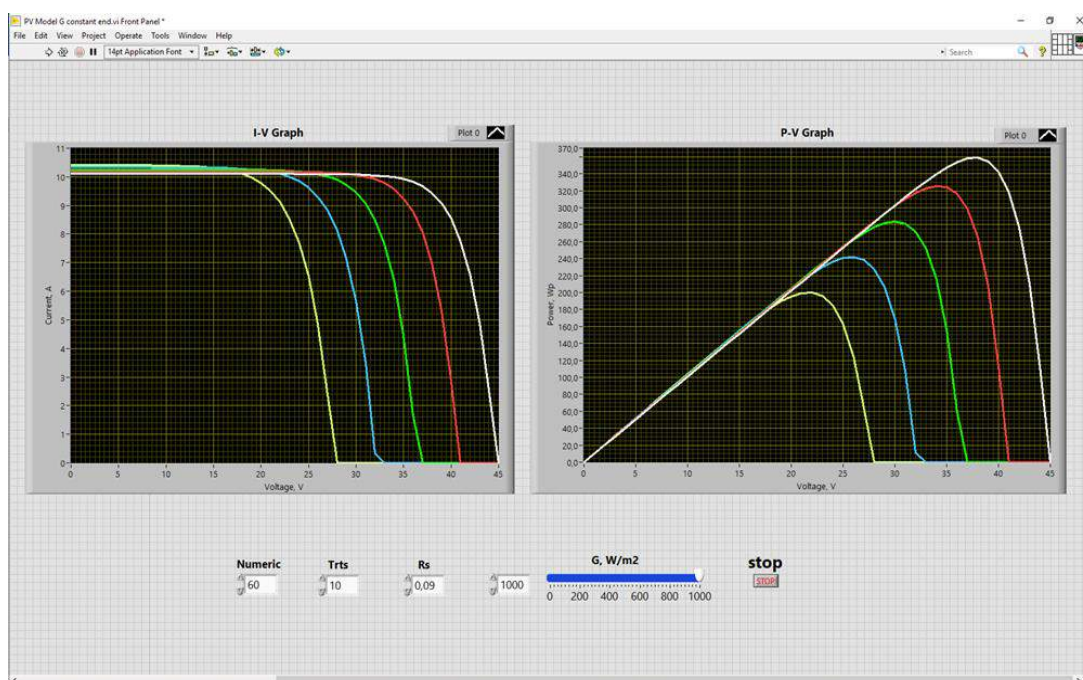


Рисунок 2 – Вольт-амперні та вольт-потужнісні характеристики фотоелектричного модуля за сталою рівня сонячної радіації та змінної температурі

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Carta J. A. A continuous bivariate model for wind power density and wind turbine energy output estimations. *Energy Conversion and Management*. 2007. Vol. 48. P. 420–432.
2. Sharma D. K., Verma V., Singh A. P. Review and analysis of solar photovoltaic software. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE*. 2014. Vol. 4 (2), P. 725–731.
3. Bellini A., Bifaretti S., Iacovone V., Cornaro C., Simplified model of a photovoltaic module. In: *Applied Electronics. IEEE*. 2009. P. 47–51.
4. Sera D., Teodorescu R., Rodriguez P. PV panel model based on datasheet values. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE*. 2007. P. 2392–2396.



АНАЛІЗ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ СОНЯЧНИХ  
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ АГРОПРОМИСЛОВОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ

Сотнік О. В., аспірант, e-mail: [sidi.leha@gmail.com](mailto:sidi.leha@gmail.com)

Мороз О. М., д.т.н., проф., e-mail: [moroz.an@ukr.net](mailto:moroz.an@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) для України означає її незалежність як у прямому так і в переносному сенсі [1]. Глобальне потепління та збільшення сонячного випромінювання на території України, в порівнянні з 20-30 роками у минулому, робить використання сонячних електростанцій (СЕС) одним з ефективних способів отримання електричної енергії (ЕЕ). Дане ствердження справедливо і для локального використання СЕС в агропромисловому комплексі (АПК) України [2].

Крім того, більша частина матеріально-технічної бази наявних потужностей з виробництва електроенергії в Україні зношена та неефективна. За даними Інституту відновлюваної енергетики НАН України, атомні блоки наближаються до закінчення строку проектної експлуатації. Понад 70% атомних блоків потребуватимуть подовження строку експлуатації у найближчі 10 років. 42,2% ліній електропередач (ЛЕП) напругою 220-330 кВт експлуатуються понад 40 років, та 64,4% основного устаткування трансформаторних підстанцій випрацювали свій розрахунковий технічний ресурс. У розподільних мережах значна кількість об'єктів також випрацювала свій ресурс: 40,5% електричних мереж і 37,6% трансформаторних підстанцій потребують реконструкції або заміни [3].

Зменшення запасів викопних джерел енергії та підвищення їх вартості, розвиток технологій, які зменшують вартість обладнання СЕС та підвищують їх ефективність і надійність, намагання покращити кліматичні проблеми за рахунок зменшення споживання енергетичних ресурсів все це сприяє інтенсивному розвитку впровадження частки ВДЕ у світовому енергетичному балансі і є актуальним для України і її АПК, який характеризується великим споживанням енергетичних ресурсів на одиницю рослинної та тваринної продукції [4].

СЕС майже завжди містить у собі накопичувач електроенергії (НЕЕ), який складає вагому частку її вартості. Розрахунок та вибір НЕЕ для СЕС є важливою задачею.

Тому, найбільш перспективним напрямком зменшення вартості сільськогосподарської продукції може бути будівництво локальних СЕС із застосуванням НЕЕ.

**Мета дослідження.** Підвищення надійності та енергоефективності використання СЕС для забезпечення локальних потреб сільськогосподарських підприємств України.

**Основні матеріали дослідження.** Окрім переваг застосування СЕС мають і ряд недоліків, одним з яких є невизначеність прогнозування графіка вироблення енергії. Така складність обумовлена природними факторами.

Тому, для підвищення надійності та стабільності роботи СЕС постає питання вибору системи резервування ЕЕ. Технічні рішення щодо резервування енергії мають різну вартість, ємність та швидкодію, а вибір тієї чи іншої системи потрібно здійснювати з огляду на конкретні вимоги до виробничих процесів підприємства, графік добового та річного споживання енергії, склад та параметри автономної енергетичної системи [5].

НЕЕ можна поділити на такі типи [5]:

- механічні (гідроакумлюючі електростанції (ГАЕС), на стисненому повітрі, на розрідженому повітрі, супермаховики);
- термічні (термохімічні, явне тепло, приховане тепло);
- хімічні (отримання водню, синтез природнього газу);
- електрохімічні (літій-іонні батареї (Li-ion), свинцево кислотні батареї, натрій-сірчані батареї (NaS), проточні редокс-батареї);
- електричні (суперконденсатори).

Світовий відсотковий розподіл використання різних типів НЕЕ (у загальній встановленій потужності всіх сховищ енергії) показує, що лідерство займає ГАЕС – 96%, приблизно 169 ГВт світової встановленої потужності від майже 176 ГВт в цілому. На другому місці, з великим розривом, йдуть термічні сховища – 1,9 %, потужність 3,3 ГВт, далі йдуть електрохімічні батареї – 1,1 %, потужність 1,9 ГВт та електромеханічні системи – 0,9 %, потужність 1,1 ГВт.

Для зберігання ЕЕ при роботі СЕС доцільно використовувати термічні. Серед них найбільш вживаною є технологія накопичення тепла у сольових розплавах (70 %). Серед електрохімічних засобів НЕЕ переважають літій-іонні технології (59 %) [6].

Наразі найшвидший розвиток серед НЕЕ отримали електричні акумуляторні системи різного рівня потужності та призначення [6]. Особливо це стосується літій-іонних батарей.

Прогнозується, що стаціонарні акумуляторні НЕЕ збільшать свою світову встановлену потужність щонайменше 235 ГВт в 2030 р [6].

Це відбудеться за рахунок зниження витрат, збільшення тривалості експлуатації, кількості циклів заряду, розряду та накопичувальної здатності. До 2030 р. загальна вартість даних установок може знизитись на 50-60 %, що зумовлено оптимізацією виробничих потужностей, розвитком технології.

При виборі НЕЕ при роботі СЕС у аграрному секторі, враховуючи вищесказане, можна запропонувати наступні варіанти [5]:

- супер-конденсатори (енергетична ємність – 1 кВт·год....100 кВт·год., час накопичення та віддачі енергії – 1 сек....5 хв.);
- супер-маховики (енергетична ємність – 1 кВт·год....100 кВт·год., час накопичення та віддачі енергії – 1 хв...1 год.);
- акумуляторні батареї різних типів (енергетична ємність – 50 кВт·год....1 МВт·год. і більше; час накопичення та віддачі енергії – 10 хв...1 доби.

**Висновок.** Напрямами підвищення енергоефективності та енергонезалежності сільськогосподарських підприємств є будівництво СЕС із застосуванням НЕЕ. При виборі НЕЕ слід здійснювати огляд на конкретні вимоги до виробничих процесів підприємства АПК. Технічні рішення щодо НЕЕ мають різну вартість, ємність та швидкодію, а вибір тієї чи іншої системи обумовлений графіком добового та річного споживання ЕЕ, складом та параметрами СЕС. Перспективними для використання в агропромисловому секторі України є акумуляторні батареї, а саме літій-іонні.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сотнік О. В., Мороз О. М. Впровадження сонячних електростанцій – один із факторів підвищення енергоефективності та енергонезалежності сільськогосподарських підприємств / Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК: [Електронний ресурс] : Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 22 грудня 2022 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. – Х.: 2022. – с. 46-47. – URL: <https://biotechuniv.edu.ua/nauka/konferentsiyyi/> (дата звернення: 12.10.2023).

2. Денисюк С. П., Стржелецьки Р., Богойко І. І., Стржелецька Н. Аналіз особливостей ефективного впровадження сонячних електростанцій в локальних системах енергозабезпечення. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2023. № 2. С. 7–25.

3. П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, О. Б. Бурикін Оптимізація функціонування відновлюваних джерел енергії в місцевих електричних системах: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2018. 24 с.

4. Денисюк С. П., Белоха Г. С., Чернещук І. С., Лисий В. В. Світові тенденції впровадження відновлюваних джерел енергії та особливості їх реалізації при відновленні економіки України. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2022. № 4. С. 8-12.

5. Калетнік Г. М. Перспективи підвищення енергетичної автономії підприємств АПК в рамках виконання енергетичної стратегії України. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2019. Вип. 4. DOI: [10.31521/2313-092X/2019-4\(104\)](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2019-4(104)). С. 90–98.

6. IRENA (2017), Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, [www.irena.org](http://www.irena.org) (дата звернення: 16.10.2023).

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ЛОКАЛЬНІ ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ

Тоберт М. Ю., аспірант, e-mail: [tobert.mikhail@gmail.com](mailto:tobert.mikhail@gmail.com)

Мороз О. М., д.т.н., проф., e-mail: [moroz.an@ukr.net](mailto:moroz.an@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Сучасні локальні електричні системи (ЛЕС) в Україні відіграють важливу роль у розподільних електричних мережах (РЕМ) енергопостачальних компаній. ЛЕС є складовою частиною РЕМ, де в якості джерел енергії використовуються джерела розосередженого генерування з використанням нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Використання ВДЕ є тенденцією сучасного розвитку енергетичної галузі у світі, так у відповідності з оновленою директивою ЄС про відновлювані джерела енергії (REDIII) обов'язкова цільова частка ВДЕ в кінцевому споживанні енергії повинна бути на рівні 42,5% до 2030 року [1]. В електричних мережах напругою 6–35 кВ з ізольованою нейтраллю відбуваються процеси, які негативно впливають на роботу електромагнітних пристроїв, наприклад, середній термін експлуатації трансформаторів напруги часто не перевищує 3–5 років [2].

**Мета досліджень.** Проведення дослідження щодо визначення впливу розосереджених джерел енергії на локальні електричні системи.

**Основні матеріали досліджень.** Розвиток розосереджених джерел енергії (РДЕ) та сучасних ЛЕС має велике значення на надійність електрозабезпечення споживачів. Тенденцією розвитку електроенергетичної галузі є зменшення генерації з традиційних видів палива, збільшення генерації з ВДЕ, що в основному пояснюється зменшенням витрат на інвестиції та операційні витрати, широким впровадженням телекомунікаційних і управлінських технологій та активним залученням споживачів до генерації та споживання електроенергії. Тенденції розвитку ВДЕ свідчать про високий інноваційний потенціал цих технологій, здатний глибоко змінити традиційні електричні системи, які сьогодні функціонують з великими ресурсами та централізованим керуванням, на більш децентралізовані системи з розподіленими ресурсами та управлінням [3].

Таким чином, розвиток ВДЕ, при відповідному впровадженні сучасних технологій управління режимами роботи електричних мереж, може сприяти таким можливостям, як: гнучке регулювання рівнів напруги на різних вузлах, що покращує якість електричної енергії; керування напрямками та обсягами струму в лінійних і трансформаторних гілках системи розподільних мереж, а відповідно і уникнення аварійних перевантажень; зниження частки традиційних видів палива в електроенергії, яку отримують споживачі; зменшення впливу традиційних джерел електроенергії на навколишнє середовище завдяки зменшенню їхнього викиду і зменшенню втрат в лініях передачі та розподілення у порівнянні з централізованою системою електрозабезпечення.

Крім того, РДЕ та ЛЕС стають все більш привабливими завдяки їх екологічності. Успішна реалізація цих переваг великою мірою залежить від правильної і надійної роботи системи РЕМ. Основною системою напруг в ЛЕС є система 110/35/10/0,4 кВ з підсистемами 110/10/0,38 кВ і 35/10/0,38 кВ. Важливим аспектом є надійність РЕМ, можливість резервування та раціональне розташування і використання комутаційних апаратів, таких як секційні роз'єднувачі, вимикачі та реклоузери [2].

На сьогодні актуальним питанням залишається розбудова ЛЕС з резервним живленням від РДЕ, оскільки протягом осені-зими 2022-2023 років велика кількість електростанцій та магістральних підстанцій об'єднаної енергетичної системи України зазнали значних пошкоджень через масовані ракетні атаки рф. Були пошкоджені 43% магістральних мереж та значна частина сонячних та вітрових електростанцій (СЕС та ВЕС), а також теплових і

гідроелектростанцій (ТЕС і ГЕС), що призвело до зменшення постачання електроенергії з ВДЕ до енергетичної системи України, і відповідно вплинуло на доступність енергоресурсів для підприємств та населення, а також на вартість електричної енергії [4].

Основною функцією ЛЕС є забезпечення електроенергією обмеженої географічної області, такої як місто, район або конкретний об'єкт. Більшу частину споживачів ЛЕС України складають споживачі, розташовані в сільській місцевості, зокрема сільськогосподарські підприємства. ЛЕС, що активно використовується у великих та середніх містах країни, їх ознакою є використання кабельних ліній, де основними за надійністю електропостачання є споживачі I-ї і II-ї категорій. Створення ЛЕС є актуальним у випадках, коли будівництво електротехнічних систем у віддалених районах, відокремлених від централізованих електроенергетичних мереж, не є економічно доцільним через високі витрати на прокладання нових комунікаційних ліній до джерел генерації або збільшення пропускну здатності існуючих мереж.

На сьогодні енергетичні системи, які використовують розподілену генерацію (РГ), можуть включати виробництво енергії з ВДЕ, зокрема СЕС, ВЕС, малі ГЕС та когенераційні установки, до них входять, наприклад, станції, які спалюють біомасу, тверді побутові відходи та природний газ. Часто у сучасних системах стаціонарних об'єктів із внутрішніми генераційними ланками, що базуються на джерелах РГ, створюються повністю автономні енергетичні системи. Ці системи об'єднують в собі процеси створення енергії, її перетворення, зберігання та використання [5]. Таким чином, для надійності та безперебійної роботи ЛЕС потрібно забезпечити резервним електропостачанням. У такому випадку гарним рішенням буде використання РДЕ, оскільки вони можуть бути використані як резервні джерела живлення, що дозволить підвищити надійність РЕМ.

Незважаючи на те, що РДЕ є гарним рішенням багатьох можливих аварійних ситуацій, але збільшення кількості СЕС, мікротурбін ГЕС, біогазових установок та ВЕС може мати негативний вплив на показники якості електричної енергії, наприклад, понад нормоване зростання або зменшення напруги. Тому при використанні СЕС у сонячні дні, необхідним рішенням буде обмеження генерації або накопичення електроенергії в установках зберігання енергії. Погіршення показників якості електричної енергії є причиною пошкодження вимірювальних трансформаторів напруги, сучасних мікропроцесорних автоматизованих систем керування технологічними процесами, розрядників та обмежувачів перенапруг, кабельних муфти, ламп освітлення, пристроїв релейного захисту та автоматики тощо [6].

**Висновок.** Використання ВДЕ в локальних електричних мережах має важливе значення для енергетичного сектору України та відіграє значущу роль у забезпеченні енергетичної незалежності країни, особливо в умовах війни з росією. Недоліком розподіленої генерації в ЛЕС є її вплив на якість електричної енергії та роботу електротехнічного обладнання, тому для забезпечення надійної роботи таких електричних мереж необхідно проводити дослідження щодо оптимального складу генеруючих потужностей від різних джерел, а також розбудова установок зберігання електричної енергії, що підвищить надійність електропостачання.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Розвиток ВДЕ до 2030 року: цілі ЄС та плани України. URL: <https://cutt.us/DbzLq>.
2. Підвищення експлуатаційної надійності та ефективності роботи електричних мереж та електроустаткування. URL: <http://surl.li/mdpiu>.
3. Microgrid Applications and Technical Challenges—The Brazilian Status of Connection Standards and Operational Procedures URL: <http://surl.li/mpfkn>.
4. Енергосистема України зазнала атак понад 1200 ракет та дронів РФ — Суспільне новини. URL: <http://surl.li/mjqgp>.
5. Розподілена генерація електроенергії. URL: <http://surl.li/mdpmv>.
6. Оптимізація режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами електроенергії: Монографія / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько. Вінниця: ВНТУ, 2017. 13с. URL: <http://surl.li/mjqgd>.

## МОЖЛИВОСТІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID У РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Харірі Ф. М., магістрант, e-mail: [Faizkharir@gmail.com](mailto:Faizkharir@gmail.com)

Мороз О. М., д.т.н., проф., e-mail: [moroz.an@ukr.net](mailto:moroz.an@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Сучасні енергетичні системи (ЕС) являють собою складні територіально-розподілені мережі, які постійно змінюються через розширення, реконструкцію та модернізацію. Управління ЕС потребує створення і впровадження нових ефективних підходів, які базуються на сучасних геоінформаційних технологіях. Особливостями впровадження геоінформаційних систем (ГІС) в енергетиці України є технічний стан існуючої інфраструктури: значна частина енергетичної інфраструктури є застарілою або не обладнаною сучасними технологіями, тому впровадження ГІС може вимагати інтеграції з існуючими системами, які потребують модернізації. Використання ГІС в ЕС дозволить їм бути гнучкими та здатними до швидкого оновлення і якісно відображати ці зміни.

**Мета досліджень.** Проведення комплексного дослідження щодо визначення можливостей геоінформаційних систем для реалізації концепції SMART GRID в розподільних електричних мережах для ефективного їх використання, а також дослідження проблем впровадження ГІС в енергетичній системі України.

**Основні матеріали досліджень.** "Smart Grid" - це інтегрована система електропостачання, яка використовує передові технології для забезпечення ефективнішого, надійного та стійкого енергопостачання, а також сприяє активній участі споживачів у процесі управління енергією. Україна приділяє суттєву увагу розвитку «розумних» мереж, але динаміка їх впровадження залежить від таких факторів як політика, фінансування та технічні можливості. Інтеграція ОЕС України з енергетичною системою Європейського Союзу вимагає впровадження стандартів та технічних рішень, які відповідають європейським вимогам, що буде сприяти розвитку «розумних» мереж. Ключовими перевагами інфраструктури «розумних» мереж є [1]:

- стійкість інфраструктури мережі, яка продовжує працювати навіть у разі пошкодження або руйнування одного сегменту;
- готовність до розвитку ВДЕ, розподіленої генерації, storage систем та зеленого енергопереходу;
- технологія Digital Twin («Цифровий близнюк»), що дозволяє моделювати та прогнозувати, як буде функціонувати модернізована мережа.

Про важливість розвитку «розумних» мереж свідчать плани групи ДТЕК щодо залучення фінансування в розмірі 2,4 мільярди євро в рамках 10-річного проєкту із трансформації енергетичної інфраструктури Київської області. План передбачає побудову «розумної» мережі з 20 000 км нових повітряних і підземних кабелів, 250 підстанцій, 6 000 трансформаторів і встановлення майже мільйона «розумних» лічильників [1]. У результаті середній час відключення електроенергії на рік зменшиться з 1 500 до 100 хв (SAIDI), а технологічні втрати знизяться в 3 рази – з 14 % до 5 %.

ГІС відіграють важливу роль в реалізації концепції "Smart Grid" в розподільних електричних мережах внаслідок можливостей, які ГІС може надати для реалізації концепції "Smart Grid", зокрема [2, 3, 4]:

1. Інтеграція геопросторових даних: ГІС дозволяє збирати, зберігати і візуалізувати географічні дані, такі як дані про мережі, земельні володіння, географічні особливості тощо на цифровій карті. Це полегшує розуміння структури мережі та взаємозв'язків між різними складовими системи. Оператори можуть визначити найкоротший шлях для ремонту, знайти проблемні ділянки ліній передачі, а також спланувати нові підключення до мережі.

2. Моніторинг та управління активами: ГІС дозволяють вести моніторинг стану обладнання, такого як трансформатори, опори, лінії електропередачі тощо. ГІС може автоматизовано генерувати повідомлення про несправності або несподівані зміни стану обладнання, це допомагає підвищити ефективність обслуговування, зменшити час відключення і знизити витрати на ремонт.

3. Визначення стану та якості мережі: ГІС може бути використаний для аналізу різних показників, таких як напруга, струм, потужність та втрати енергії на всій мережі. Оператори можуть виявити проблеми, такі як втрати енергії через несправне обладнання або перевантаження ліній передачі. Такий аналіз допомагає зменшити втрати електроенергії і підвищувати ефективність систем електропостачання.

4. Прогнозування навантаження: ГІС допомагає операторам прогнозувати зміни в навантаженні на мережу і відповідно планувати розвиток і розширення мережі, таким чином забезпечуючи потреби споживачів та запобігаючи перевантаженням. Це особливо важливо у сучасних "Smart Grid", де відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) мають стохастичний характер генерації, що відповідно потребує резервування маневрових потужностей.

5. Аналіз ВДЕ: ГІС допомагає ідентифікувати потенційні місця для встановлення СЕС, вітроенергетичних установок та інших установок генерації, а також допомагає визначити оптимальні місця для установок зберігання енергії. ГІС також допомагає зв'язати ці джерела з мережею та регулювати їх виробництво у реальному часі.

6. Управління віддаленими об'єктами: ГІС може бути інтегрована з системами автоматизованого управління для моніторингу та керування віддаленими об'єктами, такими як підстанції або дистанційні реле, що дозволяє операторам здійснювати віддалене керування та відновлення послуги після виникнення аварійних ситуацій.

Незважаючи на значні переваги ГІС в розвитку енергетики України існують проблеми впровадження системи, зокрема: 1) Впровадження ГІС великого масштабу є дорогим завданням, тому питання фінансування є суттєвою проблемою, особливо для державних та комунальних енергетичних компаній; 2) Україна потребує змін у нормативному середовищі для ефективного впровадження ГІС в енергетиці; 3) Оператори та персонал можуть чинити супротив новим технологіям та змінам у робочих процесах, тому актуальною задачею є активна підтримка та навчання персоналу; 4) Збільшення цифрової обробки даних збільшує ризики витоку даних та кіберзлочинності, тому безпека даних та заходи для їх захисту є дуже важливими; 5) ГІС вимагає комплексного підходу і співпраці різних структур, що є складною задачею з організації та керування.

**Висновки.** ГІС відіграють ключову роль у вдосконаленні управління розподільними електричними мережами та сприяють досягненню основних цілей концепції "Smart Grid", таких як підвищення ефективності, зменшення втрат, забезпечення стійкості, підтримка відновлювальної енергетики та зменшення впливу на навколишнє середовище. Впровадження ГІС в енергетиці України має великий потенціал для поліпшення управління та ефективності енергетичної системи країни.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДТЕК планує побудувати в Київській області першу в Україні інфраструктуру «розумних» електромереж Smart Grid. URL: <https://cutt.us/2yxzl>.

2. The use of GIS in renewable energy specialist's learning. I. S. Zinovieva, Anna V. Iatsyshyn, V. O. Artemchuk, V. V. Stanytsina, L. S. Sheludchenko, O. O. Popov, V. O. Kovach and Andrii V. Iatsyshyn. URL: <https://cutt.us/kV7sr>.

3. Шулле Ю. А., Девятко М. В. Геоінформаційні системи як інструмент реалізації концепції SMART GRID та шлях до ефективного енергозбереження. URL: <https://cutt.us/TvO91>.

4. Ткаченко В. П. Геоінформаційні технології та інструментальні засоби підвищення ефективності та безпеки функціонування систем енергетики / В. П. Ткаченко, М. І. Губа, О. П. Зелений // Информационные системы и технологии: материалы 6-й Международ. науч.-техн. конф., посвященной 80-летию В.В. Свиридова, 11-16 вересня 2017 р.: тези доп. – Коблево-Харків, 2017. – С. 94-95. URL: <https://cutt.us/Hd0fx>.

## ВИМОГИ ДО СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ РОБОТИ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

Шаровкін С. В., магістрант, e-mail: [serjeysarovkin@gmail.com](mailto:serjeysarovkin@gmail.com)

Мороз О. М., д.т.н., проф., e-mail: [moroz.an@ukr.net](mailto:moroz.an@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Масштабні руйнування енергетичної системи України та високі ціни імпортованого пального змушують шукати альтернативні види енергії. Виробництво біогазу з органічних відходів - це екологічна та дешевша альтернатива природному газу, на який Україна щорічно витрачає декілька мільярдів доларів. Для виробництва біогазу використовуються біогазові установки (БГУ), які мають значну кількість технологічного обладнання і потребують постійного контролю за параметрами роботи та газового середовища в біогенераторах. Для забезпечення автоматичного режиму та безпечних умов експлуатації кожна установка повинна мати певний набір датчиків та мікроконтролерів, які б відповідали експлуатаційним вимогам, а сама автоматична система виконувала певні функції для ефективної та безперервної роботи БГУ.

**Мета досліджень.** Проведення комплексного дослідження щодо факторів та перспектив розвитку біоенергетики в Україні, функцій систем автоматизації управління та регулювання БГУ, а також складу елементів системи автоматизації і функцій механічного змішувача.

**Основні матеріали досліджень.** В енергетичній стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», прийнятою КМ України у 2017 році, передбачається внесок біопалива та відходів у загальне постачання первинної енергії (ЗППЕ) у 2035 році 11 млн т.н.е., що складає 11,5 % від ЗППЕ. За оцінкою Біоенергетичної асоціації України потенціал України з виробництва біометану складає близько 10 мільярдів кубометрів на рік. Станом на 2020 рік 5,2 мільярди кубів газу було заміщено біоенергетикою при загальному споживанні у 30 мільярдів кубометрів газу, тобто в Україні біоенергетика в цілому замістила понад 15 % споживання природного газу [1]. Причинами інтенсивного розвитку біоенергетики в Україні є такі фактори [2]:

1) Енергонезалежність та стабільність: виробничі потужності біоенергетичних установок можна прогнозувати з точністю до днів.

2) Розвиток місцевої економіки та нові робочі місця: будівництво БЕУ передбачає створення нових робочих місць.

3) Додатковий дохід для фермерів: біоенергетичні проекти передбачають постійне придбання біомаси у фермерів та сільськогосподарських виробників за привабливою ціною.

4) Протидія змінам клімату та виконання міжнародних зобов'язань України щодо скорочення викидів CO<sub>2</sub>.

Розвиток біогазової сфери не можливий без технічного забезпечення та автоматизації процесів біогазових установок. Автоматизація управління та регулювання БГУ є важливою для ефективної та безперервної роботи об'єкта і вона повинна виконувати такі функції [3]:

1. Моніторинг та контроль процесу: системи автоматизації повинні постійно вимірювати та контролювати різні параметри, такі як температура, тиск, рівень біогазу, склад субстратів, інші параметри, які впливають на процес утворення біогазу.

2. Регулювання подачі субстрату: автоматизовані системи керують процесом дозування субстратів для забезпечення оптимальних умови для бактеріального розкладання органічних матеріалів і виробництва біогазу.

3. Контроль за якістю газу: системи повинні моніторити склад газу, забезпечуючи видалення забруднювачів та регулювати вміст метану, який є головним компонентом біогазу.

4. Контроль системи збору та зберігання біогазу: автоматизовані системи відслідковують обсяги виробленого біогазу, регулюють тиск у резервуарах для зберігання біогазу та керують виведенням газу для використання або подальшого зберігання.

5. Безпека та аварійна ситуація: системи автоматизації повинні виявляти аварійні ситуації, такі як надмірний тиск у біогазовому резервуарі чи витік газу, і автоматично активувати заходи безпеки, включаючи відключення процесу.
6. Дистанційний моніторинг і керування: системи моніторингу та дистанційного керування повинні здійснювати дистанційний моніторинг та керування БГУ через Інтернет або мережі мобільного зв'язку.
7. Оптимізація енергоспоживання: автоматизація сприяє оптимізації використання енергії в процесі біогазового виробництва, зокрема, ефективного використанню тепла, що виробляється в процесі біогазоутворення, для нагріву води, опалення або виробництва електроенергії.
8. Звітність і аналіз даних: системи автоматизації повинні здійснювати збирання даних про роботу установки, з метою аналізу результатів та вдосконалення процесів.
9. Ефективність та зменшення витрат: автоматизація допомагає знижувати витрати на енергію, оплату праці та інші ресурси, підвищуючи виробничу потужність та видачу біогазу при менших витратах.

Система автоматизації БГУ складається з панелі автоматики, електрошафи вводу та розподілу потужності, пульта управління, датчиків і приладів, програмного забезпечення. Система може бути реалізована на базі промислового контролера Siemens CPU315-DP2 з використанням розподіленої периферійної системи Simatic ET200S та сенсорної панелі оператора OP277 Touch [4]. Взаємодія між усіма компонентами відбувається через мережі PROFIBUS і MPI за допомогою фізичного інтерфейсу RS-485. Програмне забезпечення управління здійснюється за допомогою системи Simantic Step7. Модульна шафа управління містить блок живлення, центральний і буферний процесор, а також розподільну периферію з системою введення/виведення. У нижній частині знаходиться інтерфейсне реле з затискачами для підключення виконавчої апаратури.

Одним із головних механічних пристроїв БГУ, що забезпечує змішування субстратів, є центральний змішувач PG 180 VS [5], який встановлюється в центрі даху реактора. Він призначений для роботи в агресивному середовищі біогазового реактора і може змішувати малов'язкі середовища з вмістом сухих речовин до 12 %. Конструкція змішувача складається з двигуна-редуктора, встановленого поза резервуаром, і довгого вала, прикріпленого до нього всередині резервуара. Змішувач ізольований від атмосфери через гідрозатвор з вбудованим контролем рівня. Конструкція змішувача передбачає можливість обслуговування двигуна без зупинки процесів в біогазовому реакторі, низьке енергоспоживання, та створення оптимального тепломасообміну в реакторі. Центральний змішувач PG 180 VS може використовуватись у сталевих резервуарах об'ємом від 1000 до 10000 м<sup>3</sup>. Діапазон потужності приводного електричного двигуна мішалки може коливатися від 7,5 кВт до 75 кВт, діапазон обертів змішувача від 14 до 19 об/хв.

**Висновки.** Виробництво біогазу вирішує екологічну проблему наявних обсягів органічних відходів, що генеруються всіма виробничими та переробними підприємствами, одночасно надаючи можливість отримувати енергетичні джерела з відходів власного підприємства, виробництва, домогосподарства. Головними причинами розвитку біоенергетики в Україні є забезпечення енергонезалежності та стабільності енергетичної системи України, а також загальні тенденції розвитку відновлювальної енергетики у світі з метою скорочення викидів вуглецю. Завдяки автоматизації здійснюється ефективна робота БГУ, зменшується споживання ресурсів, підвищується безпека та знижується ризик виникнення аварій.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Нова енергетика України: коли біопаливо замінить газ та вугілля. URL: <https://cutt.us/iBAOr>.
2. Стратегія розвитку біоенергетики в Україні. URL: <https://cutt.us/VR3wo>.
3. Development of a simple biogas analyzer module (BAM) for real-time biogas production monitoring. Luciano de Melo, Ianny Andrade Cruz and others. <https://doi.org/10.1080/09593330.2023.2235457>.
4. Automation and electric distribution cabinets. URL: <https://cutt.us/qOzU0>.
5. Central mixer PG 180 VS. URL: <https://cutt.us/nwgbz>.



### СЕКЦІЯ 3. ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА ТА РОБОТОТЕХНІКА

УДК 621.333.2

#### ВІДДАЛЕНЕ КЕРУВАННЯ РОБОТОТЕХНІЧНИМ ПРИСТРОЄМ ALLCODEFORMULA З ВИКОРИСТАННЯМ РОЗРОБЛЕНОГО ANDROID ДОДАТКУ

Бабаш А. В., асистент, e-mail: [babashandrey@gmail.com](mailto:babashandrey@gmail.com)

Донбаська державна машинобудівна академія

**Актуальність дослідження.** На сьогоднішній день технології віддаленого керування широко використовуються у різних сферах життя. У виробництві технології віддаленого керування можуть вирішити проблему знаходження людини у небезпечних для життя та здоров'я середовищах (хімічна промисловість, середовища з підвищеною радіоактивністю та ін.). Дуже популярні безпілотні апарати, які можуть проводити фотографування або відео фіксацію об'єктів, у недоступних або небезпечних середовищах для людини. При цьому, фахівець лише здійснює віддалене керування з використанням технології Wi-Fi або Bluetooth тощо.

**Мета досліджень.** Аналіз, дослідження та використання технологій віддаленого керування у сучасному електроприводі на прикладі роботи технічного пристрою ALLCODEFORMULA за допомогою спеціалізованого Android додатку.

Задачі дослідження:

- вивчення документації та ознайомлення з API ALLCODEFORMULA для здійснення програмування та віддаленого керування пристроєм через Bluetooth;
- ознайомлення з вбудованими датчиками ALLCODEFORMULA;
- розробка Android додатку для здійснення віддаленого керування пристроєм ALLCODEFORMULA.

**Основні матеріали досліджень.** Робото технічний комплекс ALLCODEFORMULA має Bluetooth модуль за допомогою якого можливе з'єднання пристрою з комп'ютером або мобільним пристроєм на базі Android. Також є ряд датчиків на борту: інфрачервоні датчики відстані, датчик освітленості, акселерометр. Пристрій має вбудований мікрофон та динамік, монохромний LCD дисплей, дві програмовані кнопки, два двигуни з енкодерами. Для програмування пристрою використовується строковий протокол з набором певних API. Загальний вигляд та система команд ALLCODEFORMULA [1] наведені на рисунку 1.

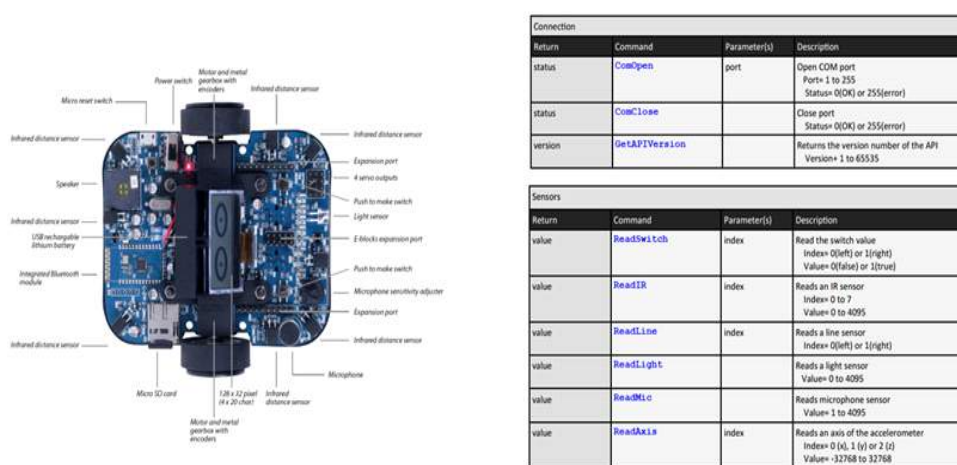


Рисунок 1 – Загальний вигляд ALLCODEFORMULA та система команд (API)

Android додаток для здійснення віддаленого керування робото технічним пристроєм ALLCODEFORMULA було розроблено з використанням середовища розробки IntelliJIdea та мови програмування Java. Фрагмент програмного коду для здійснення віддаленого керування з використанням спеціалізованого розробленого Android додатку наведено на рисунку 2.

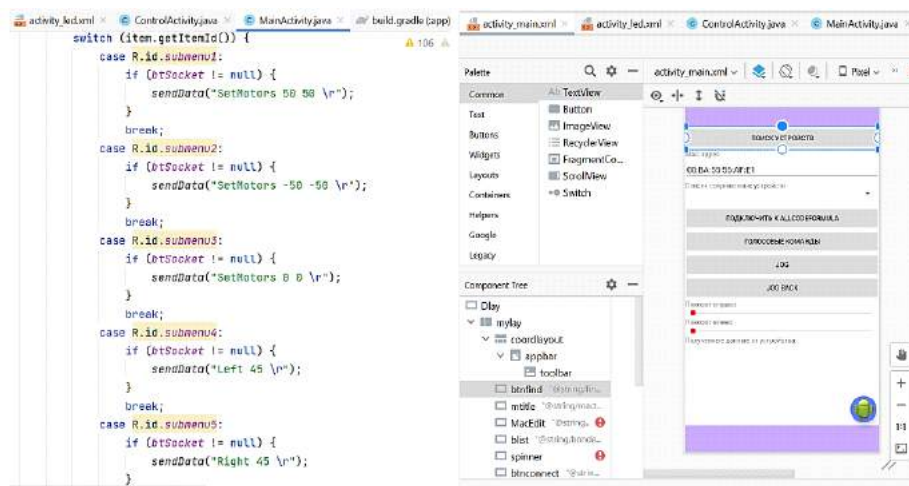


Рисунок 2 – Фрагмент програмного коду для керування додатком та зовнішній вигляд інтерфейсу

Інтерфейс розробленого додатку для здійснення віддаленого керування показаний на рисунку 3

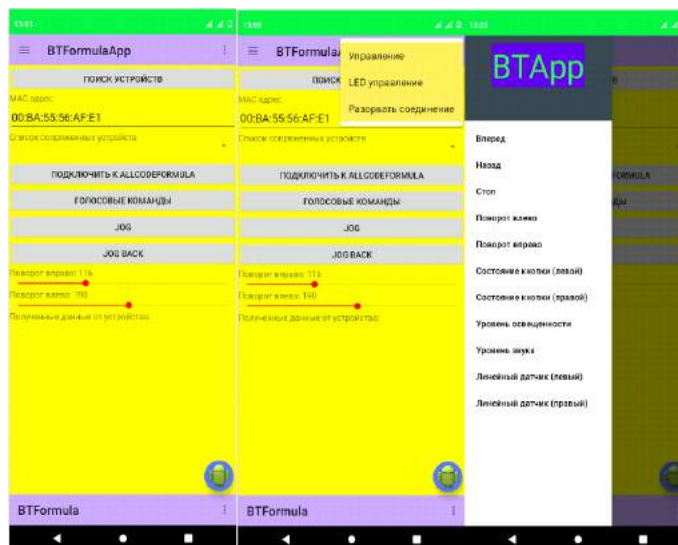


Рисунок 3 – Інтерфейс розробленого Android додатку

**Висновок.** В результаті досліджень було досліджено систему API команд та розроблено мобільний Android додаток для здійснення віддаленого керування робото технічним пристроєм ALLCODEFORMULA.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ALLCODE [Electronic resource] – Available at: Matrix - Formula AllCode - Learn Robotics, your way | Buying AllCode (matrixtsl.com).
2. IntelliJ IDEA – the Leading Java and Kotlin IDE [Electronic resource] – Available at: <https://www.jetbrains.com/idea/>

**ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В УСТАНОВКАХ  
ВОДОПОСТАЧАННЯ МІКРОРАЙОНУ**Бондаренко М. О., аспірант, e-mail: [miwanya2008@ukr.net](mailto:miwanya2008@ukr.net)Лисиченко М. Л., д.т.н., професор, e-mail: [lpriysychnko@ukr.net](mailto:lpriysychnko@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** В сучасних умовах постійного збільшення чисельності населення міст, особливу увагу приділяють елементам, які забезпечують ефективне функціонування всіх складових міської інфраструктури. В комунальному секторі економіки України основними потужними споживачами електроенергії є електропривод ліфтових механізмів, насосних станцій в будинках підвищеної етажності, ін. Особливістю роботи їх режиму роботи є непостійне рівномірність завантаження протягом певного часу, наприклад, зміни або доби. Подачу води в систему і її подальшу циркуляцію забезпечують насосні станції до складу яких входять насосні установки, гідротехнічні споруди, інше енергетичні обладнання що технологічно пов'язане під час роботи та забезпечує безперебійну подачу води в розвідну мережу системи водопостачання. Основними електроспоживачами системи водопостачання є електричні двигуни насосних агрегатів, які повинні відповідати специфічним вимогам: плавний пуск двигуна під навантаженням щоб унеможливити гідроудар в системі, підтримання постійного тиску при коливанні об'ємів споживання води протягом доби [1].

Останнім часом збільшилась кількість регульованого електроприводу, як на промислових підприємствах так і у інших об'єктах господарювання. Вказане обумовлене перевагами частотного регулювання асинхронних електродвигунів: можливістю плавного пуску і зупинки, зменшення пускових струмів, відносно просте схемне рішення в разі необхідності автоматичного регулювання в залежності від параметрів технологічного процесу, ін. [2].

**Мета досліджень** – є визначення рівня енергоспоживання насосними станціями системи водопостачання мікрорайону.

**Основні матеріали досліджень.** Для проведення експериментальних досліджень були вибрані дві насосні станції з для забезпечення водою однакових груп будинків житлового мікрорайону (м. Умань), які мають приблизно однакову конфігурацію водопроводу. Для їх живлення використані асинхронні електричні двигуни потужністю 22,0 кВт (№4 і №6). Двигун № 6 біло обладнано шафою керування типу АKN Hydro Control-LT для автоматичного керування режимом роботою насосною станцією в системі підвищення тиску і циркуляції в багатоповерхових будинках (рис.1).



Рисунок 1 – Шафа керування типу АKN Hydro Control-LT

Експериментальні дослідження проводились протягом 30 діб. В трубопроводі де встановлено насос з електродвигуном №6 встановлено датчик контролю тиску, який підключено в схему керування режимом роботи.

Аналіз отриманих вимірювань рівня споживання електроенергії електроприводами насосних станцій (рис.2) показує, що електродвигун №6, де встановлено частотне регулювання з залежності від тиску в системі водопостачання будинків підвищеної етажності (більше 9 поверхів), протягом доби, на 25-30 % менше ніж електродвигун №4.

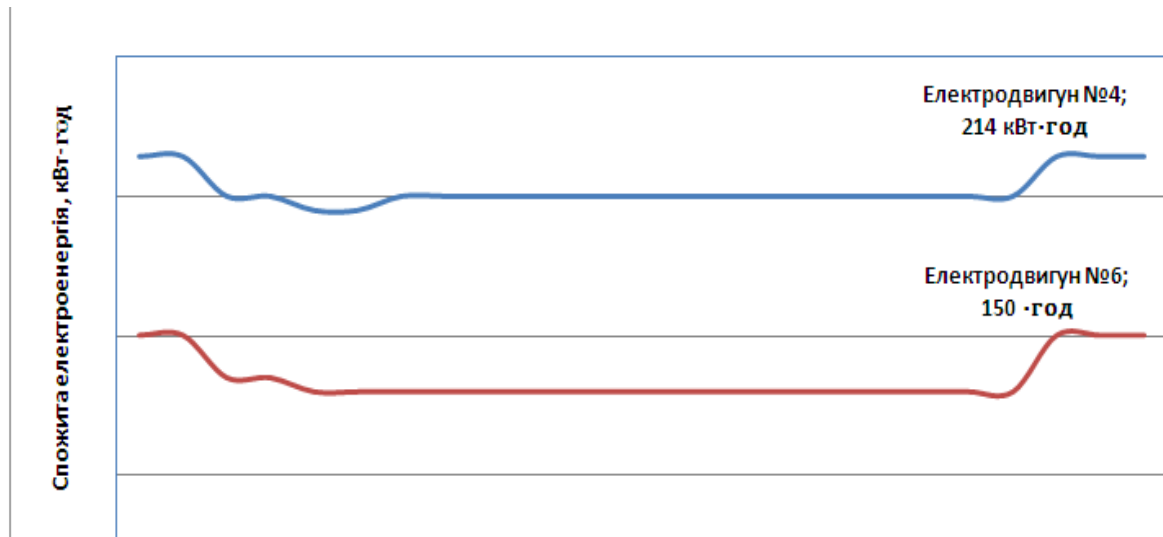


Рисунок 2 – Графік споживання електроенергії електроприводом насосів №4 і №6

**Висновок.** Впровадження частотно-регульованого електроприводу в системі водопостачання житлового мікрорайону з будинками підвищеної етажності, забезпечує зниження споживання електроенергії на 26,5 %.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Охрименко В. М. Споживачі електричної енергії. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 286 с.
2. Голодний І. М. Моделювання регульованого електроприводу / І. М. Голодний, Ю. М. Лаврінченко, Л. С. Червінський. Київ: Аграр Медіа Груп, 2013. 227 с.
3. Голодний І. М. Регульований електропривод. / І. М. Голодний, Ю. М. Лаврінченко, В. В. Козирський, та ін. Київ: ТОВ «ЦП Компринт», 2015. 509 с.

## АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ РОЗУМНОЮ РОБОТИЗОВАНОЮ ПЛАТФОРМОЮ

Борох К. С., студентка, e-mail: [borohziata2015@gmail.com](mailto:borohziata2015@gmail.com)Перекрест І. А., студент, e-mail: [vanya12x@gmail.com](mailto:vanya12x@gmail.com)Вадурін К. О., аспірант, e-mail: [kir3337@gmail.com](mailto:kir3337@gmail.com)

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Актуальність дослідження.** Зважаючи на розвиток сучасної науки та техніки, широке запровадження інформаційних систем побудованих за концепцією Industry 4.0, перехід високотехнологічних підприємств до Industry 5.0, актуальною науково-технічною задачею є автоматизація процесів які наразі виконуються в напівавтоматичному чи ручному режимах. Наразі, виходячи з нормативно-правової бази України та досвіду роботи з муніципальним екологічним підприємством, дослідження стану якості атмосферного повітря та формування звітів за даними з станцій Vaisala здійснюється у напівавтоматичному режимі. Станції закріплені на визначених об'єктах та дані з них автоматично зберігаються у інформаційній системі, але формування остаточних звітів здійснюється оператором вручну. За необхідності перевірки стану повітря у визначеній точці міста, де немає станцій екологічного моніторингу, використовується пересувна мобільна лабораторія, що має прецензійне обладнання, але потребує значної частки людської праці. Крім того, Державною службою України з надзвичайних ситуацій визначено одним з основних напрямків досліджень технології ефективного реагування на надзвичайні ситуації воєнного характеру із застосуванням сучасних видів безпілотних літальних апаратів та роботизованої техніки [1]. Також, Україна є аграрною державою, а отже значну актуальність має впровадження новітніх аграрних технологій моніторингу стану полів, їх зрошення, дезінсекцію. Усі ці задачі можуть бути вирішені використовуючи розумні роботизовані платформи, на яких відпрацьована спеціалізована чи універсальна модель керування.

**Мета досліджень.** Метою цього дослідження є аналіз існуючих способів руху колісних роботизованих платформ та синтез універсальної аналітичної моделі керування, що зробить можливою подальшу розробку методів керування роботом у конкретних задачах різних галузей.

**Основні матеріали досліджень.** Рух роботизованої платформи може бути голономним або неголономним, в залежності від можливості платформи пересуватися у будь-якому напрямку без обмежень [2]. Голономний рух передбачає незалежність від орієнтації платформи, в той час як неголономний рух обмежений кількістю доступних напрямків. Важливим параметром приводу платформи є одометрія, яка використовує дані з датчиків на платформі для визначення поточного положення.

Проаналізувавши різні приводи: двоколісний диференціальний привід; диференціальний привід skid-steer; диференціальний привід з гусеницями; привід Акермана; привід з Omni-колесами; привід з колесами Ілона; для синтезу універсальної моделі керування обрано skid-steer, що представляє собою покращену версію звичайного двоколісного диференціального приводу. На цій платформі вмонтовані додаткові тягові колеса, які керуються одним і тим же двигуном через передачі і обертаються з однаковою швидкістю. Зазвичай такі платформи мають два двигуни, але іноді кожному колесу встановлюють окремий двигун.

Особливості цієї платформи є: порівняно з двоколісною платформою skid-steer, має підвищену прохідність завдяки більшій кількості керованих коліс і відсутності пасивних опірних коліс; роботи з великими колесами можуть ефективно працювати на нерівній місцевості; отримання одометрії, використовуючи дані з датчиків обертання коліс, також є досить простою задачею. Проте кожне колесо шасі skid-steer потребує власного сенсора. Точність одометрії, порівняно з двоколісною платформою, може бути трохи гіршою. Під час поворотів колеса шасі можуть ковзати. Під час руху по рівній місцевості такий момент

занесення та ковзання можна визначити та виправити програмно. Але для отримання одометрії під час руху платформи skid-steer по нерівній місцевості датчиків обертання коліс може бути недостатньо.

Платформою для універсальної аналітичної моделі керування прийнято диференціальним приводом skid-steer, який має 4 колеса та два двигуни. Тоді модель керування буде наступною:

1. На першому етапі реалізації моделі необхідно визначити бажані параметри руху платформи. Зазвичай це включає в себе дві складові швидкості руху:  $V_x$  та  $V_y$ , які визначають бажану лінійну швидкість руху платформи вздовж вісей X та Y відповідно, і кут обертання  $\theta$ , який вказує на бажаний кут обертання платформи навколо своєї власної вісі.

2. На другому етапі використовуються датчики для вимірювання поточної швидкості обертання для кожного з чотирьох коліс платформи. Ці дані служать як вихідні величини для подальших обчислень та корекцій.

3. Щоб забезпечити досягнення бажаних параметрів руху ( $V_x$ ,  $V_y$ ,  $\theta$ ), необхідно обчислити швидкості обертання для лівого і правого коліс платформи ( $\omega_{\text{left}}$  і  $\omega_{\text{right}}$ ). Це виконується на основі геометричних і кінематичних відношень, де враховуються вимірювані поточні значення швидкості обертання і бажані параметри руху. Результатом є швидкості обертання, які дозволяють платформі виконувати бажаний рух.

4. На цьому етапі обчислені значення швидкостей обертання ( $\omega_{\text{left}}$ ,  $\omega_{\text{right}}$ ) перетворюються на величини керування для двигунів, які забезпечують обертання відповідних коліс платформи. Кожен двигун контролюється таким чином, щоб забезпечити відповідну швидкість обертання коліс та здійснити рух платформи відповідно до заданих параметрів руху.

5. На кожному етапі реалізації моделі необхідно здійснювати постійний моніторинг та корекцію швидкостей обертання для кожного колеса на основі зворотного зв'язку. Датчики вимірюють реальну швидкість та положення платформи, а знання про ці параметри використовуються для корекції швидкостей обертання та досягнення бажаних параметрів руху.

6. Модель неперервно виконується, забезпечуючи стаєле керування рухом платформи та досягнення заданих параметрів руху в режимі реального часу. Періодично обчислені швидкості обертання та величини керування переоцінюються на основі нових вимірювань та поточного стану платформи, щоб забезпечити точність та стабільність руху. Також у даний етап зворотного зв'язку моделі доцільно додати порівняння ретроспективних даних про зміну параметрів руху у реальному часі залежно від умов оточуючого середовища та прогнозованих показників (цифровий двійник процесу руху).

**Висновок.** Синтезована аналітична модель керування, базована на диференціальному приводі skid-steer, який має 4 колеса та два двигуни, дозволяє керувати рухом платформи з великою точністю та стабільністю. При її реалізації важливо враховувати реальний зворотний зв'язок та використовувати його для корекції швидкостей обертання і досягнення бажаних параметрів руху. Представлена модель є основним інструментом для подальших розробок методів керування роботизованими платформами різного призначення. У подальших дослідженнях заплановане розширення цієї моделі для врахування динамічних обмежень, оптимізації параметрів руху, та вдосконалення зворотного зв'язку.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Наказ МОН від 07.09.2023 № 1104. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/nauka/Konkurs.vidbir.proektiv.nauk.robbit-molodykh.vchenykh-2023/2023/09/21/Nakaz.MON.vid-07.09.2023-1104.pdf>

2. Кухаренко Д. В., Вадурін К. О. Робот-графопобудовник медичних зображень. Виробництво & Мехатронні Системи 2021: матеріали V Міжнар. конф., м. Харків, 21–22 жовтня 2021 р. X.: ХНУРЕ, 2021. С. 113–116.

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧЕ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ІЗ РЕГУЛЬОВАНИМ  
НАВАНТАЖЕННЯМ В УМОВАХ ВІДХИЛЕННЯ ЖИВЛЯЧОЇ НАПРУГИ  
ТА КОЛИВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Вовк О. Ю., к.т.н., доц. e-mail: [oleksandr.vovk@tsatu.edu.ua](mailto:oleksandr.vovk@tsatu.edu.ua)

Квітка С. О., к.т.н., доц. e-mail: [sergii.kvitka@tsatu.edu.ua](mailto:sergii.kvitka@tsatu.edu.ua)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність досліджень.** На сьогодні для приводу різноманітних машин і механізмів найчастіше застосовуються асинхронні двигуни. Їх загальна кількість дорівнює близько 70 % від електричних машин, що застосовуються у виробничих процесах. Таке розповсюдження асинхронні двигуни отримали завдяки суттєвій конструкційній надійності і порівняно незначній вартості виготовлення і монтажу. Не зважаючи на це, щорічно на європейських підприємствах спостерігаються відмови до 4 % встановлених асинхронних двигунів. Негативними наслідками таких відмов є витрати близько 8 % грошового обігу галузей економіки на їх відновлення та витрати, пов'язані із раптовою зупинкою виробничих процесів. Одним з факторів відмов електродвигунів в експлуатації є недосконалість пристроїв керування і захисту, які поки що не забезпечують підтримання конструкційної надійності асинхронних двигунів в умовах різноманітних експлуатаційних впливів. Одними з таких впливів є відхилення живлячої напруги та коливання температури навколишнього середовища, які обумовлюють прискорення теплового зношення ізоляції електродвигуна і передчасний вихід його з ладу [1-5].

**Мета досліджень.** Отримання правила керування асинхронними двигунами з регульованим навантаженням, за якого швидкість теплового зношення їх ізоляції буде номінальною при відхиленнях живлячої напруги та коливаннях температури навколишнього середовища.

**Основні матеріали досліджень.** За допомогою триелементної теплової схеми заміщення асинхронного двигуна [6] та його Г-подібної схеми заміщення встановлено залежність усталеного перевищення температури обмотки статора від втрат активної потужності у його елементах та коефіцієнта відхилення живлячої напруги в умовах невизначеності теплових провідностей електродвигуна:

$$\tau_{1y} = \left( \tau_{1k} \cdot \frac{\left( \left( r_1' + \frac{r_2''}{s_n} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2 \right)}{\left( \left( r_1' + \frac{r_2''}{s} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2 \right)} - 1 \right) + \tau_{1n} \right) \cdot k_u^2, \quad (1)$$

де  $\tau_{1y}$ ,  $\tau_{1n}$ ,  $\tau_{1k}$  – усталене перевищення температури обмотки статора відповідно поточне та в досліді номінального навантаження і короткого замикання, °C;  $r_1'$ ,  $x_1'$ ,  $r_2''$ ,  $x_2''$ ,  $r_1$ ,  $x_1$ ,  $r_0$ ,  $x_0$  – параметри схеми заміщення, Ом;  $s$ ,  $s_n$  – ковзання електродвигуна відповідно поточне і номінальне;  $k_u$  – коефіцієнт відхилення живлячої напруги (відношення поточної напруги до номінальної).

Із застосуванням отриманої залежності; залежності ковзання від коефіцієнта відхилення напруги, коефіцієнта завантаження і виду механічної характеристики робочої машини [7]; залежності швидкості теплового зношення ізоляції від усталеного перевищення температури і температури навколишнього середовища [8] було розраховано значення швидкості теплового зношення ізоляції асинхронних двигунів основного виконання. При цьому змінювались значення завантаження електродвигуна (від 0 до 1), коефіцієнт відхилення напруги (мав такі значення: 1,0; 0,95; 0,9; 0,85), температура навколишнього середовища (мала такі значення: 10°C; 25°C; 40°C) і коефіцієнт, що враховує вид механічної характеристики робочої машини (мав такі значення: 0; 1; 2; -1). Результати розрахунків

виявили наступне. За будь-якого значення коефіцієнта, що враховує вид механічної характеристики робочої машини, на кожні 5% зниження живлячої напруги асинхронного двигуна щодо номінального значення за незмінної температури навколишнього середовища для збереження номінальної швидкості теплового зношення ізоляції електродвигуна необхідно у робочому діапазоні знижувати його навантаження на 10%, тобто

$$k_3 = \sqrt{k_u}, \quad (2)$$

де  $k_3$  – коефіцієнт завантаження електродвигуна.

Крім того, за будь-якого значення коефіцієнта, що враховує вид механічної характеристики робочої машини, на кожні 25% збільшення температури навколишнього середовища щодо номінального значення за незмінної живлячої напруги для збереження номінальної швидкості теплового зношення ізоляції електродвигуна необхідно у робочому діапазоні знижувати його навантаження на 5 %, тобто

$$k_3 = \sqrt[4]{k_v}, \quad (3)$$

де  $k_v$  – коефіцієнт коливання температури навколишнього середовища (відношення поточної температури до номінальної).

**Висновки.** У роботі отримано правила регулювання навантаження асинхронного двигуна для збереження номінальної швидкості теплового зношення його ізоляції при відхиленні живлячої напруги та коливанні температури навколишнього середовища: у робочому діапазоні навантажень на кожні 5% зниження живлячої напруги щодо номінального значення необхідно знижувати його навантаження на 10% і на кожні 25% збільшення температури навколишнього середовища щодо номінального значення необхідно знижувати його навантаження на 5%.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Oshurbekov, S.; Kazakbaev, V.; Prakht, V.; Dmitrievskii, V.; Gevorkov, L. Energy Consumption Comparison of a Single Variable-Speed Pump and a System of Two Pumps: Variable-Speed and Fixed-Speed. Appl. Sci. 2020, 10, P.8820. <https://doi.org/10.3390/app10248820>
2. Terron-Santiago, C.; Martinez-Roman, J.; Puche-Panadero, R.; Sapena-Bano, A. A. Review of Techniques Used for Induction Machine Fault Modelling. Sensors. 2021, 21, 4855. <https://doi.org/10.3390/s21144855>
3. Boyko, A.; Volianskaya, Ya. Synthesis of the System for Minimizing Losses in Asynchronous Motor with a Function for Current Symmetrization. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017, 4/5 (88), P.50-58. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108545>
4. Sudhakar, I.; Adi Narayana, S.; Anil Prakash M. Condition Monitoring of a 3-Ø Induction Motor by Vibration Spectrum analysis using Fft Analyser- A Case Study. Materials Today: Proceedings. 2017, 4(2/A), P.1099-1105. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.01.125>
5. Вовк О. Ю., Квітка С. О. Періодичний контроль функціонального стану асинхронних електродвигунів за енергетичними показниками // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ ім. Д. Моторного, 2020. – Вип. 20, т. 4. С. 115-125.
6. Вовк О. Ю. Експлуатаційна теплова модель асинхронного електродвигуна. Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем: матеріали IV Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції пам'яті В. В. Овчарова (Мелітополь, 04 – 18 листопада 2021 р) / ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 47-49.
7. Вовк О. Ю., Квітка С. О. Енергозберігаюче керування асинхронними електродвигунами прикладеною напругою // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного : електронне наукове фахове видання / ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 10, том 2. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2020-2-27>
8. Вовк О. Ю. Керування асинхронним електродвигуном за мінімумом витрати ресурсу ізоляції. Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем: матеріали I Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції пам'яті В. В. Овчарова (Мелітополь, 20 травня – 04 червня 2020 р), Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С.49-50.



## МОДЕЛЮВАННЯ ТЯГОВОГО ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ В ANSYS RMXprt

Герасименко В. А., к.т.н., e-mail: [vitaliy.gerasimenko@kname.edu.ua](mailto:vitaliy.gerasimenko@kname.edu.ua)Шпіка М. І., к.т.н., e-mail: [mykola.shpika@kname.edu.ua](mailto:mykola.shpika@kname.edu.ua)

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

**Актуальність досліджень.** Тягові електродвигуни постійного струму мають широке застосування у всіх галузях міського господарства. Їх почали застосовувати у промисловості близько сотні років тому, з появою перших методик розрахунку. При моделюванні електродвигуна постійного струму важливо розглядати його комплексно разом із системою електроприводу. Застосування Ansys Maxwell дозволяє швидко та автоматично побудувати типову геометрію машини, використовуючи RMXprt. При вирішенні типових конструкцій можливе використання 3D моделювання з покроковими елементами. Аналіз отриманих графічних залежностей електроенергетичних параметрів дозволяє судити про ефективність роботи електродвигуна та його експлуатаційні властивості в режимах холостого ходу та під навантаженням. Результати проведеного моделювання показують відмінну збіжність із даними, отриманими експериментально.

Актуальність роботи полягає в дослідженні та обґрунтуванні застосування коректнішого підходу до моделювання двигуна постійного струму послідовного збудження при використанні програмного комплексу Ansys, зокрема поєднанню Ansys RMXprt/Maxwell/Simplorer.

**Метою** даної роботи є удосконалення підходу до моделювання тягового двигуна постійного струму.

**Основні матеріали досліджень.** Моделювання двигуна постійного струму описане в багатьох джерелах і не представляє певних труднощів. Однак електрична машина не може існувати окремо від виконавчих механізмів, тому доцільно розглядати її моделювання як комплексне завдання електромеханіки – моделювання разом із системою електроприводу. Незважаючи на те, що імітаційні моделі не представляють наукової новизни та реалізовані як у прикладних програмах, так і у вигляді блоків різного ступеня складності в програмах SciLab, Matlab / Simulink обчислення, проте, вони виконуються за математичними моделями, що мають деякий ступінь спрощення.

Відомі роботи щодо отримання параметрів і характеристик електричних машин у загальному різноманітті та постійного струму, зокрема дозволяють уникнути спрощень, що присутні у математичних моделях, заснованих на рівняннях і працювати безпосередньо з компонентами електромагнітного поля. У 2D постановці розподіл електромагнітного поля з векторами магнітної індукції, векторного магнітного потенціалу та магнітної напруженості дають повне уявлення про стан електричної машини. Між тим, якість моделей та їх адекватність найчастіше визначаються кваліфікацією дослідника, а вилучення параметрів машини з компонентів електромагнітного поля стає завданням, здатним привнести ще більше помилок і некоректних результатів.

Інший підхід до моделювання пропонує програмний комплекс Ansys, в якому можна формувати розрахункові моделі машин на перевірених блоках з гарантованою розробниками якістю.

Покращити підхід до моделювання тягового двигуна постійного струму можна за допомогою взаємодії Ansys RMXprt/Maxwell/Simplorer.

Спочатку в Ansys RMXprt на основі шаблону формується скрипт параметрів двигуна, а далі автоматично генерується 2D або 3D модель у просторі Ansys Maxwell.

Завдяки автоматичній конфігурації вирішувача електромагнітного поля задаються матеріали об'єкта моделювання, граничні та крайові умови, формується система збудження, накладається адаптивна сітка для методу кінцевих елементів, створюються шаблони готових

звітів. Крім того, є можливість отримати ще більше параметрів машини, крім генерованих автоматично, використовуючи калькулятор поля.

Наступним етапом є експорт об'єкта Maxwell з повною картиною електромагнітного поля для подальшого моделювання динамічних режимів у Ansys Simplorer.

Після завдання вихідних даних програмою автоматично збудовано ескіз двигуна (рис. 1).

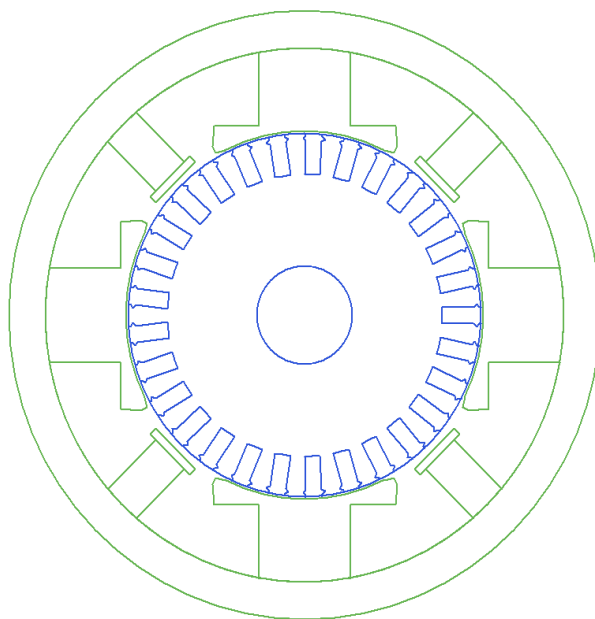


Рисунок 1 – Ескіз поперечного перерізу двигуна в RMxprt

Проектування та моделювання характеристик електричної машини, на прикладі тягового двигуна постійного струму, полягає у коректному заповненні категорій шаблону, що надається Ansys RMxprt. У роботі розглядається, як правильно задавати параметри машини, формувати криві намагнічування сталі, визначати електромагнітні навантаження, враховувати особливості відповідності реальної машини та її віртуального прототипу.

У разі успішного виконання вимог проекту до заданих параметрів і обмежень, що накладаються, виконується розрахунок параметрів машини, результати якого показують відмінну збіжність з даними, отриманими експериментально.

**Висновки.** Аналіз отриманих графічних залежностей електроенергетичних параметрів дозволяє судити про ефективність роботи двигуна та його експлуатаційні властивості в режимах холостого ходу та під навантаженням.

Подальші дослідження авторів будуть спрямовані на моделювання електромагнітних перехідних процесів тягового двигуна в Ansys Maxwell 2D/3D, а також в Ansys TwinBuilder (Simplorer).

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Kutarev A. M. Designing DC motors of parallel excitation: textbook / A. M. Kutarev – Orenburg: GOU OGU, 2006. 159 p.
2. Bambang K., Soebagio M., Hery P. Design and Development of Small Electric Vehicle Using MATLAB/SIMULINK. Institute of Technology, Indonesia; 2011.
3. Shavelkin A. A. Modeling of a traction electric drive with series DC motors / A. A. Shavelkin, I. A. Kostenko, V. A. Herasymenko, A. N. Movchan // Scientific and European Journal of Advanced Technologies. 2016. VIP. 1(2). pp. 42–48.
4. Bitar Z., Khamis I., Jabi S. Modelling and Simulation of Series DC Motors in Electric Car. Energy Procedia, science direct, 2014.
5. Morozov E., Kaplun A., Shamraeva M. ANSYS in the hands of an engineer. Practical guide. Lenand Publishing House, 2016, 272 p.

РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ  
ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА АНАЛІЗУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ НА ОСНОВІ СТАНЦІЙ VAISALA

Завалєєв А. І., магістр, e-mail: [arsentii2278@gmail.com](mailto:arsentii2278@gmail.com)

Вадурін К. О., аспірант, e-mail: [kir3337@gmail.com](mailto:kir3337@gmail.com)

Пере́крест А. Л., д.т.н., проф., e-mail: [pksg13@gmail.com](mailto:pksg13@gmail.com)

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Актуальність дослідження.** Розробка та впровадження автоматизованої системи для моніторингу та аналізу якості повітря на основі станцій Vaisala [1] вкрай актуальна в сучасному світі, де збільшується увага до екологічних проблем та впливу якості повітря на здоров'я населення. Ця інноваційна система вирішує низку ключових завдань, починаючи з легкого доступу до даних про якість повітря, зібраних за допомогою станцій Vaisala.

У контексті Європейського Союзу (ЄС), де стандарти щодо якості повітря [2] дуже високі, ця система має особливий важливий внесок. ЄС регулярно встановлює обмеження щодо концентрації забруднюючих речовин у повітрі, які є обов'язковими для дотримання всіма країнами-членами. Така система дозволяє Україні [3] та іншим країнам, що прагнуть вступити до ЄС, відповідати цим стандартам і вживати необхідні заходи для зменшення забруднення повітря [4], захищаючи здоров'я своїх громадян.

Україна, як і багато інших країн, стикається з проблемами забруднення повітря в міських районах та промислових областях. Розробка та впровадження цієї системи допоможе вдосконалити моніторинг якості повітря в Україні, надаючи дійсно цінні дані для органів влади та дослідницьких організацій. Це також покликано зробити важливий внесок у збереження навколишнього середовища [5] та забезпечення здоров'я громадян [6, 7].

**Мета досліджень.** Надати доступ до точних та вчасних даних про якість повітря, забезпечити їх обробку та візуалізацію для широкого кола користувачів, а також сприяти удосконаленню моніторингу та реагуванню на забруднення повітря. Це важливий крок у напрямку збереження навколишнього середовища та забезпечення здоров'я людей, а також співвідношення з міжнародними стандартами та ініціативами для збереження якості повітря та кліматичної сталості.

**Основні матеріали досліджень.** На ринку існують численні сервіси, що надають інформацію про якість повітря. Деякі з них, такі як Aqicn, Denmark Air Pollution, BreezoMeter, і AirNow.gov, пропонують актуальні дані про забруднення повітря та реальний індекс якості повітря. AccuWeather надає інформацію для різних міст, включаючи Вашингтон, DC. Існують також ресурси, як Clean Air Partners, що аналізують історичні дані, і North West Clean Air, що спрямовані на поліпшення якості повітря. Спеціалізовані служби, такі як Tokyo Air Information в Японії та Berliner Luftgüte Messnetz (BLUME) у Берліні, надають інформацію та індекси для конкретних регіонів. Всі ці ресурси допомагають користувачам моніторити та покращувати якість навколишнього середовища.

Розроблена інформаційно-аналітична система, що ґрунтується на станціях Vaisala для моніторингу якості повітря, використовує 15 різних видів даних для надання користувачам всебічної інформації про стан забруднення повітря. Короткий огляд даних, які включають в собі станції моніторингу: швидкість вітру, максимальну швидкість вітру, інтенсивність опадів, напрям вітру, акумуляцію опадів, концентрацію твердих частинок PM1, PM2.5 і PM10, температуру повітря, відносну вологість, концентрацію діоксиду сірки (SO<sub>2</sub>), сірководню (H<sub>2</sub>S), атмосферний тиск, діоксид азоту (NO<sub>2</sub>) та карбоноксид (CO).

Ці дані використовуються для створення повної та об'єктивної карти стану забруднення повітря, що допомагає приймати дієві рішення для збереження навколишнього середовища та забезпечення здоров'я громадян.

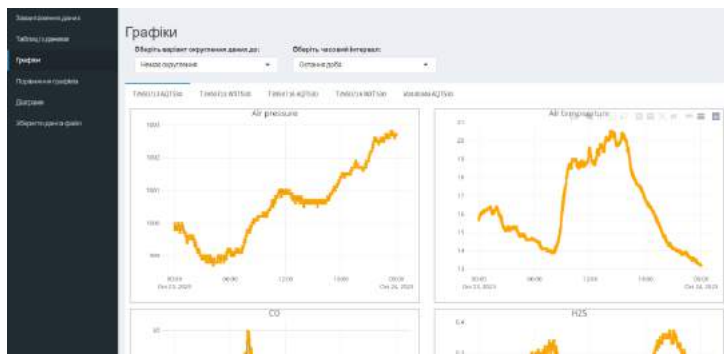


Рисунок 1 – Вигляд застосунку, сторінка відображення графіків

Розробку інформаційно-аналітичної системи для моніторингу та аналізу якості повітря побудовано на мові програмування R [8] з використанням Shiny [9] для створення інтерактивних веб-додатків. Цей додаток дозволяє користувачам легко отримувати доступ до даних, обробляти їх та візуалізувати у формі графіків, як зображено на рисунку 1, діаграм, роблячи інформацію про якість повітря доступною та зрозумілою для всіх.

**Висновок.** За кордоном існує багато аналогів, що інформують про якість повітря, але деякі обмежені географічно або надають мало інформації. В українському сегменті взагалі існує обмежена кількість аналогів. Тому розробка та впровадження української інформаційно-аналітичної системи є актуальною для моніторингу якості повітря на основі станцій Vaisala та створення веб-сайту з використанням мови програмування R і інструмента Shiny, який надає ефективний інструмент, що оптимізує процес збору, обробки та аналізу даних. Система надає користувачам зручний доступ до різноманітних даних про якість повітря, що використовуються для прийняття рішень з поліпшення екології та охорони здоров'я громадян. Також планується розробити додаткові діаграми для аналізу за стандартами, створити методи для більш швидкого та зручного короткого та зрозумілого інформування про зміни. Додаток сприяє покращенню доступності та використання даних для збереження навколишнього середовища та допомагає забезпечити здоров'я населення.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. «VAISALA» – офіційний сайт Vaisala . URL: <https://www.vaisala.com/en>
2. «ДИРЕКТИВА 2008/50/ЄС ЄВРОПЕЙСЬКОГО ПАРЛАМЕНТУ ТА РАДИ» – директива про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_950#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_950#Text)
3. «ЄС підтримує співпрацю громадського моніторингу з державним» – сайт неурядової організації, яка реалізує програму «Чисте повітря для України». URL: <https://cleanair.org.ua/7375/war-air-round-table/>
4. «Що дає нам асоціація з ЄС» – якість атмосферного повітря. URL: <https://www.rac.org.ua/uploads/content/544/files/web04air210x210ua2019.pdf>
5. «Вбивча природа: як забруднення навколишнього середовища впливає на здоров'я» – сайт Уніан інформаційне агенство. URL: <https://www.unian.ua/ecology/1272491-ekologichne-liho-vinishchennya-lisiv-v-ukrajini.html>
6. «Забруднення атмосферного повітря» – забруднення в різних містах України. URL: <https://sd4ua.org/golovni-temi-stalogo-rozvitku/zabrudnennya-atmosfernogo-povitrya/>
7. «Як забруднене повітря впливає на здоров'я людини?» – сайт Херсонської обласної державної адміністрації. URL: <https://khoda.gov.ua/jak-zabrudnene-pov%D1%96trja-vpliva%D1%94-na-zdorov%E2%80%99ja-ljudini>
8. «R» – вікіпедія . URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/R\\_\(%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8](https://uk.wikipedia.org/wiki/R_(%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8)
9. «Shiny» – вікіпедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Shiny>

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПУСКУ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ  
ЗА УМОВ ОБМЕЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ЗРОСТАННЯ ПРИКЛАДЕНОЇ НАПРУГИ

Квітка С. О., к.т.н., доц., e-mail: [sergii.kvitka@tsatu.edu.ua](mailto:sergii.kvitka@tsatu.edu.ua)

Вовк О. Ю., к.т.н., доц., e-mail: [oleksandr.vovk@tsatu.edu.ua](mailto:oleksandr.vovk@tsatu.edu.ua)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність дослідження.** Електропривод з асинхронними двигунами (АД) знайшов велике поширення в агропромисловому виробництві. Проте він характеризується малою керованістю і низькими динамічними властивостями [1, 2]. Для електроприводів робочих машин з важкими умовами пуску керування перехідними процесами двигунів набуває особливого значення. Суттєвий вплив електромагнітних перехідних моментів на динамічні властивості асинхронних електроприводів визначає необхідність не тільки врахування їх дії при аналізі перехідних процесів, а й керування ними з метою формування необхідних динамічних характеристик [1, 2].

**Мета досліджень.** Моделювання процесу пуску АД при обмеженні швидкості зростання прикладеної напруги з метою покращення динамічних показників процесу пуску асинхронних електроприводів.

**Основні матеріали досліджень.** Одним із можливих способів керування електромагнітними перехідними процесами під час пуску є обмеження швидкості зростання прикладеної напруги. Обмеження швидкості зростання прикладеної напруги призводить до зменшення перехідної складової струму намагнічування, що, в свою чергу, може призвести до зменшення середнього пускового моменту АД. Тому межі змінення швидкості зростання прикладеної напруги повинні бути обмежені таким чином, щоб зниження знакозмінних перехідних моментів не призводило до зниження швидкодії приводу.

Швидкість зростання прикладеної до електродвигуна напруги може залишатися постійною або змінюватися за будь-яким законом. Практично найбільш просто реалізується експоненціальний закон змінювання керованої величини. При цьому, оптимальне значення швидкості змінювання прикладеної напруги повинно знаходитися в таких межах, щоб досягалася значне зменшення періодичних складових без суттєвого зменшення значення пускового моменту.

Найбільш зручне керування швидкістю зростання прикладеної напруги здійснюється за допомогою тиристорних комутаторів з керованим кутом  $\alpha_T$  вмикання тиристорів. В таких комутаторах реалізується експоненціальний закон зміни кута  $\alpha_T$ :

$$\alpha_T = \alpha_T(0)e^{-t/T_a}. \quad (1)$$

Змінюючи постійну часу  $T_a$  і початкове значення кута вмикання тиристорів  $\alpha_T$ , можна отримати велике різноманіття пускових динамічних характеристик.

Найбільш простіша форма реалізації фазового керування можлива при використанні тиристорних комутаторів, які використовуються як тиристорні пускачі. Схемна реалізація блоків тиристорного комутатора може бути виконана на базі пристроїв плавного пуску з блоком формування сигналу керування (розрахунку швидкості змінювання кута вмикання тиристорів  $\alpha_T$ ) на базі стандартних напівпровідникових приладів [3].

З урахуванням наведених теоретичних положень розроблено структурну схему (рис. 1) моделювання процесу пуску асинхронних двигунів при обмеженні швидкості зростання прикладеної напруги з використанням програмного комплексу MATLAB/Simulink. При цьому, блок живлення приводного електродвигуна з реалізацією функції обмеження швидкості зростання напруги живлення функціонально складається з двох блоків: блоку керування, в якому формується сигнал керування і блоку керованого джерела живлення. Результати моделювання процесу пуску АД типу АИР160S4 при керуванні з обмеженням швидкості зростання прикладеної напруги наведені на рис. 2.

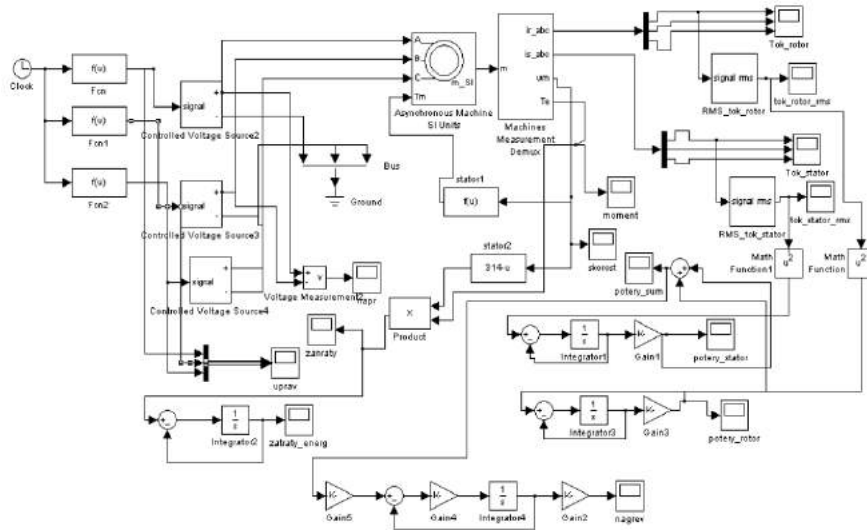


Рисунок 1 – Структурна схема моделювання процесу пуску АД при обмеженні швидкості зростання прикладеної напруги

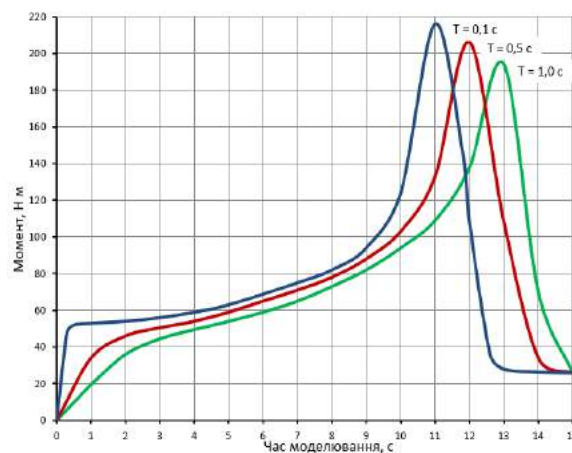


Рисунок 2 – Залежності електромагнітного моменту при пуску АД від часу моделювання

**Висновок.** Значне усунення знакозмінних перехідних моментів з великою амплітудою при пуску АД досягається при обмеженні швидкості зростання прикладеної напруги з постійною часу  $T_\alpha$ , яка змінюється в діапазоні  $0,1\text{с} < T_\alpha < 0,5\text{с}$ ; подальше збільшення  $T_\alpha$  призводить до незначних змін моментів в початковий період пуску і до суттєвого збільшення часу розгону системи ЕД-РМ.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. 288 с.
2. Квітка С. О. Поліпшування енергетичних і динамічних показників електроприводів сільськогосподарських машин з важкими умовами пуску // Проблеми та перспективи сталого розвитку АПК: зб. матер. міжнар. наук.-практ. конф., м. Мелітополь, 7-14 квітня 2015 року. Мелітополь: ТДАТУ, 2015. Т.4. Технічні науки (ч.1). С. 3-5.
3. Квітка С. О. Силові електронні пристрої в системах керування: навчальний посібник для здобувачів вищої освіти. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2021. 180 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТАХОГРАМ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЛЕТЮЧИХ НОЖИЦЬ  
ЗА КРИТЕРІЄМ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Колесников Д. Т., магістрант, e-mail: [Dmytro.Kolesnykov@ieee.khpi.edu.ua](mailto:Dmytro.Kolesnykov@ieee.khpi.edu.ua)

Тукалов І. О., доц., e-mail: [Ihor.Tukalov@ieee.khpi.edu.ua](mailto:Ihor.Tukalov@ieee.khpi.edu.ua)

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Актуальність теми** зумовлена гостротою проблеми ресурсозбереження в промисловості України [1] і сучасним станом наявних систем керування летючих ножиць. Більшість цих систем розроблялася в 70-80-х роках попереднього століття і відповідала можливостям систем керування того часу, зокрема, вони не реалізують повною мірою можливості ресурсозбереження. Нині економічна ситуація вимагає, зазвичай, не підвищення продуктивності, а зниження витрат на виробництво продукції. Летючі ножиці безперервно-заготівельних станів - це потужні високодинамічні механізми, тому завдання вибору електроприводу і законів регулювання з умови мінімізації енерговитрат є досить важливим.

**Основні матеріали досліджень.** У прокатних цехах металургійних заводів широко застосовуються летючі ножиці різних типів, призначені для розрізання прокату, який рухається. Такі ножиці оснащені автоматизованим електроприводом і системою автоматичного керування мірним різом заготовки. Ножиці для розрізання великих перерізів виконують зазвичай безредукторними, з кривошипно-шатунним механізмом, що виконує різ під час кожного обороту ножів. Розрізання прокату на задані мірні довжини здійснюється зниженням швидкості ножів  $\omega$  щодо швидкості прокату  $\omega_c$ . Вибір закону зміни швидкості на ділянці роботи на зниженій швидкості проводиться з двох основних міркувань: ступеня завантаження двигуна за теплом і ступеня складності системи управління, що реалізує закон руху механізму. На рис. 1 представлено три основні графіки зміни швидкості.

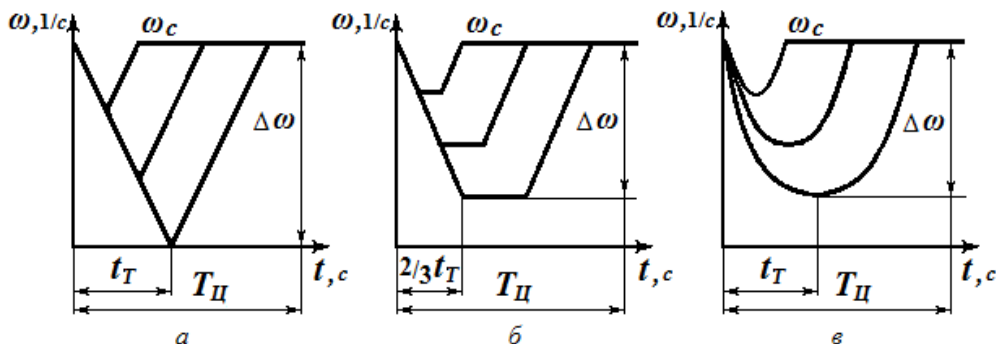


Рисунок 1 – Закони зміни швидкості електроприводу летючих ножиць:  
а – трикутний; б – трапецеїдальний; в – параболічний

Найбільш економічними з погляду енергетичних витрат є параболічні закони зміни швидкості, рис. 1в, однак, їхня реалізація значно складніша. Для їх розрахунку використовують ізопериметричні варіаційні закони Лагранжа та Ейлера [2].

Проведемо порівняльний аналіз законів зміни швидкості. Як базові візьмемо величини, що належать до граничного трикутного графіка рис. 1а.

Умовою рівності довжин, що відрізаються, є рівність площ розглянутих діаграм зміни швидкості  $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$ , які визначаються за формулами [3]

$$S_a = \frac{\omega_c^2}{\varepsilon_a} = S_b = \frac{9 \omega_c^2}{8 \varepsilon_b} = S_c = 2 \int_0^{t_T} \left( \varepsilon_{\varepsilon_{\max}} t - \frac{\varepsilon_{\varepsilon_{\max}}}{2t_T} t^2 \right) dt = \frac{2\varepsilon_{\varepsilon_{\max}} t_T^2}{3}, \quad (1)$$

де  $\varepsilon_a$ ,  $\varepsilon_b$ ,  $\varepsilon_{\varepsilon_{\max}}$  - відповідні кутові прискорення, м/с<sup>2</sup>;  $t_T$  - час гальмування, с.

Порівняємо нагрівання двигуна для всіх законів, виходячи з еквівалентного моменту  $M_{екв}$  за весь період циклу  $T_{ц}$

$$M_{екв а} = \sqrt{\frac{M_{дин}^2 \cdot 2t_T + M_p^2 t_p}{T_{ц}}} = \sqrt{\frac{2J^2 \varepsilon_a^2 t_T + M_p^2 t_p}{T_{ц}}}; \quad (2)$$

$$M_{екв б} = \sqrt{\frac{M_{дин}^2 \cdot 4/3 \cdot t_T + M_p^2 t_p}{T_{ц}}} = \sqrt{\frac{4/3 \cdot J^2 \varepsilon_6^2 t_T + M_p^2 t_p}{T_{ц}}}; \quad (3)$$

$$M_{екв в} = \sqrt{\frac{\int_0^{2t} M_{дин}^2 dt + M_p^2 t_p}{T_{ц}}} = \sqrt{\frac{2J^2 \varepsilon_{6 \max}^2 t_T / 3 + M_p^2 t_p}{T_{ц}}}, \quad (4)$$

де  $M_{дин}$  – динамічний момент на ділянці регулювання швидкості, Нм;  $M_p, t_p$  – момент і час різку відповідно, Нм, с;  $T_{ц}$  – час циклу, с,  $J$  – момент інерції, кгм<sup>2</sup>.

Оцінимо економію енергії під час реалізації всіх тахограм руху летючих ножиць, без урахування моменту різку. Втрати в якірному ланцюзі визначаються інтегралом

$$Q = \int_0^{T_{ц}} i^2 R_E dt = \frac{R_E J^2}{2(k\Phi)^2} \int_0^{t_T} \varepsilon^2(t) dt, \quad (5)$$

де  $R_E$  – еквівалентний опір якірного ланцюга, Ом;  $k\Phi$  – постійна машини, Вс.

З урахуванням знайдених для усіх трьох тахограм значень прискорень співвідношення витрат, розрахованих за рівнянням (5), становитиме

$$\Delta_1 = Q_6 / Q_a = 0,75; \quad \Delta_2 = Q_6 / Q_a = 0,844; \quad \Delta_3 = Q_6 / Q_6 = 0,88. \quad (6)$$

**Висновок.** Таким чином, економія енергії лежить у межах від 12 до 25 %, а найпростіший трикутний графік не є ефективним. Проведені дослідження електропривода ножиць кривошипно-шатунного типу стану 950/850/750 з двоякірним двигуном 2П2 - 23/66 - 2,75 ( $P_n=2 \times 1750$  кВт;  $U_n=730$  В;  $I_n=2590$  А;  $M_n=670$  кНм;  $n_n=50$  об/хв;  $R_E=0,02068$  Ом) підтвердили теоретичні розрахунки. Слід зазначити, що реальна економія навіть дещо перевищує теоретичну, оскільки графіки не є ідеальними. Сучасний розвиток засобів керування дає змогу однозначно рекомендувати перехід до реалізації оптимальних параболічних тахограм.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Жовтянський В. А. Енергозбереження: роль і місце в енергетичній стратегії України // Проблеми загальної енергетики. 2011. №5. С.22-24.
2. Герасим'як Р. П. Оптиміальні системи автоматичного управління електроприводів. Одеса, ОДПУ, 1998. 76 с.
3. Тукалов І. О. Порівняльний аналіз енергетичних витрат за різних законів зміни швидкості приводу летючих ножиць / Тукалов І. О., Асмолова Л. В. // Вісник НТУ "ХПІ". Збірка наукових праць. Тематичний випуск 10. – Харків, НТУ ХПІ, 2001. С.360-362.



РОЗРАХУНКОВА ОЦІНКА НАГРІВУ ЕЛЕМЕНТІВ РОТОРА СИНХРОННОГО  
ГЕНЕРАТОРА ЗА РІЗНИХ УМОВ ОХОЛОДЖЕННЯ

Кучинський К. А., д.т.н., ст.наук.співроб., e-mail: [kuchynskyy1962@gmail.com](mailto:kuchynskyy1962@gmail.com)  
Інститут електродинаміки НАН України

Загальна світова стратегія в галузі електромашинобудування – повністю відмовитися від виготовлення турбогенераторів (ТГ) з водневим охолодженням. Актуальність досліджень визначається необхідністю заміни вибухо- і пожежонебезпечних генераторів з водневим охолодженням на безводневі машини для досягнення високої безпеки експлуатації.

Значні успіхи в створенні таких ТГ досягнуті закордонними фірмами АВВ, Siemens/KWU, AEG-Kanis, General Electric-Alstom. Проте достовірна інформація щодо їх працездатності при стабільній активній потужності відсутня. Детальна інформація про результати випробувань в робочих режимах недоступна, тому важко оцінювати реальну ефективність машин в цілому. Розроблена в ДП «Електроважмаш» (м. Харків) понад 20 років тому серія ТГ з повним повітряним охолодженням залишається у вигляді проектів і робочих креслень, за винятком одного ТГ потужністю 120 МВт, встановленого на Миронівській ТЕС, який ніколи не працював на повну потужність. Також, вадою є більша довжина таких машин в порівнянні з аналогами із водневим охолодженням, що не дозволяє встановлювати їх на існуючі фундаменти при заміні старих генераторів. Перспективними є конструкції з повітряним охолодженням масивних вузлів та водяним охолодженням обмоток.

**Метою досліджень** був аналіз рівнів нагріву основних елементів роторів ТГ при номінальному режимі навантаження і різних варіантах охолодження машини.

Математична модель і методика досліджень базуються на основі чисельного рішення задачі методом скінченних елементів у двовимірній постановці [1] і зводиться до знаходження температурного поля у вузлах сітки шляхом мінімізації енергетичного функціонала

$$\left\{ \frac{\partial \chi}{\partial T_n} \right\} = \sum_e \left\{ \frac{\partial \chi}{\partial T_n} \right\}^e = [H]\{T\} - \{R\} = 0, \quad (1)$$

де  $[H]$  – глобальна матриця теплопровідності;  $\{T\}$  – вектор невідомих температур;  $\{R\}$  – вектор теплових джерел у даній області [1].

У роботі [1] проаналізовано температурні поля в роторі генератора потужністю 250 МВт при заповненні корпусу воднем і повітрям. Оскільки зниження коефіцієнтів тепловіддачі при повітряному охолодженні більш ніж в 5 разів у порівнянні з водневим призводить до збільшення максимальних нагрівів активних і конструкційних елементів ротора приблизно не більше ніж на 50 % [1] (якщо температуру гарячого газу на виході з обмотки ротора (ОР) прийняти такою ж, як й при водневому охолодженні за даними заводу-виробника – 81 °С), параметрами сильної дії на тепловий стан об'єкта визнано величини температур гарячого газу в різних вузлах ротора. Максимальна ж температура гарячого повітря на виході з каналів ОР в номінальному режимі навантаження склала 202 °С. При цьому нагріві всіх основних вузлів ротора перевищили допустимі значення.

Далі було проведено оцінку величин нагрівань елементів ротора при заповненні корпусу машини повітрям та застосуванні так званої «діагональної схеми охолодження ОР».

Безпосереднє охолодження ОР в пазовій частині здійснюється за схемою самовентиляції з багаторазовим забором газу із зазору машини. Для зниження підігріву охолоджуючого повітря та, відповідно, нагрівань ОР до прийнятних величин були проведені розрахунки при підрозділі схеми охолодження на 6 та 7 зон впуску-випуску газу. У першому випадку максимальна температура гарячого повітря на виході дорівнює 93,4 °С, температура обмотки – 146,1 °С; для другого варіанту температура повітря на виході – 85,6 °С, температура обмотки – 138,3 °С, що нижче за допустиме значення для класу ізоляції «F» (155 °С).

ТГ потужністю 500 МВт (типу ТГВ-500) виконані з радіальною нагнітальною системою охолодження статора. Охолоджуючий ОР дистиллят підводиться і відводиться через U-подібні трубки-компенсатори та ізоляційні втулки.

Максимальне перевищення температури гарячого дистилляту на виході з провідників обмотки збудження при номінальному навантаженні дорівнює  $40,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що при температурі холодної води в  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  на вході відповідає максимальній температурі гарячого дистилляту  $80,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Можливість варіанта безпосереднього повітряного охолодження провідників ОР (заміни дистилляту на повітря) при розрахункових дослідженнях ротора ТГ не розглядалася.

При теплових випробуваннях генератора у режимах недозбудження максимальне перевищення температури гарячого газу над холодним у відсіках генератора при зниженому надмірному тиску водню  $0,25\text{ МПа}$  становило  $22,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що відповідає максимальній температурі  $62,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Середня температура водню в зазорі дорівнює  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При заповненні корпусу повітрям температура газу підвищується за довжиною і досягає у середині  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

На рис. 1 відображено результати чисельних досліджень розподілу температурного поля в елементах ротора при традиційній системі охолодження генератора у номінальному режимі (1 – вздовж вісі великого зубця; 2 – вздовж вісі малого зубця; 3 – вздовж вісі паза ротора).

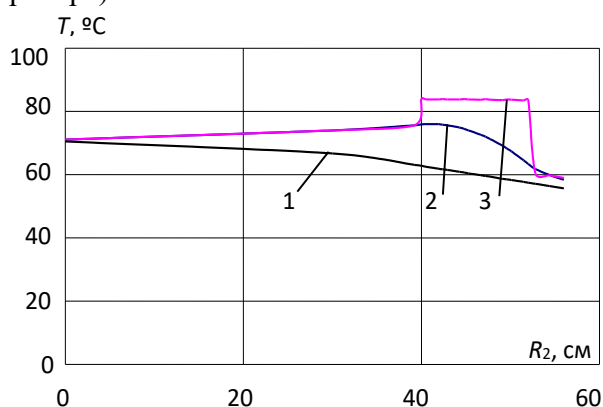


Рисунок 1 – Нагрів ротора при номінальних умовах охолодження (обмотки – дистиллятом; корпус заповнений воднем)

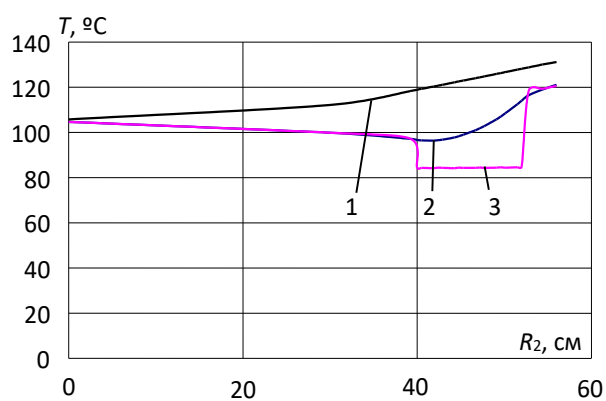


Рисунок 2 – Нагрів елементів ротора ТГ при охолодженні обмоток статора і ротора дистиллятом і заповненні корпусу повітрям

На рис. 2 представлені результати розрахунку нагрівів вузлів ротора генератора в номінальному режимі при заповненні корпусу машини повітрям. Спостерігаються підвищені нагрів області яра ротора, поверхонь малого і особливо великого зубців, а також клина внаслідок зниженого коефіцієнта тепловіддачі з поверхні бочки, великих значень втрат на тертя і температури охолоджуючого агента в зазорі генератора. При цьому нагрів міді ОР збільшується вкрай незначно через великий коефіцієнт тепловіддачі з поверхні провідників до води при незмінних теплових втратах в котушках. Відмова від водню як вибухонебезпечного холодоагенту підвищує безпеку експлуатації і надійність генератора, дає переваги у вигляді відсутності ущільнень вала і допоміжних масляно-водневих систем, що призводить до спрощення конструкції і обслуговування машини.

**Висновки.** 1. Теоретично встановлено, що застосування багатоструйної схеми безпосереднього повітряного охолодження ОР (на прикладі генератора потужністю 250 МВт) може сприяти зниженню нагрівів обмотки збудження до допустимих значень для класу ізоляції «F». 2. Можлива тривала робота генератора потужністю 500 МВт при заміні водню в корпусі машини на повітря та охолодженні при цьому обмоток статора і ротора дистиллятом.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кучинский К. А., Федоренко Г. М. Компьютерное моделирование и вариантный анализ тепловых процессов в роторе турбогенератора типа ТГВ-250. *Праці Ін-ту електродинаміки НАН України*. Київ, 2013. Вип. 36. С. 51–60.

## АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ РОЗУМНИМ МАНІПУЛЯТОРОМ

Мардеєва Д. Р., студентка, e-mail: [natalya.mardeeva@gmail.com](mailto:natalya.mardeeva@gmail.com)Вадурін К. О., аспірант, e-mail: [kir3337@gmail.com](mailto:kir3337@gmail.com)Саньков С. В., ст. викл, e-mail: [sankovsergej56@gmail.com](mailto:sankovsergej56@gmail.com)

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Актуальність дослідження.** Роботизовані маніпулятори демонструють значний розвиток і знаходять все більше застосувань в різних галузях, включаючи військову справу, екологічний моніторинг, агроконтроль. За військового застосування, маніпулятори можуть бути використані для переміщення елементів систем розвідки, демінування, обслуговування обладнання та навіть для націлювання бойових частин озброєння. Можливості маніпуляторів дозволяють виконувати завдання в небезпечних або важкодоступних місцях. Маніпулятори, встановлені на роботизованих платформах, у екологічній галузі можуть здійснювати збір проб та аналіз води, ґрунту або повітря. У сільському господарстві маніпулятори можуть бути використані для автоматизації процесів, таких як посів, полив, збір врожаю та догляд за рослинами. Ці тенденції розвитку маніпуляторів враховують сучасні потреби в безпеці, ефективності та стійкості довкілля. З використанням сучасних технологій, таких як машинне навчання та автономні системи, маніпулятори можуть стати незамінними інструментами в різних сферах діяльності, сприяючи покращенню продуктивності та спрощенню рутинних завдань. Тому, актуальною задачею є створення аналітичної моделі керування розумним маніпулятором, що стане базовою для подальшої розробки та впровадження такого пристрою.

**Мета досліджень.** Метою дослідження є аналіз існуючих програм керування маніпуляторами та синтез аналітичної моделі керування розумним маніпулятором, що стане основою для розробки програмно-апаратного рішення такого пристрою.

**Основні матеріали досліджень.** Промислові роботизовані маніпулятори можуть бути класифіковані за рівнями їхньої програми керування, які визначають, наскільки автоматизованими та розумними вони є [1]. Зазвичай розрізняють наступні рівні промислових роботів за програмою керування: програма керування з точки до точки – на цьому рівні робот виконує послідовні задачі, переміщуючись з однієї точки до іншої, керування відбувається за допомогою простих команд, і робот не враховує своє оточення чи здатність взаємодіяти з ним; програма керування зі спостереженням – на цьому рівні робот може «навчатися» рухам, виконаним оператором, що фізично переміщує робота через потрібні позиції, і робот записує ці стани для подальшого відтворення, цей метод дозволяє роботу виконувати завдання, але він обмежений, оскільки робот не може адаптуватися до змінних умов; програма керування на основі сенсорів та штучного інтелекту – на цьому рівні роботи оснащені датчиками та системами штучного інтелекту, які дозволяють їм отримувати інформацію про навколишнє середовище та взаємодіяти з ним, роботи можуть реагувати на зміни у середовищі та адаптуватися до них, виконувати завдання з вищою точністю; програма керування на основі машинного навчання – на цьому рівні роботи навчаються виконувати завдання шляхом аналізу інформації та досвіду, вони можуть вдосконалювати свою продуктивність та точність з часом, оптимізуючи свої дії на основі навчання; програма керування зі здатністю до самостійного прийняття рішень – на цьому рівні роботи здатні приймати рішення на основі аналізу ситуації та інформації з навколишнього середовища, вони можуть робити складні вибори та діяти самостійно без значного втручання оператора.

Розробка маніпулятора в умовах Industry 4.0 може бути спрямована на різні рівні програм керування в залежності від конкретних завдань та вимог. Який саме рівень буде актуальним, залежить від конкретних сценаріїв застосування та бізнес-потреб компанії. Проте, слід виокремити рівень керування на основі сенсорів та штучного інтелекту [2]: умови Industry 4.0 передбачають високий рівень автоматизації, взаємозв'язку та виробничої гнучкості, що вимагає від роботів здатності реагувати на змінні умови виробництва та

взаємодіяти з іншими системами в реальному часі; маніпулятори, які можуть взаємодіяти з навколишнім середовищем та реагувати на зміни у виробничому процесі, дозволяють підприємствам легко внести зміни в виробництво без необхідності переробки програми керування; такі маніпулятори можуть працювати з високою точністю та надійністю, що особливо важливо для виробництва продукції високої якості та забезпечення безпеки робочого середовища; маніпулятори на основі сенсорів та штучного інтелекту можуть легко взаємодіяти з іншими обладнаннями та системами в реальному часі, що сприяє створенню об'єднаної виробничої мережі (Smart Factory).

Синтезована аналітична модель керування маніпулятором на основі сенсорів та штучного інтелекту передбачає реалізацію наступних етапів:

- Збір даних за якого відбувається отримання даних з сенсорів таких як камери, лазерні датчики, гіроскопи, акселерометри для отримання інформації про навколишнє середовище.
- Обробка даних для виявлення об'єктів, образів, аналіз оточення та іншої інформації, яка є важливою для подальшого керування роботом.
- Визначення цілей та завдань на основі оброблених даних та поточного контексту. Ціль може бути, наприклад, переміщенням маніпулятора до певної локації, збором об'єктів, взаємодією з іншими системами тощо.
- Розробка плану дій, що включає в себе послідовність кроків та рішень для досягнення цілей.
- Процес реалізації запланованих дій, включаючи переміщення, маніпуляцію об'єктами та взаємодію з навколишнім середовищем.
- Постійний моніторинг та корекція на основі даних з сенсорів та інших систем спостереження за змінами в оточенні, оцінювання результатів виконання і, при необхідності, внесення корекцій до плану дій для досягнення цілей.
- Взаємодія з іншими системами чи обладнанням у виробничому середовищі, які також можуть бути обладнані сенсорами та системами штучного інтелекту.
- Завершення завдання та звітність у систему керування вищого порядку чи оператору.

**Висновок.** Розробка маніпуляторів в контексті Industry 4.0 вимагає зосередження на ефективному керуванні, яке може бути реалізоване на різних рівнях програми керування. Один із найактуальніших рівнів у сучасних умовах – це керування на основі сенсорів та штучного інтелекту. Такий підхід дозволяє маніпуляторам реагувати на змінні умови виробництва та взаємодіяти з іншими системами в режимі реального часу. Використання сенсорів і штучного інтелекту підвищує гнучкість виробництва та точність операцій, сприяє забезпеченню безпеки на робочому місці та спрощує процес зміни виробництва.

Синтезована аналітична модель керування на основі сенсорів та штучного інтелекту являє собою метод послідовної реалізації функційного керування для досягнення оптимальних результатів. Він починається зі збору та обробки даних, включає визначення цілей та завдань, розробку плану дій та впровадження контролю та корекції в реальному часі. Важливою частиною цього процесу є взаємодія з іншими системами та можливість автономного навчання для постійного вдосконалення продуктивності.

У цілому, маніпулятори на основі сенсорів та штучного інтелекту є ключовими для успішного впровадження Industry 4.0, сприяючи автоматизації, гнучкості та оптимізації виробництва. У подальшій роботі заплановано розробити базову структуру функціонування програми для реалізації запропонованої моделі керування на базі Arduino Arm Kit.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Feng Z., Hu G., Sun Y., Soon, J. An overview of collaborative robotic manipulation in multi-robot systems. *Annual Reviews in Control*, 2020. 49. P. 113-127.
2. Sun Z., Zhu M., Zhang Z., Chen Z., Shi Q., Shan X., Lee C. Artificial Intelligence of Things (AIoT) enabled virtual shop applications using self-powered sensor enhanced soft robotic manipulator. *Advanced Science*, 2021. 8(14), 2100230.

СХЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ  
ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ ІНКУБАЦІЙНИХ ЯЄЦЬ

Міленін Д. М., к.т.н., ст. викл., e-mail: [dm.milenin@gmail.com](mailto:dm.milenin@gmail.com)

Лисиченко М. Л., д.т.н., проф., e-mail: [1prlysychenko@ukr.net](mailto:1prlysychenko@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Птахівництво є одним з перспективних напрямків виробництва м'яса в галузі тваринництва не лише в Україні, оскільки продукція м'ясного і яєчного напрямку спрямована на забезпечення харчових потреб населення, а й продовольчої безпеки держави. Так, за даними статистики для виробництва 1 т м'яса курчат-бройлерів або 1 т яєчної маси потрібно енергії кормів, відповідно у 2,3 і 2,1 рази менше у порівнянні з яловичиною. Серед основних чинників, які негативно позначаються на розвитку підгалузі, є значне зростання собівартості продукції та низька купівельна спроможність населення з одного боку і подорожчання кредитних ресурсів з іншого боку. На перспективу до 2030 р. планується збільшити виробництво м'яса різних сільськогосподарської птиці у 1,9 рази, у тому числі курчат-бройлерів – у 1,7 раз, курей – у 1,1 рази, качок – у 1,5 рази, гусей – у 1,4 рази, індиків – у 2,0 рази. Для досягнення вказаних показників необхідно, вже до 2025 року збільшення поголів'я батьківського стада по окремих напрямках птиці на 15-20 %, що дасть змогу повністю забезпечити виробників в якісному добовому молодняку [1].

**Мета досліджень** – є розробка електротехнічного комплексу (ЕТК) для активізації розвитку зародку яйця перед закладенням в інкубаційну шафу завдяки лазерній обробці.

**Основні матеріали досліджень.** Для лазерної обробки інкубаційних яєць перед закладенням в інкубаційну шафу розроблено спеціальний ЕТК, структурну електричну схему керування, якого наведено на рис.1.

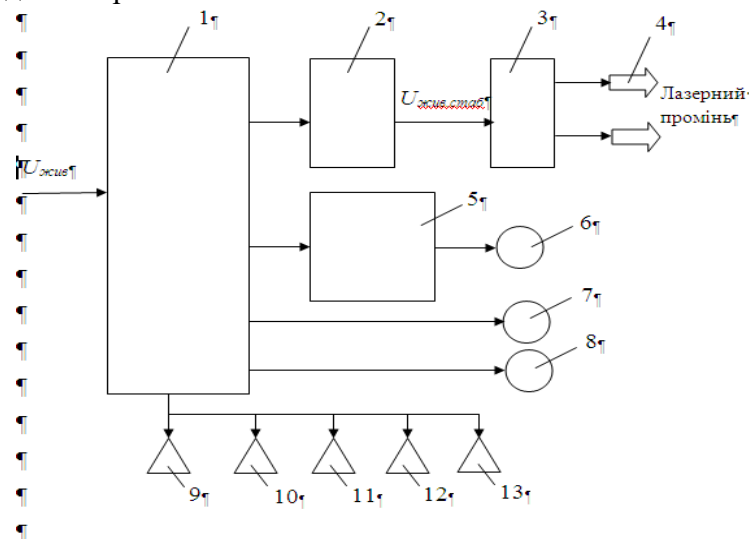


Рисунок 1 – Структурна електрична схема ЕТК лазерної обробки поверхні яйця:

1 – пульт керування ЕТК; 2 – стабілізований блок живлення лазерів;

3 – пульт керування лазерами; 4 – лазери;

5 – пульт керування електроприводом обертання яйця;

6 – електропривод обертання яйця; 7 – електропривод завантажувального транспортера;

8 – електропривод вивантажувального транспортера;

9, 10 – датчики наявності яйця на транспортерах;

11 – датчик наявності яйця під променем лазера;

12 – датчик часу для контролю обертання яйця на 360°;

13 – лічильник кількості оброблених лазером яєць

Напряг живлення подається до блоку керування ЕТК 1, до якого підключено стабілізований блок живлення лазерів 2, пульт керування електроприводом обертання яйця 5, електропривод завантажувального 7 і вивантажувального 8 транспортерів та датчики наявності яйця на транспортерах 9, 10, датчик наявності яйця під променем лазера 11, 12 – датчик часу для контролю обертання яйця на 360°; 13 – лічильник кількості оброблених лазером яєць. Для живлення лазерів 4 застосовують стабілізований блок живлення 2, який забезпечує напругу живлення  $U_{жив.стаб}$  і пульта керування 3. Окремо до пульта керування 1 підключається пульт керування електроприводом обертання яйця 5 з електроприводом 6 та електропривод завантажувального транспортера 7 і електропривод вивантажувального транспортера 8. Для керування процесом лазерної обробки поверхні яйця у напівавтоматичному режимі застосовуються датчики наявності яйця на транспортерах 9, 10, датчик наявності яйця під променем лазера 11, датчик часу для контролю обертання яйця на 360° 12, лічильник кількості оброблених лазером яєць 13.

Експериментальні випробування виготовленого діючого зразка ЕТК для лазерної обробки яєць проводились в інкубаторі ТОВ СТ «Івашківський інкубатор». Для експерименту були відібрані за розміром і вагою групи по 150 яєць. Яйця 1 групи оброблялись лазерами з довжиною хвилі випромінювання 680 нм потужністю  $30 \pm 0,5$  мВт а у групі 2 –  $75 \pm 0,5$  мВт.

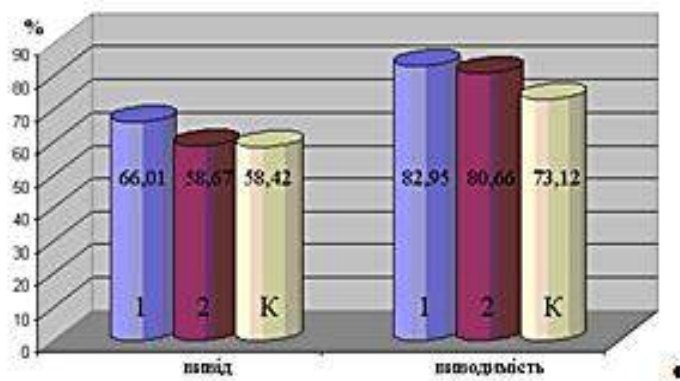


Рисунок 2 – Порівняльні діаграми виведення і виводимості в дослідних (1,2 групи) і контрольних групах (К)

**Висновок.** Експериментальні випробування діючого макетного зразка ЕТК для лазерної обробки інкубаційних яєць показали його ефективність, а саме збільшується виводимість на 7,54-9,83 %, підвищується життєздатність молодняку, так, їх біоенергетичні показники підвищуються на 23-48 %, крім того, прискорюється швидкість набору живої ваги молодняку при вирощуванні (рис.2).

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тваринництво України: стан, проблеми, шляхи розвитку (1991-2017-2030 рр.) / за ред. акад. НААН М. І. Бащенко. Київ: Аграрна наука, 2017. 160 с.
2. Патент України на корисну модель №72084. Україна МПК (2012) А01К 45/00. Спосіб обробки інкубаційних яєць / Д. М. Міленін, М. Л. Лисиченко, О. В. Терещенко, О. Б. Арте-менко (Україна) – № у 2017 112774; Заявл. 22.12.2011; Опубл. 10.08.2012. Бюл. №19. 4 с.
3. Міленін Д. М., Лисиченко М. Л. Обґрунтування параметрів лазерної обробки інкубаційних яєць / Матер. Міжн. наук.-техн. конф. «Відновлювальна енергетика новітні автоматизовані електротехнології в біотехнічних системах АПК» (6-7 листопада 2013 р. Київ: НУБП, 2013. С.59-61.

АНАЛІЗ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПОТОКУ  
ХЛІБНОЇ МАСИ НА ВХОДІ МОЛОТАРКИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНУ

Осадчий С. І., д.т.н., проф., e-mail: [srg2005@ukr.net](mailto:srg2005@ukr.net),

Льотна академія Національного авіаційного університету

Віхрова Л. Г., к.т.н., проф., e-mail: [vihrovalg@ukr.net](mailto:vihrovalg@ukr.net)

Мірошніченко М. С., к.т.н., доц., e-mail: [marymir@ukr.net](mailto:marymir@ukr.net)

Центральноукраїнський національний технічний університет

**Актуальність дослідження.** Останніми роками окреслилась тенденція розвитку зернозбиральної техніки, яка полягає у її комп'ютеризації та роботі у складі системи точного землеробства, а це дозволяє оптимізувати режими роботи зернозбиральної техніки за критеріями мінімуму втрат врожаю та максимуму продуктивності. [3]

**Мета дослідження** – дослідити характеристики коливань потоку хлібної маси на вході молотарки зернозбирального комбайну за умови впровадження оптимальної комбінованої системи стабілізації зі зворотнім зв'язком за відхиленням потоку хлібної маси від середнього значення та корекцією за зміною врожайності.

**Основні матеріали досліджень.** Якість стабілізації потоку хлібної маси визначається значенням показника якості  $e$  [1]

$$e = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr} (S_{x0x0} R + S_{uu} C) ds, \quad (1)$$

де  $j$  – комплексна одиниця,  $\text{tr}$  – знак операції знаходження сліду матриці;  $S_{x0x0}$  – матриця спектральних щільностей зміни потоку хлібної маси на вході молотарки розміру  $n \times n$ ; “/” – знак транспонування матриці;  $R$  – додатно визначена поліноміальна вагова матриця розмірності  $n \times n$ ;  $S_{uu}$  – матриця спектральних щільностей зміни вектору сигналів керування системи розмірності  $m \times m$ ;  $C$  – невід’ємно визначена поліноміальна вагова матриця розмірності  $m \times m$ ;  $s = j\omega$  – комплексний аргумент;  $i$  залежить від дисперсії зміни потоку хлібної маси на вході молотарки зернозбирального комбайну  $e_x$  та дисперсії зміни кута нахилу шайби блоку циліндрів гідротрансмісії  $e_u$ .

У відповідності до плану проектування оптимальної комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси на вході до молотарки зернозбирального комбайну провели дослідження зміни дисперсії потоку хлібної маси  $e_x$ , кута нахилу шайби блоку циліндрів гідронасосу  $e_u$  та показника якості стабілізації  $e$ , які виникають в адаптивній оптимальній комбінованій системі стабілізації при зміні постійних співвідношень  $\mu$ ,  $\mu_1$ ,  $\mu_2$ , які характеризують умови експлуатації системи [3] та при зміні середньої урожайності поля  $V_0$ .

Співвідношення  $\mu$ ,  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  визначають експлуатаційні умови, в яких повинна функціонувати система. Вони можуть змінюватись у широких межах при зміні характеристик поверхні поля та інтенсивності шуму датчиків.  $\mu$  – співвідношення „рельєф-урожайність”, яке дорівнює

$$\mu = \frac{\sigma_M}{\sigma_0} \quad (2)$$

$\mu_1, \mu_2$  – співвідношення „шум-збурення”, які дорівнюють:

$$\mu_1 = \frac{\sigma_{\phi 1}}{\sigma_0}, \quad \mu_2 = \frac{\sigma_{\phi 2}}{\sigma_0} \quad (3)$$

де  $\sigma_M$  – середньоквадратичне відхилення висоти хлібостою;  $\sigma_{\phi 1}$  – середньоквадратичне відхилення шуму датчика;  $\sigma_{\phi 2}$  – середньоквадратичне відхилення шуму датчика корекції;  $\sigma_0$  – величина середньоквадратичного відхилення урожайності.

Для виконання дослідження скористалися методом аналізу якості стабілізації при випадкових стаціонарних впливах [3], що дозволило розрахувати нормовані показники якості стабілізації:

$$\bar{e} = \frac{e}{\sigma_{\bar{e}}}, \quad \bar{e}_x = \frac{e_x}{\sigma_{Q0}^2}, \quad \bar{e}_u = \frac{e_u}{\sigma_{\gamma0}^2}, \quad (4)$$

де  $\sigma_{\bar{e}}$  – коефіцієнт, що дорівнює  $\sigma_{\bar{e}} = \sqrt{e_0}$ , а змінна  $e_0$  дорівнює показнику якості адаптивної системи стабілізації, синтезованої при значенні вагового коефіцієнту  $C = 1$ , середньої урожайності  $Y_0 = 0,35 \text{ кг/м}^2$  та співвідношень  $\mu = 1,06 \cdot 10^4$ ,  $\mu_1 = 0,5$ ,  $\mu_2 = 0,5$ . Розгляд поверхонь зміни якості рис.1 дозволяє зробити наступні висновки.

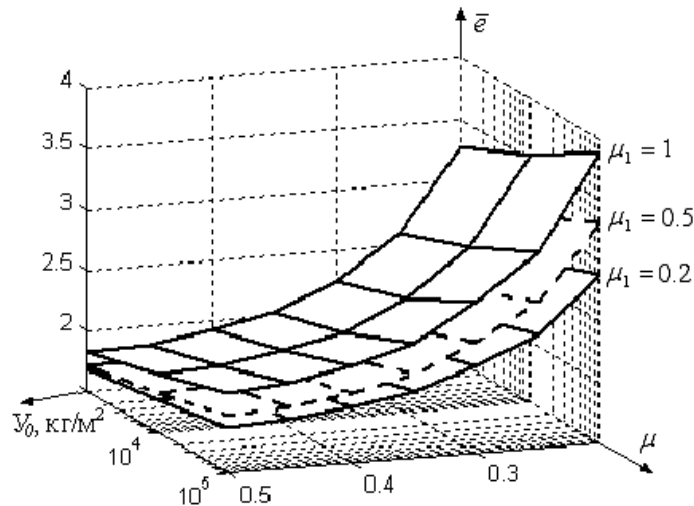


Рисунок 1 – Поверхні зміни нормованого критерію якості системи

Головний вплив на якість підтримки заданого значення потоку хлібної маси оптимальною комбінованою системою з адаптацією здійснює зміна середньої урожайності поля. При її зміні від 20 до 50 ц/га зміна нормованих середньоквадратичних відхилень потоку хлібної маси складає майже 80%. Зміна умов руху комбайну при збиранні врожаю у дуже широких межах (коефіцієнт  $\mu$  у десять разів) викликає зміну нормованого середньоквадратичного відхилення потоку хлібної маси максимум на 15%.

**Висновок.** Увімкнення у коло зворотного зв'язку оптимального двоканального регулятора, параметри якого адаптуються до середньої урожайності поля, забезпечує стійкість замкненої системи керування та обмежує середньоквадратичне відхилення потоку хлібної маси на вході до молотарки величиною  $5.2 \cdot 10^{-2} \text{ кг/с}$  при середньоквадратичному відхиленні сигналу керування – кута нахилу шайби блоку циліндрів гідронасосу, що складає  $3.48^\circ$ , у найгірших умовах мінімальної урожайності і максимальної інтенсивності шуму датчиків.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Інформаційна технологія проектування системи автоматичної стабілізації потоку хлібної маси на вході до молотарки зернозбирального комбайну / С. І. Осадчий, Л. Г. Віхрова, В. М. Каліч, М. С. Мірошніченко // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. Вип. 5 (36). Ч. 2. С. 103–109.
2. Осадчий С. І. Автоматизація динамічного проектування оптимальних багатовимірних робастних систем стохастичної стабілізації / С. І. Осадчий // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник, випуск 40. ч.1. Кіровоград, 2010. С.25-34.
3. Сисолін П. В. Машини для збирання зернових культур методом обчисування колосків / П. В. Сисолін, С. М. Коваль, І. М. Іваненко. Кіровоград : КОД, 2010. 112 с.



СУЧАСНИЙ АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ,  
НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ ТА ПРОМИСЛОВОСТІ

Осичев О. В., к.т.н., доц., e-mail: [oleksandr.osychev@khpi.edu.ua](mailto:oleksandr.osychev@khpi.edu.ua)

Ткаченко А. О., к.т.н., e-mail: [andrii.tkachenko@khpi.edu.ua](mailto:andrii.tkachenko@khpi.edu.ua)

Єфимович М. Є., магістр, e-mail: [maksym.yefymovych@ieee.khpi.edu.ua](mailto:maksym.yefymovych@ieee.khpi.edu.ua)

Онищенко М. О., магістр, e-mail: [mykola.onyshchenko@ieee.khpi.edu.ua](mailto:mykola.onyshchenko@ieee.khpi.edu.ua)

Члек Д. М., магістр, e-mail: [davyd.chlek@ieee.khpi.edu.ua](mailto:davyd.chlek@ieee.khpi.edu.ua)

Даценко С. С., магістр, e-mail: [serhii.datsenko@ieee.khpi.edu.ua](mailto:serhii.datsenko@ieee.khpi.edu.ua)

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Актуальність дослідження.** Актуальність теми обумовлена значними темпами широкого впровадження сучасних асинхронних електроприводів (АЕП) в діяльність сфер освіти та промисловості: підготовки кадрів, проектування та пусконаладження.

**Мета досліджень.** Акцентувати на зв'язку об'єкта вивчення та дослідження у навчальному процесі ВНЗ з промисловими завданнями на прикладі сучасного асинхронного електроприводу.

**Основні матеріали досліджень.** Для студента-бакалавра, який через 2-3 роки стане інженером, уявлення про сучасний асинхронний електропривод має формуватися, як про єдиний об'єкт, всі питання освоєння та застосування якого нерозривно пов'язані між собою. До них, очевидно, належать лекції, самостійна, лабораторні, курсові та дипломні роботи, виробничі та переддипломна практики, причому їхні програми мають утворювати акуратно побудовану логістику. Тоді підготовка молодих інженерів стане професійно ефективною, а не лише загальнорозвиваючою. Один із прикладів зазначеного підходу коротко висвітлено у цій роботі, побудованій за результатами постбакалаврської діяльності кількох студентів п'ятого та шостого курсів.

*1. Розробка лабораторних робіт з мікропроцесорним електроприводом фірми SIEMENS.*

На кафедрі «Автоматизовані електромеханічні системи» НТУ «ХПІ» теоретичне знайомство та засвоєння навичок роботи з АЕП базується на використанні та розвитку лабораторної бази класу-лабораторії мікропроцесорних електроприводів. Він складається з десяти лабораторних стендів, присвячених асинхронним та синхронним ЕП фірми SIEMENS та промисловим мережам. Декілька поколінь молодих викладачів кафедри пройшли в ньому навчання та продовжують розвивати цю тематику сьогодні, проводячи лабораторні роботи в рамках розкладу занять, дипломного проектування та розширення асортименту завдань на лабораторних стендах. В умовах дистанційного навчання прийнятною тимчасовою заміною став пакет програм SIEMENS, які імітують ці лабораторні стенди.

Так, авторами розробок нових лабораторних робіт у вказаному класі стали два автори цієї статті, а за останні десять-п'ятнадцять років щороку під їх керівництвом виконували дипломні проекти, доопрацьовуючи апаратне та програмне середовище стендів 2-3 дипломники щороку. Частина залишилася викладати на кафедрі.

*2. Курсовий проект.*

Паралельно з освоєнням відповідного курсу лекцій та лабораторних робіт студенти виконують велику курсову роботу з моделювання АЕП з елементами проектування (у тому числі навіть для потужних АЕП [1]). Останнє введено, як для розрахунку значень параметрів, необхідних для моделювання АЕП в SimPowerSystem пакета Matlab «від мережевих фаз до валу двигуна з навантаженням», так і для самостійної роботи в інтернеті з профільним електроустаткуванням. Важливою особливістю є синхронізація та глибокий взаємозв'язок матеріалу лекцій та завдань виконання курсової роботи. Студенти можуть працювати, як бригадно, так і індивідуально, щоб перекривати весь діапазон потужностей асинхронних двигунів серії 4A на вибраних з інтернету машинах і механізмах. «Осцилографування» з

описом всіх динамічних процесів АЕП проводиться також поелементно починаючи «від мережі живлення та внутрішнього пристрою перетворювача частоти чи пристрою плавного пуску до процесів у двигуні та механічному навантаженні». Моделюється також ковзний режим у порівнянні з ШІМ-модульованим для трифазного LR-навантаження ПЧ. Ціни обраного електроустаткування підсумовуються студентами для визначення загальної вартості промодельованого АЕП. Для окремих студентів значне розширення асортименту завдань курсової роботи стає основою майбутньої дипломної роботи.

*3. Модернізація електроприводу забійного скребкового конвеєра CP72 та електроприводу переміщення стелажного крану-штабелеру у дипломних проектах.*

Безпосередньо пов'язаними з промисловими АЕП промислових механізмів [2, 3] у їх технологічному застосуванні та науковому дослідженні є теми дипломних проектів двох вищезгаданих машин та механізмів. У першому проекті розроблена узагальнена математична та комп'ютерна моделі електромеханічної системи скребкового конвеєра з урахуванням основних факторів і явищ, характерних для приводів гірничих машин. Робочий орган конвеєра в моделі представлений пружно-в'язкою багатомасовою системою з зосередженими параметрами та складається з двохсот (200) елементарних ланок, з'єднаних між собою. Досліджена робота моделі скребкового конвеєра з АЕП при пуску, як завантаженого, так і незавантаженого ланцюга, виявлено добре співпадіння частот пружних коливань з результатами аналітичних розрахунків за формулами вчених-механіків та натурних осцилограм після отримання тривимірних графіків динамічних процесів. Розроблена замкнута система керування на базі частотно-регульованого асинхронного електропривода, що забезпечує автоматичне зниження динамічних навантажень в ланцюзі конвеєра у робочих та аварійних режимах.

В наступному проекті виконана модернізація електроприводу переміщення стелажного крану-штабелеру, який працює в ручному та автоматичному режимах керування. Розроблена система на базі частотно-регульованого асинхронного електроприводу MICROMASTER 440 та програмованого логічного контролера SIMATIC S7-300 фірми SIEMENS передбачає такі режими: плавний розгін і гальмування, точну зупинку (10 мм), стабільну швидкість руху, діапазон регулювання понад 10:1, обмеження прискорення. Система керування базується на математичному описі асинхронного двигуна в ортогональній системі координат, орієнтованій по вектору потокозчеплення ротора та має два класичних канали: канал стабілізації модуля потокозчеплення ротора та канал керування частотою обертання ротора. Комп'ютерне моделювання в пакеті Matlab Simulink показало ефективність розробленої системи.

**Висновок.** Викладені матеріали підтверджують можливість та ефективність створення логістичного ланцюга для підвищення ефективності навчального процесу та зацікавленості студентів в якісному засвоєнні його матеріалів.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Осичев О. В., Шарко Ю. С., Ткаченко А. О. Проектування та метод розрахунку високовольтних двокліткових асинхронних двигунів / Монографія ISBN 978-613-9-84773-0. – Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing / OmniScriptum Gmbh & Co.KG. 2018. 106 с.

2. Осичев О. В. Характеристики мікропроцесорних асинхронних електроприводів. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», 2003, №10, Том 1, С. 191-193, Харків: НТУ «ХПІ».

3. Осичев О. В., Ткаченко А. О., Почапський Б. Д. Методика та програмне забезпечення вибору асинхронних двигунів з урахуванням їх технічних характеристик при навчальному проектуванні. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика», № 9 (1334) 2019, С. 81-87.

THE ELECTRIC DRIVE WITH THE NONLINEARITY POSITION CONTROLLER  
WITH THE JERK LIMITATION

Oleksii Semikov, Ph.D., e-mail: [oleksii.semikov@khpi.edu.ua](mailto:oleksii.semikov@khpi.edu.ua)  
National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”

**Relevance of research.** There is a need to limit the maximum velocity, acceleration, and jerk in positional electric drives (ED) of various types of mechanisms. If these limitations are not present in the position set signal, then limiting only the voltage and currents or torque in the control system loops is insufficient because, during large displacements it will lead to relatively large position oscillations due to the presence of the braking path and saturation of the controllers.[1...3]

**The purpose of research** is to obtain a nonlinear position controller (NPC) that limits acceleration and jerk during relatively large displacements with current controller (CC) or torque controller (TC) and velocity controller (VC) saturation while transitioning to linear control for small displacements without saturations in CC or TC and VC.

**Basic research materials.** The proposed structure of the NPC as part of the ED control system is shown in Fig.1. The set angular velocity  $\omega_s$  is calculated by a linear position controller  $W_{PC}$  as the velocity set, with subsequent nonlinear constraints in case of exceeding  $\omega_{min}$ . These constraints depend on the inertialess coefficients in the transfer functions  $W_{VC}$  of VC,  $W_{CC}$  of CC or TC of  $W_{TC}$ , and  $W_{PVC}$  of the power voltage converter (PVC), as well as saturation limits in them. The limitation of angular jerk  $\zeta_{max}$ , in addition to acceleration  $\varepsilon_{max}$ , increases the braking path. Additionally, the time delay  $t_c$  between the signal set and its execution due to inertia in the control system increases the braking path. For braking from the initial speed  $\omega_{in}$  to 0, this position shift is:

$$\Delta\varphi_{sh} = t_{out} \cdot \omega_{in} = \left( t_c + \frac{\varepsilon_{max}}{2\zeta_{max}} \right) \cdot \omega_{in} . \quad (1)$$

Therefore, the braking should start earlier by outrunning time of  $t_{out}$  due to subtracting  $\Delta\varphi_{sh}$  from the position control error  $\Delta\varphi$ . The recalculated  $\Delta\varphi'$  allows for the calculation of static velocity constraints  $\omega_\phi$  using the same relationship as in the case of limiting only  $\varepsilon_{max}$  and  $\omega_{max}$ .

The mentioned nonlinear static relationship does not allow for limiting jerk and acceleration during acceleration. Therefore, the constraint on the velocity set  $\omega_{lim}$  is calculated by integrating acceleration, which is the integral of jerk. With this double integration, the acceleration set is initially calculated, taking into account the sign, through the static relationship based on the deviation from the previous  $\omega_\phi$ , denoted as  $\Delta\omega_\phi$ :

$$\varepsilon_s = \text{sgn}(\Delta\omega_\phi) \sqrt{|2\zeta_{max}\Delta\omega_\phi|} . \quad (2)$$

Then, the error in the acceleration set determines the presence and sign of the maximum permissible jerk.

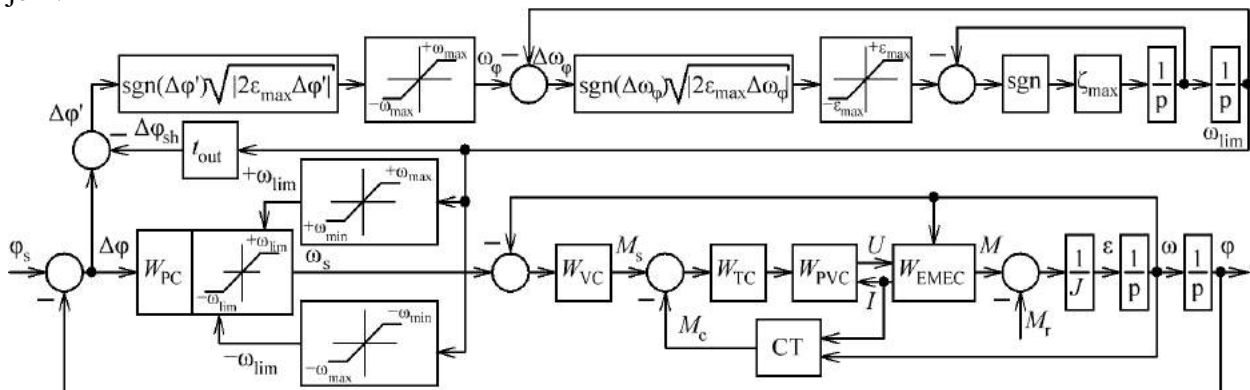


Fig.1 – The structure of the electric drive with the nonlinearity position controller

In Fig.1 additional notations include control loops of torque  $M$  and angular velocity  $\omega$  with unity feedback as part of the subordinate control system, the transfer functions of the power voltage converter  $W_{PVC}$  and the electromechanical energy conversion in the electric motor (EM)  $W_{EMEC}$ , the calculation of torque (CT) and the resistive torque  $M_r$ , which loads the first inertia shaft with a moment of inertia  $J$ , incorporating the EM rotor.

The operation of the positional electromechanical system with the previously mentioned controller is simulated using a direct current machine as an example. The values of armature current  $I_a^* = I_a / I_{a,max.}$ , acceleration  $U_a^* = U_{a,max.} / U_{a,max.}$ , and jerk  $\zeta^* = \zeta / \zeta_{max}$  are depicted in Fig.2 relative to their allowable maximum values. The values of angular velocity  $\omega^* = \omega / \omega_{max}$ , and acceleration  $\varepsilon^* = \varepsilon / \varepsilon_{max}$ , are shown in Fig.3 relative to their allowable maximum values. The position  $\varphi^* = \varphi / \varphi_s$  is displayed in Fig.3 relative to displacement, which is set by a step change at  $\varphi_s$ . Time is represented relative to the constant time  $T_\mu$ , which is an approximate characteristic of the nonlinear PVC and is not compensated for in this control system.

From the beginning until  $10 T_\mu$ , there is no jerk and acceleration because the torque increases to the resistance value, as seen in the current graph. After that, motion commences. As a result, jerk is primarily limited by the rate of change of currents due to the inductance in the motor armature windings until  $100 T_\mu$ . This confirms the expected operation of the NPC without saturation in VC, CC, TC, and the power converter. The same pattern repeats on three intervals during both acceleration and deceleration. Two intervals,  $105...200 T_\mu$  and  $505...595 T_\mu$ , have acceleration constraints at the set values. This also demonstrates the anticipated absence of saturation in VC. After  $690 T_\mu$ , the set velocity becomes lower than  $\omega_{min}$ , and the control system transitions to the linear zone with position tracking. This transition takes longer in time compared to continuing braking with constant jerk due to the  $t_c$  calculation error when determining  $t_{out}$ .

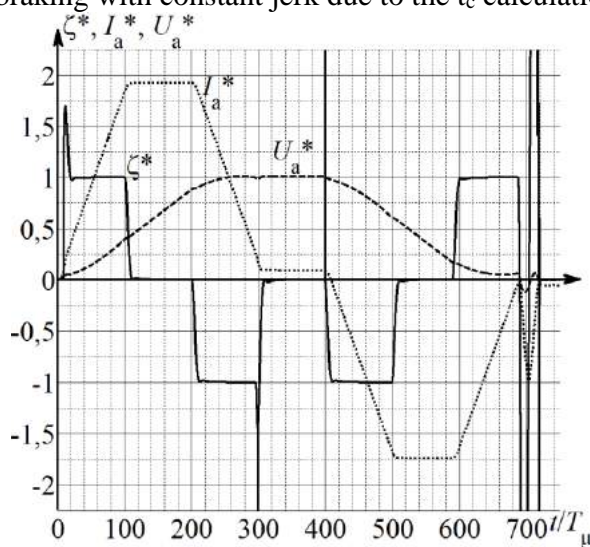


Fig.2 – Jerk, armature current and voltage

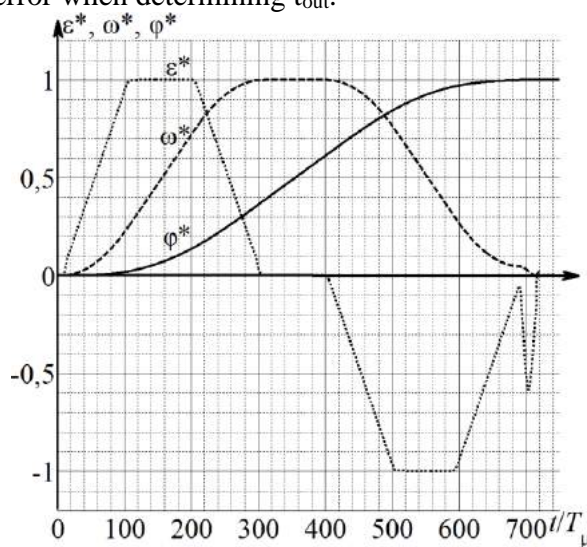


Fig.3 – Displacement, velocity and acceleration

**Conclusion.** Computer simulation has shown that the proposed NPC provides acceleration and jerk limitations during relatively large displacements without saturations of CC or TC and VC, while transitioning to linear control during relatively small displacements. Further refinement of the NPC structure is needed to limit jerk during relatively small displacements, reduce the influence of the control time determination error  $t_c$  on braking path calculation accuracy to enhance efficiency, and minimize the influence of the load characteristics.

#### REFERENCES

1. Попович М. Г. Теорія електропривода: підручник / М. Г. Попович, М. Г. Борисюк, В. А. Гаврилюк та ін.; за ред. М. Г. Поповича. Київ: Вища шк., 1993. 494 с.
2. Лавріненко Ю. М. Електропривод: підручник / Ю. М. Лавріненко, О. С. Марченко, П. І. Савченко, та ін. – 2-е вид. перер. і доп. Київ, 2009. 504 с.
3. Теряєв В. І. Системи програмного та слідкуючого керування рухом: підручник / В. І. Теряєв, С. В. Король. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 150 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА ПРИ ВІДХИЛЕННЯХ  
ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Сотнік О. В., к.т.н., доц., e-mail: [sotnikolga11@gmail.com](mailto:sotnikolga11@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Строк служби асинхронних двигунів (АД) – показник довговічності, а його прогнозування зводиться до розрахунку їх надійності [1]. АД, як правило, розраховані на строк служби 15...20 років без капітального ремонту за умови правильної їх експлуатації. Під правильною експлуатацією двигуна розуміється його робота відповідно до номінальних параметрів, вказаних у паспорті. На практиці має місце значне відхилення режимів експлуатації АД від номінальних. На цей час понад 70 % експлуатованого парку АД складають машини, які хоч би один раз побували в капітальному ремонті [2]. Особливо це актуально для сільськогосподарського виробництва, де рівень та час відхилення показників якості електроенергії (ЕЕ) від нормованих значень дуже великий.

**Мета дослідження.** Підвищення надійності роботи АД у сільськогосподарському виробництві.

**Основні матеріали дослідження.** Тривалий період роботи над покращенням конструкції АД дозволив помітно поліпшити масово-габаритні параметри та показники їх надійності. Але й сьогодні ізоляція обмоток АД є їх слабким місцем у надійній роботі. Це враховується в теорії ЕП при виборі потужності двигуна шляхом дотримання енергетичного балансу двигуна та робочої машини та перевірки температури нагрівання ізоляції.

Через дискретність шкали потужностей двигунів найчастіше приходиться користуватися умовою  $P_n \geq P_e$ , яка доповнюється правилом - при відомій потужності робочої машини потрібно вибрати найближчий більший за потужністю двигун. Звідси виходить, що теорія ЕП передбачає запас потужності АД, але не вирішує задачу про величину цього запасу. Задача запасу потужності традиційно вирішується як задача про оптимальне завантаження двигуна.

Але враховуючи роботу АД у сільськогосподарському виробництві, як правило у важких умовах (запиленість, нерівномірність навантаження, погана якість електроенергії (ЕЕ) тощо), то такий підхід при виборі двигуна не буде ефективним. Існують економічні інтервали навантажень для вибору АД в електроприводі (ЕП) відповідно до умов їх експлуатації. Ці дані для АД невеликих потужностей, що притаманні сільськогосподарському виробництву наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Економічні інтервали навантажень АД

| Номінальна потужність, кВт | Інтервал навантажень, кВт, за умовами експлуатації |             |             |
|----------------------------|--|-------------|-------------|
|                            | легкі  | звичайні    | важкі       |
| 1,1                        | 0,6-1,10   | 0,5-1,0     | 0,45-0,95   |
| 1,5                        | 1,11-1,50  | 1,01-1,40   | 0,96-1,30   |
| 2,2                        | 1,51-2,20  | 1,41-1,90   | 1,31-1,90   |
| 3,0                        | 2,21-3,00  | 1,91-2,80   | 1,91-2,60   |
| 4,0                        | 3,01-4,00  | 2,81-3,70   | 2,61-3,50   |
| 5,5                        | 4,01-5,50  | 3,71-5,20   | 3,51-5,00   |
| 7,5                        | 5,51-7,50  | 5,21-6,30   | 5,01-6,00   |
| 11,0                       | 7,51-11,00   | 6,31-10,00  | 6,01-9,20   |
| 15,0                       | 11,10-15,00  | 10,10-13,00 | 9,21-12,50  |
| 18,5                       | 15,10-18,50  | 13,10-17,00 | 12,51-16,00 |
| 22,0                       | 18,60-22,00  | 17,10-20,00 | 16,10-19,00 |

Ці дані істотно підвищують ефективність вибору потужності двигуна [3, 4].

Робота АД в сільськогосподарському виробництві це робота в важких умовах і для дослідження відношення часу розгону ( $t_{роз}$ ) до електромеханічної сталої часу ( $T_m$ ) двигуна АИР100L6УЗ було проведено експеримент за різних умов: живлення АД номінальною напругою (380 В), зниженою напругою (360 В), за асиметрії фаз, при обриві фази. Навантаження АД було від номінального до неробочого ходу. Температура навколишнього середовища приймалася на рівні  $+ 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

При живленні номінальною напругою відношення  $t_{роз}/T_m$  значно збільшувалося в межах коефіцієнта завантаження 0,8 – 0,9. В цьому режимі (відносно завантаження) махові частини ЕП, не можуть достатньо швидко віддавати безперервно потужність, яка дорівнює номінальній потужності двигуна. Робочі струми становляться нижче за номінальні при коефіцієнті навантаження 0,8 від номінального.

При живленні зниженою напругою АД має збільшення відносного часу розгону при коефіцієнті навантаження - від 0,75 до 1,0. Робочі струми становляться нижче за номінальні тільки при коефіцієнті навантаження 0,9 від номінального.

Асиметрія фаз проводилась шляхом введення у коло однієї із фаз (фаза А) додаткового опору. Асиметрія складає 2,5 - 5% від номінальних значень. При асиметрії фаз двигун при номінальному завантаженні працював з критичними характеристиками, навіть при невеликому перевантаженні, пуск буде неможливий. Це може привести в кращому випадку при спрацьовуванні пристрою захисного відключення до зупинки технологічного процесу, що не завжди допустимо, у гіршому - виходу з строю самого АД. Крім збільшеного часу пуску немаловажну роль грає і температура на яку встиг за час пуску нагрівається АД. Перепади температури спостерігаються при повному навантаженні на  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

При обриві фази АД запускався в повнофункціональному режимі, після виходу АД на сталий режим роботи обривалась фаза «А». Неповнофазне живлення АД одне з найбільш розповсюджених причин виходу з строю. Це пояснюється зростанням робочого струму за фазами приблизно в 1,73 рази. Неповнофазне живлення призводить до збільшення робочого струму - перегріву двигуна. Для зменшення негативних наслідків цього режиму можна запропонувати коефіцієнти завантаження 0,7-0,8 від номінального та більший коефіцієнт запасу потужності АД. Це може знизити робочий струм до номінального і таким чином уникнути перегріву обмоток статора. При такому завантаженні вирівнюються струми в робочих фазах, що теж є суттєвим.

**Висновок.** Проведені дослідження показали негативний вплив на роботу АД при зниженні напруги живлення, асиметрії фаз та при обриві фази, що має місце при роботі АД у сільськогосподарському виробництві. Правильний вибір потужності АД дозволить зменшити негативний вплив при роботі, а саме при зниженні напруги зменшити час розгону двигуна, усунути нерівномірність навантаження за фазами до 5 %, при неповнофазному живленні правильно підібране навантаження може усунути перегрівання обмотки АД.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Синявський О. Ю., Савченко В. В., Бунько В. Я., Рамш В. Ю. Електропривод виробничих машин і механізмів: Навчальний посібник / за ред. О.Ю. Синявського. – К.: ФОП Ямчинський О. В., 2020. 444 с.
2. Сотнік О. В., Величко І. А., Сотнік О. В. Теоретичне обґрунтування запасу потужності асинхронних двигунів електропривода сільськогосподарських машин. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. Вісник ХНТУСГ. Х.: ХНТУСГ. 2018. Вип. 195. С. 130 –131.
3. Матвійчук В. А., Стаднік М. І., Рубаненко О. О. Електропривод виробничих машин і механізмів. Навчальний посібник з виконання курсової роботи. Вінниця: ВНАУ, 2016. 85 с.
4. Закладний О. О. Оцінка залишкового ресурсу асинхронного електроприводу. Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». 2010. Вип. 19. С. 140 –148.

**ВПЛИВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ  
НА ПРИВОДНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕПАРАТОРІВ МОЛОКА**

Синявський О. Ю., к.т.н., доц., e-mail: [sinyavsky2008@ukr.net](mailto:sinyavsky2008@ukr.net)

Савченко В. В., к.т.н., доц., e-mail: [yit1986@ua.fm](mailto:yit1986@ua.fm)

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Актуальність дослідження.** Хоча за EN50160 середньоквадратичне відхилення напруги повинно бути в межах  $\pm 10\%$ , але в реальності ці показники можуть значно відрізнятися від норми, наприклад, в Україні відхилення напруги буває від  $-20\%$  до  $+30\%$  [1].

Як показали проведені дослідження, найбільший вплив на електроприводи сільськогосподарських машин мають відхилення напруги (у  $68\%$  випадків) та несиметрія напруги (у  $38\%$  випадків) [2].

Сепаратори молока для відокремлення вершків потребують незмінної кутової швидкості барабана [3]. Проте внаслідок відхилення і несиметрії напруги змінюється кутова швидкість двигуна, яка в свою чергу обумовлює зміну технологічних характеристик сепаратора молока. Тому дослідження зміни технологічних і енергетичних характеристик сепараторів молока при відхиленні та несиметрії напруги має теоретичне і практичне значення.

**Мета дослідження** – встановлення впливу відхилення та несиметрії напруги на технологічні і енергетичні характеристики сепараторів молока.

**Основні матеріали досліджень.** При відхиленні і несиметрії напруги асинхронний двигун працює на робочій частині механічної характеристики, яку можна вважати лінійною [4].

При відхиленні напруги механічна характеристика електродвигуна на робочій ділянці опишеться рівнянням:

$$M_{\partial} = \beta_{\partial} U_*^2 (\omega_0 - \omega), \quad (1)$$

де  $M_{\partial}$  – момент двигуна, Н·м;  $\beta_{\partial}$  – жорсткість механічної характеристики електродвигуна, Н·м·с;  $U_*$  – напруга у відносних одиницях;  $\omega_0$  – синхронна кутова швидкість,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\omega$  – задана кутова швидкість,  $\text{с}^{-1}$ ,

а при несиметрії напруги

$$M_{\partial} = \beta_{\partial a^*} \beta_{\partial n} (\omega_0 - \omega), \quad (2)$$

де  $\beta_{\partial a^*} = \beta_{\partial a} / \beta_{\partial n}$  – жорсткість механічної характеристики електродвигуна при несиметрії напруги у відносних одиницях;  $\beta_{\partial a}$  – жорсткість механічної характеристики електродвигуна при несиметрії напруги;  $\beta_{\partial n}$  – жорсткість механічної характеристики електродвигуна при номінальній симетричній напрузі, Н·м·с.

Механічна характеристика сепаратора молока має вентиляторний вигляд [3]:

$$M_c = M_0 + b\omega^2, \quad (3)$$

де  $M_0$  – початковий момент, Н·м;  $b$  – коефіцієнт, Н·м·с<sup>2</sup>.

В усталеному режимі роботи

$$\beta_{\partial} U_*^2 (\omega_0 - \omega) = M_0 + b\omega^2, \quad (4)$$

$$\beta_{\partial a^*} \beta_{\partial n} (\omega_0 - \omega) = M_0 + b\omega^2. \quad (5)$$

Продуктивність сепараторів молока

$$Q_* = \omega_*^2. \quad (6)$$

Тоді закон зміни продуктивності сепаратора молока при зміні напруги запишеться у вигляді:

$$U_* = \sqrt{\frac{M_0 + b\omega_n^2 Q_*}{\beta_\phi (\omega_0 - \omega_n \sqrt{Q_*})}}, \quad (7)$$

а при несиметрії напруги

$$\beta_{\phi a^*} = \sqrt{\frac{M_0 + b\omega_n^2 Q_*}{\beta_\phi (\omega_0 - \omega_n \sqrt{Q_*})}}. \quad (8)$$

Відхилення та несиметрія напруги впливають також на енергетичні характеристики сепаратора молока, однією з яких є питома витрата електроенергії, кВт·год/кг, яка визначається як:

$$q = P_1 / Q, \quad (9)$$

де  $P_1$  – потужність, споживана електродвигуном з мережі, кВт.

У відносних одиницях вираз (9) має вигляд:

$$q_* = \frac{P_2 + \Delta P_c + \Delta P_v}{P_{2n} + \Delta P_{cn} + \Delta P_{vn}} \cdot \frac{Q_n}{Q} = \frac{P_2 + \Delta P_{vn} (\alpha + \Delta P_v / \Delta P_{vn})}{P_{2n} + \Delta P_{vn} (\alpha + 1)} \cdot \frac{Q_n}{Q}, \quad (10)$$

де  $P_{2n}$  и  $P_2$  – відповідно потужність на валу двигуна при номінальній і відмінній від номінальної напрузі;  $\Delta P_{cn}$  і  $\Delta P_c$  – постійні втрати потужності;  $\Delta P_{vn}$  і  $\Delta P_v$  – змінні втрати потужності;  $\alpha$  – коефіцієнт втрат.

Враховуючи, що номінальні втрати потужності

$$\Delta P_n = P_{2n} \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} = \Delta P_{vn} (\alpha_n + 1), \quad (11)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт втрат;  $\eta_n$  – ККД двигуна при номінальній напрузі, а змінні втрати потужності

$$\Delta P_v = \Delta P_{vn} \omega_*^4 / U_*^4, \quad (12)$$

то питома витрата електроенергії при відхиленні напруги

$$q_* = \eta_n Q_* + \frac{1 - \eta_n}{(\alpha_n + 1)} \cdot \frac{(\alpha U_*^2 + Q_*^2 / U_*^4)}{Q_*}, \quad (13)$$

а при несиметрії напруги

$$q_* = \eta_n \sqrt{Q_*} + \frac{1 - \eta_n}{(\alpha_n + 1)} \cdot \frac{(\alpha_a + Q_*^2 / \beta_{\phi a^*})}{Q_*}. \quad (14)$$

Таким чином, зниження та несиметрія напруги викликає зростання питомої витрати електроенергії в сепараторів молока.

**Висновок.** На основі проведених досліджень встановлено, що при зниженні напруги на 20 % кутова швидкість барабана сепаратора молока знижується на 4 %, продуктивність – до 9 %, а питома витрата електроенергії зростає на 10 %. Несиметрія напруги призводить до зменшення продуктивності сепаратора молока та зростання питомої витрати електроенергії.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Szultka A., Szultka S., Czapp S., Zajczyk R. Voltage Variations and Their Reduction in a Rural Low-Voltage Network with PV Sources of Energy. *Electronics* 2021, 10(14), 1620
2. Дед А. В., Сикорский С. П., Смирнов П. С. Результаты измерений показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения предприятий и организаций. *Омский научный вестник*. 2018. №2 (158). С. 60 – 63.
3. Синявський О. Ю., Савченко В. В., Лавріненко Ю. М. та ін. Електропривод виробничих машин і механізмів. К.: ФОП Ямчинський О. В., 2020. – 444 с.
4. Лавріненко Ю. М., Савченко П. І., Синявський О. Ю. та ін. Основи електропривода. К.: Видавництво Ліра-К, 2016. 524 с.



## АЛАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Товт Ф. Ф. аспірант,

Сорокін М. С. к.т.н., доцент, e-mail: [sorokin.ekt@gmail.com](mailto:sorokin.ekt@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність досліджень.** Одним із пріоритетних завдань в промисловості є підвищення надійності і продовження терміну служби обладнання, зниження собівартості виробництва і ремонту агрегатів. Несправності електрообладнання призводять до великих матеріальних і тимчасових витрат в процесі експлуатації і ремонту. Оскільки процес технічного обслуговування і ремонту регламентовано за часом, вкрай важливо використовувати методи, що дозволяють виконати технічний огляд в найкоротші терміни зі збереженням якості операцій. [1]

**Мета досліджень:** Аналіз можливостей застосування машинного навчання для створення системи діагностики технічного стану електрообладнання.

**Основні матеріали досліджень.** Підтримання необхідного ступеня надійності обладнання під час його експлуатації забезпечується системою технічного обслуговування та ремонту. Традиційно ця система базується на періодичному планово-попереджувальному ремонті і являє собою систему технічного обслуговування, засновану на часі експлуатації.[2]

Основний спосіб підвищення експлуатаційної надійності, полягає у тому, щоб саме прогнозувати несправності пристроїв, передбачити можливість виходу обладнання з ладу, що дозволить виявити несправності для їх подальшого усунення. Як результат, мінімізується можливість прояву несправностей та відмов обладнання.

Сучасними тенденціями в електроенергетиці є розробка та впровадження методів прогнозного моніторингу та технічного обслуговування. Предиктивне технічне обслуговування (Predictive maintenance) – методологія управління станом обладнання, яка реалізується шляхом безперервного моніторингу стану та планування профілактичного обслуговування та ремонту.

Машинне навчання (*Machine learning, ML*) – група методів в області штучного інтелекту, набір алгоритмів, які застосовують для створення машини, яка вчиться на власному досвіді. В якості навчання машина обробляє величезні масиви вхідних даних і знаходить в них закономірності. За вже звичним словом «алгоритм» ховається складна робота з його налаштування та навчання. Алгоритми адаптивно покращують свою ефективність, оскільки збільшуються дані, доступні для навчання. Тобто чим більше даних, тим точнішою буде наша модель і ефективнішим навчання.

Машинне навчання (ML) поділяється на три основні типи залежно від способу навчання моделей. Навчання з учителем, передбачає наявність набору даних, в якому для кожного прикладу є відома правильна відповідь. Завдання системи полягає в навчанні на основі цих прикладів так, щоб надавати правильну відповідь на нові, раніше не бачені приклади. Вчитель вказує, яка відповідь повинна бути, і модель навчається адаптуватися до цього. Навчання без учителя, немає правильних відповідей для прикладів даних. Замість цього, система намагається знайти приховані закономірності або структуру в наборі даних. Наприклад, система може розділити дані на групи чи кластери на основі спільних ознак. Навчання з підкріпленням, ML існує агент, який взаємодіє з певним середовищем і вчиться, діючи в цьому середовищі. Агент отримує позитивні або негативні відклики від середовища на свої дії. Задача агента полягає в тому, щоб максимізувати позитивні відклики та мінімізувати негативні. Цей тип навчання часто використовується в робототехніці і в іграх.

Кожен з цих типів машинного навчання використовується для вирішення різних видів завдань і має свої особливості. Таким чином для створення алгоритмів машинного навчання,

в системах технічної діагностики електрообладнання треба зібрати базу подій які можна використати для прогнозування виходу із ладу або створення аварійного режиму роботи обладнання.

Якість представлення даних в ML є одним із ключових параметрів ефективної роботи моделі. Залежно від того, яка у нас прикладна задача, процес представлення даних для алгоритму відрізнятиметься. Для вирішення різних задач одні методи представлення даних підходять, інші – ні і ніколи не приведуть до якісної функціонуючої моделі. Одним із найпоширеніших методів представлення даних у ML є «ознакове описання об'єкту». Тобто для виникнення кожної події є певний набір параметрів технічного стану системи. Якість роботи алгоритму сильно залежить від того, наскільки ознаки, які ми даємо йому на вхід, справді впливають на вірогідність виникнення події, яку ми отримуємо на виході.

Отож, на цьому етапі конструювання ефективної моделі ML є вибір ключових ознак. Цей етап, в якому рішення в основному залежить від людини/експерта системи, який, проаналізувавши задачу, робить висновок, що одні ознаки підходять для прогнозування того, що ми хочемо отримати на виході системи, а інші – ні.[3]

Другий тип даних представляються не у вигляді ознакового описання, а у вигляді так званих «сирих» даних. Наприклад, зображення термографії, графіки величин пульсації струмів або шумів і підшипниках електродвигунів – це ознакове описання, але ознакове описання не того, що зображено, а кожного пікселя окремо. Якщо у нас є зображення розміром 100x100 пікселів RGB, це означає, що у нас є 100x100x3 об'єктів, для кожного з яких є певна ознака – колір, величина амплітуди, частота тощо. Таке представлення даних виділяють в окрему групу і називають «сирими» даними. Методи роботи з ними – відрізняються.

**Висновки.** Збір даних для вирішення певної проблеми в машинному навчанні може вимагати значних зусиль та ресурсів. По-перше, потрібно створити ефективну систему збору даних, що включає в себе збір, категоризацію, анотування та зберігання інформації. Цей етап важливий, оскільки якість та достовірність даних мають вирішальне значення для успішного аналізу.

По-друге, обробка даних є ключовою частиною процесу. Незалежно від типу даних, важливо виявити в них важливі патерни та взаємозв'язки. Вибір відповідних алгоритмів та методів обробки даних може визначити успішність моделі машинного навчання.

Також важливо враховувати, що для навчання деяких моделей може знадобитися значна кількість прикладів. Тому важливо мати налагоджений процес збору даних для забезпечення потрібної кількості інформації.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сорокін М. С., Гузенко В.В. Застосування системи нечіткої логіки для визначення ресурсу асинхронного двигуна [Текст] / М. С. Сорокін, В. В. Гузенко // Наук.-техн. збірник Харків. нац. ун-ту міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. - Харків : ХНУМГ, 2021. Вип. 166: Комунальне госп-во міст, Т. 6 : Секція: Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. С. 39-43.

2. Практикум з технічної діагностики [Текст] : навч. посіб. / О. В. Козаченко, С. П. Сорокін, О. М. Шкрегаль, О. В. Блезнюк, Г. С. Романюк, М. С. Сорокін, О. Д. Деркач, В. Ю. Ільченко, П. М. Кухаренко, В. Є. Кириченко, В. А. Ізюмський, С. М. Соколов, Л. Ф. Бабицький, І. В. Соколевський ; за ред. О. В. Козаченка. Х.: Факт, 2013. 456 с. : іл. - ISBN 978-966-637-741-1

3. Методи машинного навчання при проєктуванні автоматизованих систем керування [Електронний ресурс]: навч. посіб. для аспірантів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укладач: Т. Г. Баган; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 313 кБайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 28 с.

## ЗАСТОСУВАННЯ МОДУЛЬНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ДЛЯ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Хандола Ю. М., к.т.н., доцент, e-mail: [xandola@ukr.net](mailto:xandola@ukr.net)

Гузенко В. В., к.т.н., доцент, e-mail: [hnaghv@gmail.com](mailto:hnaghv@gmail.com)

Бабін Б. Е., студент, e-mail: [babin\\_bogdan4@gmail.com](mailto:babin_bogdan4@gmail.com)

Божко Д. В., магістр, [bozko\\_dar9@ukr.net](mailto:bozko_dar9@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** На сьогоднішній день стали потрібні роботи різного виду, вони здатні замінити людину в багатьох сферах діяльності в таких як: промисловість, медицина, вивчення космосу, розваги та ін. Сучасні технології дозволяють створити роботів різної класифікації: по управлінню, позиціонуванню, призначенню, способу пересування. Усі роботи оснащені певним типом приводу для роботи. Найчастіше необхідно скомбінувати кілька параметрів, такі як: потужність, швидкість, швидкодія, точність обробки командного сигналу, габарити, маса, кількість ступенів свободи, для виконання необхідних завдань робота [1]. У такому разі актуально використовувати модульні системи приводів, їх можна налаштувати під будь-який тип робота, тобто один робот буде призначений для різних автоматизованих завдань [2].

**Мета досліджень.** Провести огляд застосування модульних електроприводів для робототехнічних систем.

**Основні матеріали досліджень.** Для руху робота його оснащують приводами. Найбільш затребуваними є: безщітковий двигун постійного струму (БДП), синхронний двигун, кроковий двигун, сервопривод, пневматичний привод, гідравлічний привод та ін. Багато які з них дорогі і складні в експлуатації, а ті, що бюджетні швидко перегріваються, зношуються, або просто не підходять до певному виду робота.

Безщітковий двигун постійного струму (БДП).

Цей двигун працює без щіток для комутації, це відбувається за допомогою необхідної електроніки. Принцип роботи заснований на взаємодії магнітних полів між електромагнітом і постійним магнітом, при подачі напруги протилежні полюси ротора та статора притягуються один до одного. На підставі дослідження можна виділити його позитивні сторони: висока частота обертання, висока швидкість через крутий момент, тривалий термін служби, безшумна робота. Але існують і негативні сторони: БДП не працює без електроніки, досить складний та дорогий регулятор швидкості.

Синхронний двигун.

Принцип роботи такого двигуна ґрунтується на взаємодії магнітного поля якоря і магнітного поля полюсів індуктор. Найчастіше якір розташовується на статорі, а індуктор – на ротор. Перевага синхронного двигуна у зручності збирання, також відрізняється високою економічністю. При цьому застосування такого двигуна неможливо, якщо складові частини робота (механізми) мають великі махові маси, тому що для цього необхідно мати подвійний чи регульований привод. Цей вид двигуна не має початкового пускового моменту, тобто для пуску необхідно попередньо розігнати ротор за допомогою зовнішнього моменту майже синхронної частоти обертання.

Кроковий двигун.

Основна відмінність цього виду в його способі обертання. Попередні двигуни обертаються безперервно, тоді як крокові обертаються кроками. На статорі є чотири обмотки, розташовані за 90-градусним кутом. При подачі напруги на кожен обмотку по черзі вал обертається до повного проходження кола, після чого процес повторюється від початку. Його головне перевага – точність роботи, тому що при подачі напруги він обертається на певний кут, але він обмежений у швидкості (1000 об/хв).

Сервопривод.

Такий тип електромеханічного двигуна обертає механізми не завжди, а за сигналом і переміщуються у певне положення, зберігаючи його до наступного сигналу. Сервопривод працює на основі імпульсного сигналу, що змінюється за трьома параметрами: частота повторення, мінімальна та максимальна тривалість. Тривалість імпульсу задає кут повороту двигуна. Цей вид приводу має високу швидкість обертання, має високу потужність, але у нього складна система підключення та управління.

Наведені приводи не завжди можна використовувати їх у первозданному вигляді, тому необхідно використовувати модульну систему приводов задля забезпечення універсальної роботи робота.

Принцип роботи модульного приводу залежить від його компонентів, привод повинен працювати при високих температурах, умовах підвищеної вологості, тиску, радіації, а іноді при поєднанні всіх факторів. Найчастіше такі приводи використовують у склад рухомих робототехнічних систем.

Модульні приводи бувають декількох видів: гідравлічні, пневматичні та електричні. При складанні приводів завжди намагаються враховувати реакцію зовнішніх факторів, а також гальванічний зв'язок металів та їх електрофізичні та електрохімічні характеристики на матеріали, такі як як: пластмаса, композитні матеріали, гідрорідини, алюмінієві сплави, мікроелектронні системи керування, електричні обмотки, магнітні матеріали.

В даний час ведеться активна розробка модульних приводов, для підвищення ефективності роботи робототехнічних систем. Це пов'язано з тим, що такі приводи мають підвищений крутний момент, що важливо, як для мобільних роботів, так і для промислових.

Існують основні компанії, що базуються на створення робототехнічних систем за допомогою модульних приводов. Прикладами виробників можуть бути Massachusetts Institute of Technology (MIT) та Centork.

Виробник MIT Cheetah розробила робота, у цьому роботі використовувався електродвигун з високою щільністю крутного моменту, з'єднаного з трансмісією з низьким передатним ставленням для досягнення високої щільності крутного моменту, високої керованості заднім ходом. У такому роботі використовуються спеціально розроблені двигуни, оптимізовані для щільності моменту, що крутить.

В той час, як MIT розробляє модульні приводи для мобільних роботів, компанія Centork створює такі приводи для промислових робототехнічних систем.

Один із модулів компанії Centork серії СК – багатооборотний привод СК 30 – СК 500. Його момент, що крутить, може досягати від 10 до 500 Нм. Але його можна комбінувати з іншими редукторами підвищуючи момент, що крутить. Компанія використовує конічні, циліндричні та черв'якові додаткові редуктори. Так, у комбінації з багатооборотними конічними та циліндричними редукторами можна досягати максимальних оборотів 10800 Нм, а у комбінації з чвертьоборотними черв'ячними редукторами – 205600 Нм.

**Висновок.** Таким чином, модульні приводи стали використовуватися в сучасних робототехнічних системах, вони мають підвищений крутний момент і низьку інерцію для точних зупинок і запусків, і спеціальне відмовостійке гальмо триразово перевищує зусилля двигуна.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пуриш В. З. Основы автоматизации. Проектирование роботов / В. З. Пуриш. – Николаев: Изд-во ЧГУ им. Петра Могилы, 2010. – 312 с. ISBN 978-966-336-168.
2. Электрические приводы. — Текст : электронный // Centork : [Сайт]. — URL: <http://www.centork.com/572937/the-advantages-disadvantages>

ОРГАНІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ  
ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ В УМОВАХ ПТАХОФАБРИКИ

Хандола Ю. М., к.т.н., доц., e-mail: [xandola@ukr.net](mailto:xandola@ukr.net)

Дешко М. О., магістр, e-mail: [tardis11111111@gmail.com](mailto:tardis11111111@gmail.com)

Лисиченко М. Л., д.т.н., проф., e-mail: [1prlysychenko@ukr.net](mailto:1prlysychenko@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** В умовах розвитку і суттєвої модернізації птахівництва виникає актуальне питання щодо проведення значного об'єму робіт, пов'язаних з визначенням строків, об'єму і місця проведення профілактичних заходів та ремонтних робіт. Основним споживачем електроенергії, як показує практика, при виконанні технологічних операцій в умовах птахофабрики є електропривод робочих машин і механізмів – до 65 %. Особливістю експлуатації електричних двигунів є складні кліматичні умови: хімічно активне середовище, наявність пилу, коливання температурних показників та інші. Крім того, в сучасних умовах ситуація ускладнюється наступними факторами: відносна зношеність виробничих фондів електрообладнання; недостатня кількість сучасних пристроїв автоматичного захисту від несанкціонованих режимів роботи; недостатня розгалуженість ремонтної бази; несвоєчасність проведення профілактичних заходів та інше [1,2].

**Мета дослідження.** Розробити заходи щодо підвищення енергоефективності процесу діагностики та подальшого ремонту в умовах птахофабрики.

**Основні матеріали досліджень.** Подальший розвиток підгалузі птахівництва, що є однією з найважливіших в економіці країни, потребує якісних перетворень, які можуть підвищити конкурентоспроможність сільськогосподарського виробництва та продовольчу безпеку держави. Відповідно до «Стратегії розвитку...до 2025 року» передбачається збільшення поголів'я м'ясо-яєчних курей до 64 % від загальної чисельності, а поголів'я курей-несучок вітчизняної селекції в господарствах населення довести до 48,4 млн гол., що дасть можливість збільшити середню несучість до 135 шт яєць/гол., а за сезон на 27 % та вихід м'яса майже на 29 % [3].

Основна концентрація поголів'я розподілена серед 11 птахофабрик - «мільйонників» України, особливість яких, є розміщення пташників по 10-12 шт на одну зону і розділених на 10 зон, між якими, як правило, 5-8 км, що загалом складає 100-120 приміщень. Служба головного енергетика, для якісного обслуговування електротехнічного обладнання, має відповідну ремонтну базу, яка розміщена на центральному відділенні. Тобто, для проведення капітальних ремонтів обладнання необхідно транспортувати до ремонтної бази.

При визначенні оптимальних маршрутів виникають складності при плануванні холостих поїздок, на які впливають тривалість рейсів до місць завантаження, наявність спеціального транспорту, вантажність автомобіля, ін. Для оптимізації перевезень електротехнічного обладнання на птахофабриці, вирішуємо транспорту задачу лінійного програмування на основі схеми оптимальних маршрутів серед 4-х зон, рис. 1, де  $A_1$  – ремонтна база,  $A_2$  – гараж,  $B_1..B_4$  – місця розміщення зон, які розміщені на певній відстані [4].

Система обмежень по кількості холостого пробігу –  $B_j$  ( $j=1,..4$ ):

$$\begin{aligned}x_{11} + x_{21} &= B_1, & x_{12} + x_{22} &= B_2, \\x_{13} + x_{23} &= B_3, & x_{14} + x_{24} &= B_4.\end{aligned}$$

Система обмеження по кількості завантажених пробігів –  $A_1$  і  $A_2$ :

$$\begin{aligned}x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} &= A_1, \\x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} &= A_2.\end{aligned}$$

Тоді, загальний холостий пробіг повинен бути мінімальним, що відповідає цільовій функції:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m l_{ij} x_{ij} \sim \min$$

На основі вирішення, заповнених реальними даними матриць, побудовано схему чотирьох оптимальних маршрутів транспортування електрообладнання в умовах птахофабрики. Крім того, визначено оптимальні значення «холостих» пробігів і розраховано коефіцієнт використання пробігу при звичайній організації плану перевезень, виходячи з наявного або виділеного автотранспорту на кожний маршрут, а також і невиробничий (холостий пробіг).

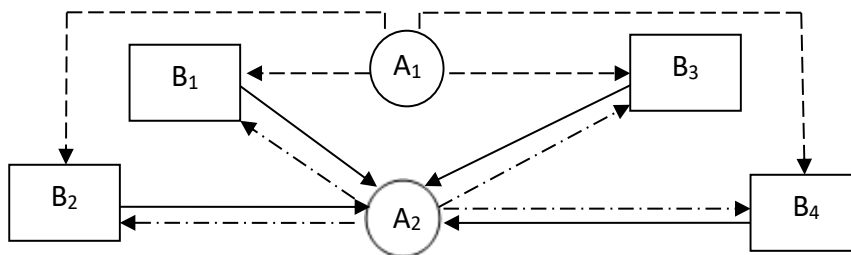


Рисунок 1 – Схема виконання 4-х оптимальних маршрутів:  
 ← пробіг з вантажем; ← - - - холостий пробіг; ← ····· нульовий пробіг

**Висновок.** При реалізації розробленого алгоритму формування схеми оптимальних транспортних маршрутів, невиробничий пробіг транспорту скоротиться майже на 8,5 %, при цьому коефіцієнт використання пробігу збільшиться на 4,0 %, що дозволить отримати додатковий економічний ефект тільки завдяки оптимізації схеми руху транспорту при перевезенні електрообладнання для проведення його технічного обслуговування та ремонту у спеціалізованій ремонтній майстерні.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Яцун М. А. Експлуатація та діагностування електричних машин і апаратів / М. А. Яцун, А. М. Яцун. Львів: Львівська політехніка, 2010. 228 с.
2. Thomson W. / Current signature analysis for condition of cage induction motors / W. Thomson, I. Culben // IEEE, 2017. 427 p.
3. Стратегія розвитку сільськогосподарського виробництва в Україні на період до 2025 року / За ред. акад. НААН Я. М. Гадзала, М. І. Башенка, В. М. Жука, Ю. О. Лупенка. Київ: Аграр. наука, 2016. 216 с.
4. Алдошин Н. В. Оптимізація маршрутов при сборке техники на утилизацию // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. №6. С.25-28.

## РОЗРОБКА МОБІЛЬНОЇ ПІДМЕРЕЖІ НА БАЗІ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ANDROID З ФУНКЦІЯМИ КЕРУВАННЯ ДОСТУПОМ ПІДКЛЮЧЕНИХ ПРИСТРОЇВ

Харламов Д. Ю., магістр, e-mail: [deniskharlamov28@gmail.com](mailto:deniskharlamov28@gmail.com)

Вадурін К. О., аспірант, e-mail: [kir3337@gmail.com](mailto:kir3337@gmail.com)

Перекрест А. Л., д.т.н., проф., e-mail: [pksg13@gmail.com](mailto:pksg13@gmail.com)

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Актуальність дослідження.** Сучасний запит на Інтернет зростає щоденно, оскільки люди використовують Інтернет для різних повсякденних активностей, таких як участь у відеоконференціях на роботі, замовлення продуктів чи їжі тощо. Для забезпечення високошвидкісного Інтернету для цих активностей необхідно використовувати Wi-Fi.

Сьогодні доступ до Wi-Fi є безкоштовним у деяких областях і надається громадськості з високою швидкістю.

Однак навіть за таких умов, коли користувачі мають доступ до безкоштовного Wi-Fi, їм часто доводиться розподіляти Інтернет-з'єднання зі свого мобільного пристрою на інші пристрої, такі як планшети, ноутбуки і інші портативні пристрої. Втім, вбудовані засоби розподілу Інтернет-з'єднання на мобільних пристроях мають обмеження, які не завжди задовольняють потреби користувачів.

Для того, щоб зробити зі свого Android-смартфона або планшета точку доступу Wi-Fi, користувачам необхідно завантажити відповідний додаток для розподілу Wi-Fi на своєму Android-пристрої. У даній статті розглядаються деякі популярні безкоштовні додатки для розподілу Wi-Fi на пристроях Android.

**Мета досліджень.** Розробка комплексного рішення яка включатиме в себе не лише можливості підключення до мережі, але й ефективний контроль доступу. Покращення безпеки є однією з ключових функцій для забезпечення безпеки мережі та підключених пристроїв. Ефективне керування підключеними пристроями, метою якого є створення інструментів та механізмів керування, які включають в себе можливість встановлення прав доступу, обмеження або блокування певних пристроїв, а також моніторинг їх діяльності.

**Основні матеріали досліджень.** На ринку мобільних додатків існує велика кількість додатків, що дозволяють перетворювати мобільний телефон у точку доступу. Найпопулярніші серед них: PdaNet+, FoxFi, Wi-Fi Finder, Osmino: Share Wi-Fi Free, ClockworkMod Tether, Wi-Fi Map, Free Wi-Fi Hotspot Portable, Wi-Fi Automatic, Wi-Fi tether Router, Portable Wi-Fi Hotspot.

**PdaNet+:** Цей додаток дозволяє спільно використовувати Інтернет-з'єднання з ноутбуками або планшетами, не потребує рут-прав доступу і підтримує спільну роботу через USB та Bluetooth. Однак він може мати обмеження щодо доступу до деяких веб-сайтів та сповільнення швидкості передачі даних при підключенні кількох пристроїв.

**FoxFi:** Цей додаток швидко підключає ноутбуки, планшети та інші пристрої до Інтернету, а також підтримує Bluetooth та USB-підключення. Однак, після завершення безкоштовної пробної версії користувачам доведеться купувати платний доступ до додатку.

**Wi-Fi Finder:** Цей додаток підтримує роботу в автономному режимі, дозволяючи завантажувати інформацію про доступні точки доступу в місцях подорожей. Він також надає стабільне та безпечне Інтернет-з'єднання.

**Osmino: Share Wi-Fi Free:** Цей додаток дозволяє ділитися Інтернет-з'єднанням за допомогою ключа, що робить його більш безпечним, та має простий інтерфейс.

**ClockworkMod Tether:** Цей додаток дозволяє об'єднати декілька пристроїв для швидкого підключення. Однак він може не підтримувати всі Android-смартфони і може не працювати стабільно після оновлень.

Wi-Fi Map: Цей додаток має найбільшу глобальну спільноту точок доступу до Wi-Fi, яка надає користувачам можливість отримувати доступ до Інтернету у багатьох місцях по всьому світу.

Free Wi-Fi Hotspot Portable: Цей додаток надає високошвидкісний доступ до Інтернету і має простий інтерфейс, що робить його дуже доступним для користувачів, навіть без технічних навичок.

Wi-Fi Automatic: Цей додаток дозволяє автоматично підключати і відключати Wi-Fi і керувати ефективністю батареї.

Wi-Fi Tether Router: Цей додаток дозволяє зробити свій пристрій точкою доступу безкоштовно та підтримує підключення різних пристроїв через USB або Bluetooth.

Portable Wi-Fi Hotspot: Цей додаток надає швидкий доступ до Інтернету на ПК та має додаткові функції для захисту мережі та даних від несанкціонованого доступу.

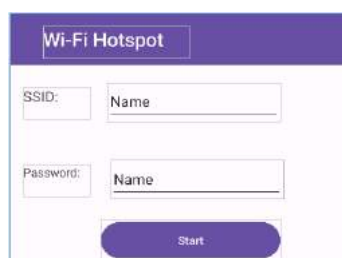


Рисунок 1 – Видгляд застосунку

Розроблений мобільний додаток призначений для створення мобільних точок доступу Wi-Fi на базі пристроїв Android, що дозволяє користувачам легко ділитися Інтернет-з'єднанням з іншими пристроями. Цей додаток забезпечує швидке підключення до Інтернету через різні методи, включаючи Bluetooth та USB, і дозволяє користувачам захищати свою мережу за допомогою паролів та інших засобів безпеки. Мобільний додаток Wi-Fi Hotspot спрощує процес створення точок доступу і надає зручний і ефективний інструмент для обміну Інтернет-з'єднанням з різними пристроями, забезпечуючи стабільний та безпечний доступ до Інтернету у різних сценаріях використання.

Розробку інформаційно-аналітичної системи для моніторингу та аналізу якості повітря побудовано на мові програмування R [8] з використанням Shiny [9] для створення інтерактивних веб-додатків. Цей додаток дозволяє користувачам легко отримувати доступ до даних, обробляти їх та візуалізувати у формі графіків, як зображено на рисунку 1, діagram, роблячи інформацію про якість повітря доступною та зрозумілою для всіх.

**Висновок.** Виходячи з проведених досліджень, актуальність і необхідність розвитку мобільних додатків на базі операційної системи Android стають невід'ємною частиною нашого цифрового середовища. Переглянуті матеріали підкреслили важливість створення ефективних і безпечних точок доступу Wi-Fi для спільного доступу до Інтернету з різними пристроями. Розроблений мобільний додаток Wi-Fi Hotspot може стати корисним інструментом для спрощення процесу роздачі інтернет-з'єднання, забезпечуючи стабільний і безпечний доступ до Інтернету в різних сценаріях використання. Враховуючи зростаючу потребу у швидкому та безпечному Інтернет-з'єднанні, подальший розвиток таких програм може сприяти підвищенню зручності та ефективності використання мобільних пристроїв у цифровому світі.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Hotspot apps for Android. URL: <https://www.javatpoint.com/hotspot-apps-for-android>.
2. Горошко О. І. Проблеми безпеки функціонування інтернету в Україні. Вісник Харківського національного університету внутрішніх справ. 2008. №42. С. 311-318. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKhnuvs\\_2008\\_42\\_51](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKhnuvs_2008_42_51).
3. Цирульник С. М., Роптанов В. І. Як долучитись до Internet of things. *Збірник праць 11 МНПК «Інтернет-освіта-наука 2018»*. м.Вінниця. ВНТУ. 2018. С. 80-82.
4. The Advantages & Disadvantages of Mobile Wi-Fi Hotspots. URL: <https://connect2local.com/1/102823/c/572937/the-advantages---disadvantages-of-mobile-wi-fi-hotspots> (дата звернення: 05.04.2023).
5. Mobile Hotspot: What Is It and How Does It Work?. URL: <https://www.tomsguide.com/us/what-is-a-mobile-hotspot.review-3126.html> (дата звернення: 07.04.2023).



## СЕКЦІЯ 4. БІОМЕДИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.3.013:616.12:004

### ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ОБРОБКИ МАГНІТОКАРДІОСИГНАЛІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДІАГНОСТИЧНОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ МАГНІТОКАРДІОГРАФІЧНИХ СИСТЕМ

Гарасимчук І. Д., к.т.н., доц., e-mail: [igorgarasymchuk@gmail.com](mailto:igorgarasymchuk@gmail.com)

Потапський П. В., к.т.н., доц., e-mail: [p.v.potap@meta.ua](mailto:p.v.potap@meta.ua)

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

**Актуальність дослідження** В процесі професійної діяльності люди піддаються постійному впливу фізичних і розумових навантажень, стресам, психоемоційним перенавантаженням, що негативно впливає на функціонування серця в цілому. Такий вплив призводить до розвитку різного роду патологічних станів у серці людини. Своєчасний контроль за змінами у стані серця вирішуються на сьогодні в медицині із використанням різних медичних методів діагностики у поєднанні із медичними діагностичними системами.

Застосування неінвазивних та безконтактних методик діагностики серця людини, зокрема магнітокардіографії, забезпечує процедуру визначення рівня змін у функціонуванні серця людини за магнітними полями серця (магнітокардіосигналами (МК-сигналами)). Для реєстрації МК-сигналів застосовують комп'ютерні магнітокардіографічні системи, які оснащені відповідним технічним та програмним забезпеченням (програмним засобом).

Процес розробки нових методів та програмних засобів обробки магнітокардіосигналів як складових одиниць комп'ютерних магнітокардіографічних систем на основі адекватної математичної моделі при виявленні змін у роботі серця у вигляді нової діагностичної інформації у вигляді флуктаційних показників є актуальним науковим завданням.

**Метою роботи** є дослідження методу та програмного засобу та обробки магнітокардіосигналів для підвищення діагностичності комп'ютерних магнітокардіографічних систем.

#### Основні матеріали досліджень.

При врахуванні специфічності процесу вейвлет обробки досліджено блок-схему програмного засобу комп'ютерних магнітокардіографічних систем, який забезпечить процес автоматизації обробки досліджуваних МК-сигналів (рис.1).

Апріорно блок-схема повинна передбачати такі функціональні можливості щодо обробки: процес завантаження даних досліджуваних МК-сигналів; процес Вейвлет обробки

досліджуваних МК-сигналів в базисі Хаара; динамічна зміна інтервалі часового простору МК-сигналу при обробці; зміна показника частоти дискретизації досліджуваних МК-сигналів; процес візуалізації даних досліджуваних МК-сигналів та результатів його вейвлет обробки.

Розроблену структуру блок-схеми обробки досліджуваних МК-сигналів відображено на рис.1 в якій здійснюється процес опитування команд на виконання активації одного з елементів управління користувача, які активують ту чи іншу з вище перелічених операцій обробки.

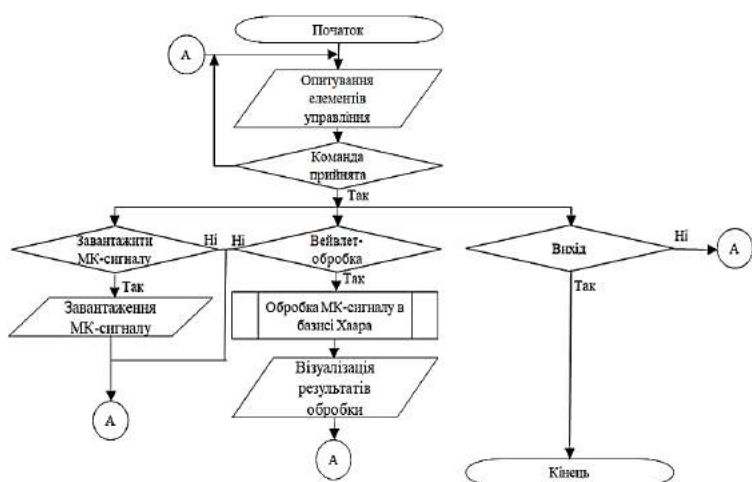


Рисунок 1 - Блок-схема програмного засобу комп'ютерної магнітокардіографічної системи

Після вибору одного з елементів управління користувача відбувається процедура виконання підпрограми програмного засобу комп'ютерної магнітокардіографічної системи у відповідності до програмного коду.

Базуючись блок-схемою на рис.1 здійснено процес розробки програмного засобу відповідних підпрограм для автоматизації процесу завантаження даних, візуалізації даних та вейвлет обробки МК-сигналів в обраному базисі Хаара.

Для розробки коду програмного засобу обробки досліджуваних МК-сигналів використано середовище MATLAB, яке в своєму складі має потужний арсенал щодо розробки такого виду кодів. Використовуючи програмний код розробленого програмного засобу здійснено процес обробки досліджуваних МК-сигналів серця різних станів.

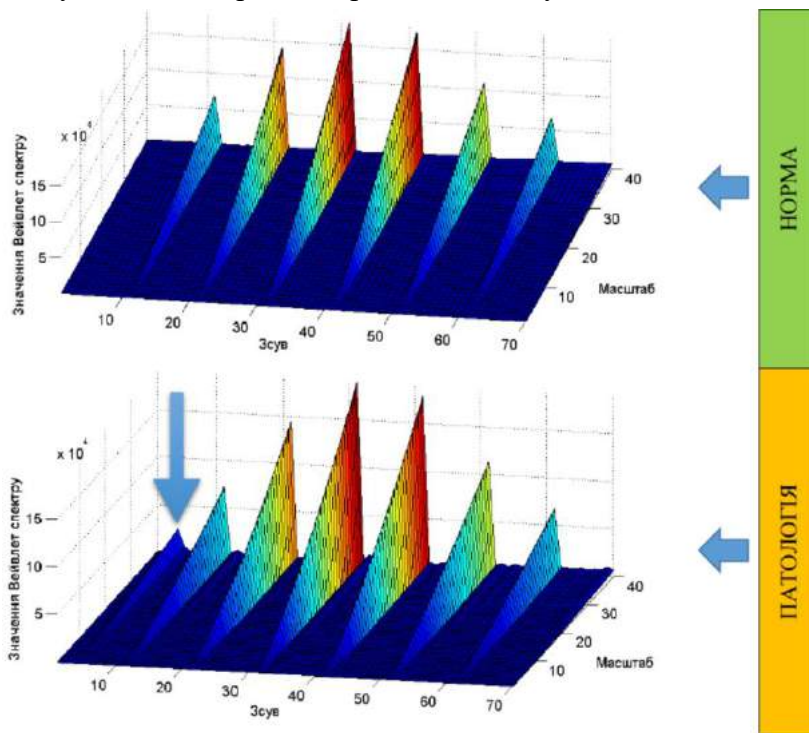


Рисунок 2 - Результати обробки МК-сигналів в базисі Хаара

Результати обробки досліджуваних МК-сигналів в базисі Хаара відображено на рис.2.

За результатом обробки МК-сигналів встановлено, що піки спектрів для різних станів серця є локалізованими на одних і тих же зонах, тобто характеризують певною інваріантністю та можуть слугувати діагностичні ознаки щодо визначення змін у роботі серця людини. Також результати обробок МК-сигналів в базисі Хаара чітко відображають на спектрограмі зміни інтенсивностей

спектральних компонент вейвлетів в стані патології по відношенню до норми із

збереженням незмінної (інваріантної) структури вейвлет спектрів. Зміна проявляється у вигляді появи нової компоненти зліва, що вказує (індикує) на наявність прояву патологічного стану у серці людини.

**Висновок.** В роботі побудовано блок-схему програмного засобу вейвлет обробки магнітокардіосигналів. Використовуючи платформу MATLAB розроблено програмний код засобу вейвлет обробки досліджуваних магнітокардіосигналів в базисі Хаара, який забезпечив отримання діагностичних ознак для оцінювання стану серця людини у виді спектрів вейвлет та їх усереднень. Отримані діагностичні ознаки кількісно відображають часові флуктації в структурі магнітокардіосигналу при різних значеннях масштабу часу, що є важливим для процесу виявлення варіаційних процесів у роботі серця людини.

Реалізований програмний засіб має практичне застосування як складової компоненти комп'ютерних магнітокардіографічних систем при автоматизованій обробці МК-сигналів для діагностування різних станів серця людини.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Юлевич О. І. Біотехнологія : навчальний посібник / О. І. Юлевич, С. І. Ковтун, М. І. Гиль; за ред. М. І. Гиль. Миколаїв : МДАУ, 2012. 476 с.
2. Жарінов О. Й., Куць В. О., Верещнікова Г. П., Серова О. Д. Практикум з електрокардіографії. Львів: Видавництво МС, 2014. 268 с.
3. Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського. URL: [www.nbuv.gov.ua](http://www.nbuv.gov.ua).

ДОСТОВІРНІСТЬ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕТОДІВ МАМОГРАФІЇ

Гузенко В.В.<sup>1</sup>, к.т.н., доц., e-mail: [hnaghv@gmail.com](mailto:hnaghv@gmail.com)

Пахомов В.С.<sup>2</sup>, к.м.н., онколог, e-mail: [parhom\\_v89@ukr.net](mailto:parhom_v89@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет<sup>1</sup>

Інститут медичної радіології та онкології ім. С.П. Григор'єва<sup>2</sup>

**Актуальність дослідження.** Згідно зі статистичними даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), щорічно, у всьому світі, діагностується понад мільйон нових випадків розвитку злоякісних пухлин молочної залози [1].

Смертність від цієї патології перевищує 50 % всіх хворих. Аналіз недоліків та переваг сучасної мамографії в порівнянні з іншими методами (ультразвуковими, температурними) скрінінгу молочної залози спираючись на дослідження показників мінімальної роздільної здатності, часу досліджень, можливої шкоди здоров'ю пацієнток, економічної ефективності та доцільності, що об'єднані в узагальнений коефіцієнт точності та достовірності досліджень є актуальним завданням [2].

**Мета досліджень.** Метою наукової роботи є проведення оцінки для основних чотирьох методів мамографії - ексцизійна біопсія, ультразвукова діагностика, іонізуючі дослідження та термодіагностика.

**Основні матеріали досліджень.** Найбільш поширені методи скрінінгу молочної залози – ультразвукова діагностика, іонізуючі (рентгенівські) методи досліджень та термодіагностика. Здійснення заходів, спрямованих на більш раннє виявлення передпухлинних захворювань і раку молочної залози, є пріоритетними ще й тому, що лікування «локалізованих» форм раку сприяє стійкому багаторічному виживанню. Для оцінки достовірності дослідження введено групу значимих коефіцієнтів:

*K<sub>d</sub>* – узагальнений коефіцієнт достовірності;

*K<sub>e</sub>* - коефіцієнт економічної ефективності;

*K<sub>t</sub>* - коефіцієнт часових затрат;

*K<sub>m</sub>* - узагальнений коефіцієнт точності, що включає в себе *P<sub>n</sub>*;

*P<sub>n</sub>* - просторову роздільну здатність;

*V<sub>я</sub>* – яскравість візуалізації;

*K<sub>ш</sub>* – коефіцієнт ризику нанесення шкоди здоров'ю.

Достовірність визначається з формули:

$$L_d = L_e + L_e + L_b - L_{ш} \quad (1)$$

Узагальнений коефіцієнт точності *K<sub>m</sub>* вираховується з рівняння:

$$K_T = P_n + V_Y \quad (2)$$

Діапазон значень всіх коефіцієнтів ( *K<sub>e</sub>*, *K<sub>t</sub>*, *K<sub>m</sub>*, *K<sub>ш</sub>* ) установлюємо від 0 до 1. Ексцизійна біопсія вважається «золотим стандартом» діагностики патології грудей. Проте, оскільки вона є інвазивною процедурою, яка несе певний потенціал загрози для здоров'я пацієнтки, а також може заподіяти психологічну травму, на практиці це останній діагностичний етап [3, 4].

Тому перед біопсією використовуються інші методи, менш інвазивні методики діагностики раку, які також мають свої ризики і обмеження [5]. На основі обчислень узагальнений коефіцієнт достовірності *K<sub>d</sub>* для ексцизійна біопсії буде:

$$K_{добр} = 0,7 + 0,1 + 0,9 - 0,9 = 0,8 \quad (3)$$

При іонізуючій мамографії використовується рентгенологічне дослідження, яке є потенційно небезпечним для здоров'я людини. Під час проведення дослідження через щільно зафіксовану молочну залозу поглинається доза випромінювання в межах 0,1-0,2 *Rad*. Ультразвукові дослідження молочних залоз – метод скрінінгу в основі якого лежить використання акустичних коливань з частотою (2-10) МГц. Проходячи крізь біологічну тканину вони відбиваються від структур з різною щільністю.

На основі обрахунків узагальнений коефіцієнт достовірності  $K_{дюз}$  для ультразвукових досліджень буде:

$$K_{дюз} = 0,6 + 0,7 + 0,7 - 0,2 = 1,8. \quad (4)$$

Спосіб комплексної діагностики та терапії захворювання молочної залози, включає комбіноване лікування з оцінкою індивідуальної чутливості до лікувальної та променевої терапії з визначенням розмірів пухлини до і після проведеного лікування і індивідуалізації плану лікування з врахуванням виявленої чутливості, а визначення розміру пухлини проводять ехографічним методом з врахуванням і оцінкою контурів та ехогенності пухлини і при зменшенні розміру, зміни контурів та підвищенні ехогенності враховувати, що пухлина чутлива до даного методу терапії при цьому діагностику з визначенням розмірів пухлини, чутливості, ехогенності та ефективності терапії проводять з заміром температур та їх градієнтів на поверхні молочної залози та в зоні пухлини.

Уточнюючу діагностику та контроль проводять у встановленій зоні пухлини безконтактним термографічним методом, шляхом заміру температур зони контура враження та приграничних меж.

**Висновок.** За допомогою запропонованої методики визначення достовірності методів мамографії встановлено, що найкращі результати дає іонізуюча мамографія.

Розроблені іновачії створюють можливість значно поліпшити результативність дослідження та терапії захворювань молочної залози для виявлення раку на більш ранніх стадіях.

Роль кожного методу діагностики молочних залоз, як показали дослідження, безумовно велика, але вона набувають більш вагомого значення, коли поєднуються з клінічними та лабораторними даними.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Скрінінг, профілактика та рання діагностика раку грудної залози. Смоланка І.І., Скляр С.Ю., Головка Т.С., Ганіч О.В./ Національний інститут раку, Київ. <https://www.clinicaloncology.com.ua/article/10319/skrining-profilaktika-ta-rannya-diagnostika-raku-grudnoi-zalozii>
2. Терещенко М.Ф., Олійник Є. В. Підвищення якості ехографічного зображення для ультразвукових сканерів/ Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Кременчук: КрНУ, 2014. Вип.3/ 2014 (86), С.53-58.
3. Линденбратен Л.Д., Королюк И.П. Медицинская радиология (основы лучевой диагностики и лучевой терапии): Учебник. — 2-е изд., перераб. и доп. Минск: Медицина, 2000. 67-72 с.: ил.
4. Радіонуклідна діагностика та променева терапія /за ред.А.П.Лазаря/. Вінниця: Нова книга, 2006. С.151-155 с.
5. Руководство по ультразвуковой диагностике / Под ред. П.Е. Пальмера Минск: издательство «Медицина», 2000. С.135-140.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ БІОТРОПНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ЛІКУВАННЯ ЕНДОМЕТРИТУ ВРХ

Думанський О. В., к.т.н., доц., e-mail: [duman.alexandr@gmail.com](mailto:duman.alexandr@gmail.com)

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

**Актуальність дослідження.** Як свідчить літературний аналіз [1], найнебезпечнішими мікроорганізмами ендометриту корів є *Actinomyces ruogenes* (променистий грибок). Ці бактерії виділяють ендотоксин, що викликає запалення слизової поверхні матки.

Для визначення кількісного та якісного складу патогенних мікроорганізмів були використані уніфіковані методики, затверджені Міністерством охорони здоров'я України [2].

**Мета досліджень:** виділення, ідентифікація *Actinomyces ruogenes* та проведення багатофакторного експерименту з пригнічення *Actinomyces ruogenes* електромагнітним випромінюванням міліметрового діапазону.

**Основні матеріали досліджень.** Матеріал для досліджень брався пастерівською піпеткою і засіявся на жовтково-сольовий агар і на агар з 3...5% вмістом крові у чашках Петрі. Усі посіви ставилися в термостат на добу при температурі 37<sup>0</sup>С. Протягом трьох днів із даного матеріалу отримували чисту культуру. Першого дня краплю досліджуваного матеріалу піпеткою наносили на поверхню агару в чашці Петрі. Потім шпателем втирали матеріал у поверхню середовища і тим самим шпателем проводили посів другої та третьої чашки. При такому посіві на першу чашку припадає багато матеріалу, на другу менше та на треті ще менше. Другого дня вивчали зростання мікробів на чашках. Із третьої чашки ізольовані колонії пересівали на скошений агар. Посіви ставили у термостат. На третій день вивчали характер зростання колоній на скошеному агарі і, переконавшись у тому, що культура чиста, почали багатофакторний експеримент. Для отримання залежності, що зв'яже кількість *Actinomyces ruogenes* з параметрами електромагнітного випромінювання надвисокочастотного діапазону при наявності адитивної перешкоди випадкового характеру, застосовується повнофакторне планування другого порядку. Значення чинників та його інтервали варіювання наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 - Значення чинників в експерименті

| Інтервал варіювання та рівень факторів | Частота, ГГц   | Щільність потоку потужності, мкВт/см <sup>2</sup> | Експозиція, с. |
|--|----------------|---|----------------|
|  | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub>                                    | X <sub>3</sub> |
| Нульовий рівень, x <sub>i</sub> = 0    | 29             | 47  | 70             |
| Інтервал варіювання, λ <sub>i</sub>    | 1              | 2   | 20             |
| Верхній рівень, x <sub>i</sub> = +1    | 30             | 49  | 90             |
| Нижній рівень, x <sub>i</sub> = -1     | 28             | 45  | 50             |

Для побудова плану другого порядку використовуються дані, наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Дані щодо побудови плану другого порядку

| Кількість факторів, K | Кількість точок ядра | Кількість зоряних точок, N <sub>a</sub> | Кількість нульових точок, N <sub>0</sub> | Зоряні точки, a | Кількість дослідів, N |
|-----------------------|----------------------|---|--|-----------------|-----------------------|
| 3                     | 8                    | 6                                       | 6  | 1,682           | 20                    |

З використанням стандартної методики побудови плану другого порядку складено матриці: планування експерименту; розрахунку коефіцієнтів регресії; визначення дисперсії адекватності та результатів обробки даних. Після проведення вимірювань та розрахунків

отримано рівняння регресії, пов'язане зі знищенням *Actinomyces ruogenes* електромагнітним випромінюванням міліметрового діапазону:

$$Y = 1200 - 520X_1 + 1440X_2 + 1480X_3 + 400X_1X_2 - 800X_1X_3 + 400X_2X_3 + 400X_1 + 800X_2 + 600X_3, \quad (1)$$

де  $Y$  - вихідний параметр (кількість *Actinomyces ruogenes*);

$X_1$  - частота електромагнітного випромінювання;

$X_2$  - Щільність потоку потужності;

$X_3$  - час опромінення *Actinomyces ruogenes*.

Перевірка значущості коефіцієнтів регресії проводилася за рівня значущості  $\alpha = 0,05$  за критерієм Стьюдента [3]. З урахуванням значущості коефіцієнтів, рівняння регресії для пригнічення *Actinomyces ruogenes* (променистий грибок) набуває вигляду (1). Ці бактерії виділяють ендотоксин, що викликає запалення слизової поверхні матки.

На підставі перевірки даного рівняння на адекватність за критерієм Фішера [3] зроблено висновок, що рівняння адекватно описує реальний процес, і, отже, дозволяє оцінити характер впливу кожного із трьох факторів на функції відгуку. Крім того, стало можливим практичне використання отриманої моделі для прогнозування значення вихідного сигналу в області варіювання параметрів.

Для знаходження оптимальних параметрів процесу вирішено систему рівнянь, отриманих прирівнюванням до нуля значень градієнтів компонентів, обчислених за виразом:

$$\frac{dY}{dX_1} = b_1 + 2b_n X_1 + \sum_{j=1}^n b_{1j} X_j \quad (2)$$

де  $X_1, X_j$  - кодовані значення факторів, за якими береться похідна та взаємодіє з ними, відповідно:

$b_1, b_n, b_{1j}$  - коефіцієнти рівняння регресії.

Для виразу (2) отримано таку систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Y}{\partial X_1} &= -520 + 400X_2 - 800X_3 + 800X_1 = 0; \\ \frac{\partial Y}{\partial X_2} &= 1440 + 400X_1 + 400X_3 + 1600X_2 = 0; \\ \frac{\partial Y}{\partial X_3} &= 1480 - 800X_1 + 400X_2 + 1200X_3 = 0; \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Рішення системи рівнянь (3) дає такі значення чинників оптимальної точці:  $X_1 = 1$ ;  $X_2 = -1,10$ ;  $X_3 = -0,2$ ; що відповідає таким значенням натуральних параметрів: частота електромагнітного поля  $30 \pm 0,1$  ГГц; щільність потоку потужності  $44,8 \pm 0,4$  мкВт/см<sup>2</sup>; час на *Actinomyces ruogenes*  $66 \pm 4$  с. Застосування електромагнітного поля з оптимальними параметрами дозволило повністю знищити *Actinomyces ruogenes* у лабораторних умовах.

**Висновок.** На підставі експериментальних досліджень встановлено, що для забезпечення надійності та ефективної роботи джерела електромагнітного випромінювання для лікування ендометриту корів необхідно передбачити такі технічні вимоги до джерела: вихідна частота генератора  $30 \pm 0,1$  ГГц; вихідна потужність генератора 150...180 мВт; діапазон перебудови частоти генератора 3%; пригнічення побічних гармонік вихідного сигналу не менше 45дБ; довготривала нестабільність частоти генератора за 1с;

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Практичне акушерство, гінекологія та біотехнологія відтворення тварин з основами андрології. К.: Мета, 2002. 319 с.: іл.
2. Лабораторная диагностика гнойно-воспалительных заболеваний, обусловленных аспорогенными, анаэробными микроорганизмами. Харьков: Ин-т микробиологии и иммунологии им. Мечникова, 1988. 20с.
3. Винарский М. С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях/ М.С. Винарский, М.В. Лурье. К.: Техника, 1975. 168с.

**ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗНАНЬ  
ТЕМПОРАЛЬНИМИ ПРЕЦЕДЕНТАМИ ПІД ЧАС ЛІКУВАННЯ ТВАРИН**

Дьоміна Т. О., аспірантка, e-mail: [t.dyomina241@gmail.com](mailto:t.dyomina241@gmail.com)  
Лисиченко М. Л. д.т.н., проф., e-mail: [lprlysychenko@ukr.net](mailto:lprlysychenko@ukr.net)  
Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Тваринництво в Україні має важливе значення для забезпечення продовольчої безпеки держави і значний експортний потенціал. Однак, фактичний стан галузі впродовж останніх 30 років не відповідає дійсним можливостям галузі та характеризується стійкою тенденцією до скорочення чисельності майже всіх видів сільськогосподарських тварин [1, 2].

Збільшення продуктивності в галузі залежить від багатьох причин і визначається складною взаємодією спадковості і умов зовнішнього середовища [3]. Так, спадковість визначає, а умови безпосередньо розвиток організму, причому, успішному відтворенню стада та утримання обумовлюють росту продуктивності можуть заважати захворювання тварин. Хворі тварини знижують показники продуктивності, а після одужання вони часто можуть взагалі втратити її або повністю, або частково і не повернутись до, раніше досягнутих показників. Для профілактики та ефективного лікування, прийняття діагностичних рішень, необхідно враховувати низку факторів: симптоми та синдроми захворювання, його нозологічні форми, етіології, патогенез, клінічні прояви з урахуванням індивідуальних особливостей хворої тварини, ін. Тримати їх в пам'яті і приймати безпомилкові та своєчасні рішення стає все складніше. Безперервно з'являються нові знання, а час прийняття ветеринаром відповідного рішення постійно скорочується. Допомогти вирішити вказані проблеми можливо завдяки використанню штучного інтелекту (ШІ), який дозволить оптимізувати систему та допомогти знайти ефективне рішення, задяки використанню алгоритмів та евристик. Можна застосувати міркування на основі конкретних випадків CBR (Case-based Reasoning) – метод ШІ, який фіксує нові знання, використовуючи минулий досвід.

**Мета досліджень** є підвищення ефективності прийняття рішень на основі методу CBR, коли сполука двох або декількох параметрів прецедентів мають зовсім інший сценарій ніж їх поодинока наявність.

**Основні матеріали досліджень.** Темпоральний прецедент прийняття рішень в загальному вигляді можна визначити як ситуацію  $S$ , до якої додається сценарій, рекомендації та прогнози експерта  $\Theta$  [4-6]. Ситуацію  $S$  можна подати у вигляді набору параметрів, які обов'язково повинні мати конкретні значення:

$$U = \langle S, \Theta \rangle = \langle V, T, \Psi, P, \phi, \Theta \rangle, \quad (1)$$

де  $S = \langle V, D, C, P, \alpha \rangle$  визначається як ситуація;  $V = \{V_i\}$ , – множина моментів часу,  $V_i \in \mathbb{R}, i = 1, 2, \dots, N$ ;  $T$  – область значень часових змінних ( $T \in \mathbb{Z}$ );  $\Psi$  – бінарні часові обмеження вигляду  $\Psi_{ij} = \{[a_1, b_1], \dots, [a_k, b_k]\}$ , де інтервали попарно не перетинаються;  $P = P^1, \dots, P^k$  – області допустимих значень параметрів;  $P^i = \{p_1, \dots, p_n\}$  – набір параметрів, які характеризували стан об'єкта управління в моменти часу  $\{V_1, \dots, V_n\}$  відповідно;  $n$  – кількість параметрів прецеденту;  $\phi: V \rightarrow P$  – функція, що зіставляє кожній часовій змінній (події) набір параметрів, що характеризують стан об'єкта або процесу в даний момент часу;  $\Theta$  – сценарій та рекомендації експерта.

Кожне бінарне обмеження  $\Psi_{ij}$  визначає для часових змінних  $V_i$  і  $V_j$  дозволена дистанцію між відповідними моментами часу та інтерпретуються як диз'юнктивне обмеження:

$$a_1 \leq V_j - V_i \leq b_1 \vee \dots \vee a_k \leq V_j - V_i \leq b_k.$$

Глибина аналізу проблемної ситуації визначається проміжком часу, який розбивається на  $N$  рівних відрізків (тактів). В базі темпоральних прецедентів кожен прецедент представляється в параметризованому вигляді зі збереженими значеннями параметрів

ситуації в кожний момент часу  $t_i$ , де  $i = 1, 2, \dots, N$ . Кожному параметру відповідно його важності експерт призначає вагу  $W = \{w_1, \dots, w_n\}$ .

Ефективність міркувань на основі прецедентів визначається коректністю вилучення прецедентів з множини темпоральних прецедентів в множину вилучених прецедентів. Потрібно визначити ступень подібності поточної ситуації до прецедентів з бази знань. За інтегральними оцінками в точках  $i$  обирається найбільш ймовірний прецедент або група прецедентів, що відповідають пошуковій умові. Для кожного прецеденту з бази обчислюється паліатив подібності (відстань Хемінга) [4], яка визначається за правилом: при збіжності всіх параметрів в описі прецеденту і поточної ситуації ступінь подібності дорівнюватиме 1, а кожен параметр, що збігся, дає внесок рівний  $1/n$ .

Для побудови темпорального прецеденту при лікуванні тварин використаємо стиснену історію зміни параметрів об'єкта з серії подій:

$$\sigma = \sigma_1, \dots, \sigma_r,$$

де  $\sigma_i = (t_i, P_i)$ ,  $t_i \in \mathbb{R}$  – час спостереження події;  $P_i = (p_1, \dots, p_k)$  – параметричний опис об'єкта в момент часу  $t_i$ ;  $P^{\tau_i} = (p_1^{\tau_i}, \dots, p_m^{\tau_i})$  – параметричний опис об'єкта на  $\tau_i$ -му такті  $i = 1, \dots, \rho$ ,  $\rho$  – число записаних тактів.

Стиснений опис ситуації  $S = \{\sigma_i\}$  в умовах неоднозначності поточної ситуації має вигляд

$$S = \sigma \cup \{(i, P^{\tau_i}), i = 1, \dots, \rho - 1, \quad (2)$$

де  $\sigma_i = (t_i, P^i)$  – подія;  $t_i \in \mathbb{R}$  – час спостереження події;  $P^i = \{p_1, \dots, p_m\}$  – параметричний опис об'єкта в момент часу  $t_i$ .

До переваг наведених міркувань на основі прецедентів (1), (2) можна віднести:

- можливість безпосередньо використовувати досвід, накопичений системою, без інтенсивного залучення експерта;
- можливість скорочення часу пошуку рішення за рахунок використання вже наявного рішення для такого завдання;
- можливість виключення повторного отримання помилкового рішення;
- відсутність необхідності поглибленого вивчення та використання всіх наявних знань з предметної галузі, оскільки можна обмежитися врахуванням лише суттєвих особливостей лікування тварин;
- можливе застосування евристиків, що підвищують ефективність процесу пошуку рішення.

**Висновок.** Розглянутий метод представлення знань темпоральними прецедентами (1), (2) базується не тільки на уявленні про поточну ситуацію, але й враховує попередні характеристики об'єкта управління. Для реалізації механізму виведення на прецедентах була використана якісна точкова часова логіка та метрична часова логіка, що мають відомі алгоритми реалізації поліміальної складності. Інтеграція часових знань з нечітким представленням знань про стан об'єкта управління дозволяє отримати гнучкі моделі, які легко адаптуються до складних умов. Результати роботи можуть бути використані при розробці нових технологічних рішень та програмних засобів при лікуванні тварин зокрема у молочному скотарстві, де первісна інформація є неповною.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тваринництво в Україні: які проблеми та перспективи очікують в майбутньому. URL: <https://pigua.info/uk/post/news-of-ukraine-and-world/tvarinnictvo-v-ukraini-aki-problemi-ta-perspektivi-ocikuut-v-majbutnomu>
2. Оцінка технологічно-селекційних аспектів виробництва продукції молочного скотарства в умовах ФГ «Мілка-Гуничі» Овруцького району Житомирської області. Житомир, 2021. URL: [https://www.mnau.edu.ua/files/konkursy/kon-tvppt/roboty-2021/tvirobnictvapt/10\\_molochne\\_skotarstvo\\_.pdf](https://www.mnau.edu.ua/files/konkursy/kon-tvppt/roboty-2021/tvirobnictvapt/10_molochne_skotarstvo_.pdf)
3. Watson I. D. and Marir F. Case-based reasoning: A review. The Knowledge Engineering Review, 1994, No 4(9), pp. 355-381. URL: <https://doi.org/10.1017/S0269888900007098>.
4. Haitao Cheng, Zongmin Ma and Peng Li A fuzzy spatial description logic for the semantic web, Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 2020, No. 13(3). URL: <https://doi.org/10.1007/s12652-020-01864-9>.



## ДИНАМІКА КАВІТАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ ПІД ЧАС ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРВИННОЇ ОБРОБКИ ВОВНИ

Козак О. В., к.т.н., доц., e-mail: [oceanalex@gmail.com](mailto:oceanalex@gmail.com)  
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

**Актуальність дослідження.** Аналіз роботи текстильної промисловості за останні роки дозволяє зробити висновок про те, що на Україні продовжується зниження обсягів вовни. Однією з причин зниження виробництва вовни є те, що технологічний і технічний рівень устаткування, встановлений на фабриках первинної обробки вовни не відповідає сучасним вимогам, а машинобудування України для цієї мети машин і устаткування не випускає [1, 2]. Тому дослідження даного процесу є актуальним.

**Мета досліджень** являється дослідження кавітаційного процесу з використанням диференціального рівняння Нолтинга-Непайроса.

**Основні матеріали досліджень.** Слід зазначити, що головними факторами, що прискорюють процес ПОВ у звуковому полі, є кавітація й акустичні хвилі, що виникають як в обсязі рідини, так і на границі з вовною, але вплив кожного з таких факторів на процес мийки вовни вивчений досить слабо.

Видалення жирових забруднень може відбуватися не тільки внаслідок ерозії під дією мікроударних навантажень, що виникають при захопленні кавітаційних пухирців, але й у результаті пульсуючих пухирців, що стабільно існують у звуковому полі протягом тривалого (стосовно періоду коливань) часу.

Основний вираз про гідродинаміку кавітаційного процесу може бути описано диференціальним рівнянням Нолтинга-Непайроса.

$$R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{4 \cdot \eta}{\rho} \cdot \frac{dR}{dt} \cdot \frac{1}{R} + \frac{2\sigma}{\rho R} - \frac{1}{\rho} \left( P_0 - P_H + \frac{2\sigma}{R_0} \right) \cdot \frac{R_0^{3\gamma}}{R^{3\gamma}} = - \frac{1}{\rho} [P_0 + P_a \sin \omega t - P_H] \quad (1)$$

Для спрощення рівняння (1) будемо вважати, що на рідину діє не синусоїдальна акустична хвиля  $P_a \sin \omega t$ , а прямокутні імпульси розтягання і стиску з амплітудою  $\pm P_a$  і тривалістю  $\tau = \frac{T}{2}$ .

Тоді замість рівнянь (1) будемо мати:

$$\rho \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \rho \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{2\sigma}{R} - \left( P_0 - P_H^+ + \frac{2\sigma}{R_0} \right) \frac{R_0^{3\gamma}}{R^{3\gamma}} + 4\eta \frac{dR}{dt} \cdot \frac{1}{R} = (\pm P_a - P_0 + P_H^+) \quad (2)$$

(де знак плюс відповідає фазі розтягання, а знак мінус – стиску порожнини). Розглянемо далі питання про поріг ультразвукової кавітації і його залежності від частоти. Для випадку парової кавітації замість (2) можна записати [2].

$$\rho \left( R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 \right) + \frac{2\sigma}{R} + 4\eta \frac{dR}{dt} \cdot \frac{1}{R} = Z_0 \quad (3)$$

Розглянемо частотну залежність порога парової кавітації, що фіксується візуально або за рівнем акустичних шумів. Звернемося до рівняння (3) і оцінимо порядок величини кожного з членів стоящих у лівій частині. Інерційний член рівняння (3) має порядок

величини  $\rho \frac{\bar{R}^2}{\tau^2}$ , член  $4\eta \frac{dR}{dt} \cdot \frac{1}{R}$ , що враховує в'язкість – порядок  $\frac{\eta}{\tau}$ , де  $\bar{R}$  - характерний розмір кавітаційної порожнини з якої починається кавітація,  $\tau$  - є тривалість прямокутного імпульсу розтягання.

Вибір  $\bar{R}$  визначається методикою виміру порога кавітації. Нехай початком кавітації вважається зростання зародкових ядер до розміру порядку  $5 \cdot 10^{-2} \text{ см}$  за напівперіод розтягання [3].

З порівняння порядків величин інерційного і грузлого членів можна визначити  $\tau_{кр}$ , тобто тривалість імпульсу розтягання, при якому обидва члени мають один порядок величини.

$$\tau_{кр} = \frac{\rho \bar{R}^2}{\eta}, \text{ що відповідає частоті } f_{кр} = \frac{\eta}{2\rho \bar{R}^2} \quad (4)$$

Для вовни з водним мийним розчином критична частота залежить від модуля ванни (M). На рисунку приведена залежність критичної частоти для кавітаційного порогу від кількості вовни завантажується у ванну для її первинної обробки.

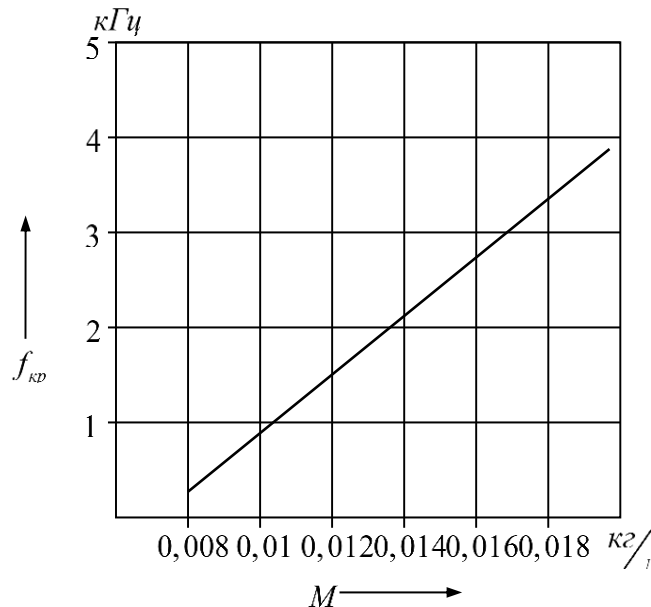


Рисунок 1 – Частотна залежність порога кавітації від модуля ванни.

**Висновки.** Сучасний розвиток цивілізації, особливо з точки зору екології, вимагає розробки нових технологій та обладнання для первинної обробки вовни (ПОВ) на принципово нових фізичних принципах. В основі нових фізичних принципів можуть бути використані пружні коливання (звукової та ультразвукової частоти) та електромагнітні поля.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вівчарство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник.-Київ: аграрна наука, 1998. Вип.30. 182с.
2. Bateup В. О. Clean Green Wool // Conf. Top – Tech 96. Australia.-1996.-p 93.-95.
3. Assessment of the Condition of the Project Environment for the Implementation of Technologically Integrated Projects of the “European Green Deal” Using Maize Waste Anatoliy Tryhuba, Taras Hutsol, Inna Tryhuba, Krzysztof Mudryk, Valentyna Kukharets, Szymon Głowacki, Larysa Dibrova, Oleksandr Kozak and Krystyna Pavlenko-Didur. *Energies* 2022, 15(21), 8220; doi:10.3390/en15218220 <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/21/8220#>

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ОДНОРІДНОСТІ РОЗПОДІЛУ ЩІЛЬНОСТІ ПОТУЖНОСТІ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ВИХОДІ КОРОТКИХ ВІДРІЗКІВ БАГАТОМОДОВИХ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН

Комарова О. С.<sup>1,2</sup>, інженер-технолог, аспірант, e-mail: [komarova.ollha@gmail.com](mailto:komarova.ollha@gmail.com)

Павлов С. В.<sup>3</sup>, д.т.н., проф., e-mail: [psv@vntu.edu.ua](mailto:psv@vntu.edu.ua)

Петрушко Ю.А.<sup>1</sup>, інженер-електронік, e-mail: [info@fotonikaplus.com.ua](mailto:info@fotonikaplus.com.ua)

Петраковський О.<sup>1</sup>, інженер-електронік, e-mail: [info@fotonikaplus.com.ua](mailto:info@fotonikaplus.com.ua)

ПП «Фотоніка Плюс»<sup>1</sup>, м. Черкаси, Україна

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»<sup>2</sup>, м. Київ, Україна

Вінницький національний технічний університет<sup>3</sup>, м. Вінниця, Україна

**Актуальність дослідження.** З точки зору лазерної дії на біологічну тканину при проведенні будь-яких маніпуляцій найважливішою задачею є забезпечення однакових питомих енергетичних параметрів впливу в межах всього об'єму, який обробляється (патологічної зони). Для доставки оптичного випромінювання до патологічної зони використовується волоконно-оптичний світловодний інструментарій (світловоди) [1].

У вихідних оптичних каскадах сучасної лазерної апаратури і периферійних світловодах, які підключаються до них, насамперед, використовуються оптичні волокна циліндричної форми з округлим поперечним перерізом оптичного потоку на виході [2]. При нормальному розташуванні оптичного волокна до поверхні біологічної тканини, яка опромінюється, на останній формується пучок у вигляді кола, діаметр якого пропорційний відстані між вихідним торцем волокна і поверхнею [3]. В ідеальному випадку потік лазерного випромінювання (ЛВ) на виході світловода має бути максимально однорідним.

Особливий інтерес представляє забезпечення однорідності розподілу щільності потужності ЛВ на виході коротких відрізків оптичних волокон

**Мета роботи.** Дослідити та провести оцінку рівномірності розподілу щільності потужності потоку ЛВ на виході коротких відрізків багатомодових оптичних волокон при різному конструктивному виканні джерел лазерного випромінювання для подальшого врахування особливостей цих розподілів при впливі на біологічну тканину.

**Матеріали та методи.** У роботі було досліджено оптичні потоки згенеровані дво- і трьохемітерним джерелами лазерного випромінювання на виході коротких багатомодових оптичних волокон різної довжини для подальшого врахування особливостей цих розподілів при впливі на біологічну тканину. Для проведення експериментів використовувалися оригінальні стабілізовані джерела оптичного випромінювання виробництва ПП "Фотоніка Плюс" (Україна). Стабілізоване джерело оптичного випромінювання № 1 зібрано на 2-х лазерних діодах 6 Вт АВ6278/АВ6279. Довжина хвилі лазерного випромінювання 1064 нм, розмір емітера лазерного діода - 100x1 мкм. Вихідний оптичний каскад виконаний на сферичній оптиці. Потужність на виході стабілізованого джерела випромінювання 10 Вт.

Стабілізоване джерело оптичного випромінювання № 2 зібрано на 3-х лазерних діодах марки Inpolume 6 Вт LD-1064-BA-6W. Довжина хвилі лазерного випромінювання 1064 нм, розмір емітера лазерного діода - 90x1 мкм, розкрив діаграми спрямованості випромінювання - 8° по повільній осі, 33° по швидкій осі. Вихідний оптичний каскад виконаний на сферичній оптиці. Потужність на виході стабілізованого джерела випромінювання 15 Вт.

Для джерел оптичного випромінювання №1 і № 2 нестабільність вихідної потужності на часовому інтервалі, достатньому для проведення вимірювань, у межах допусків результатів вимірювань вимірювача OPHIR (NOVA II DISPLAY RO5H та термоелектричний датчик 3A-P-V1 RO5H).

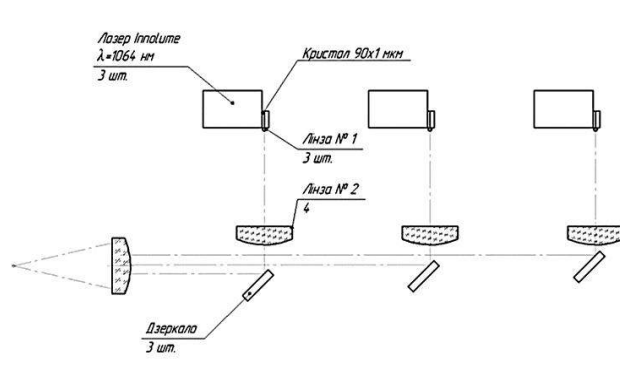


Рисунок 1 – Схему ходу лазерних променів трьохмітерного джерела оптичного випромінювання

**Результати та обговорення.** В результаті проведених експериментальних вимірювань та обробки отриманих даних було побудовано графіки розподілу щільності потужності ЛВ вздовж діаметру світлової (рис. 2).

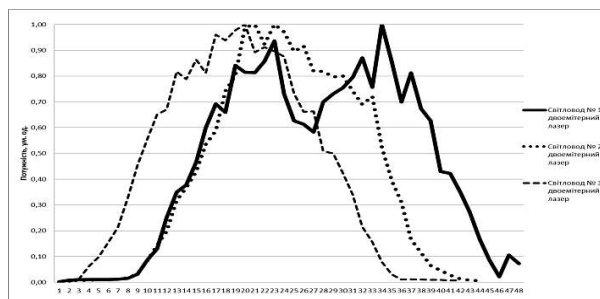


Рисунок 2 – Приклад графіку розподілу щільності потужності ЛВ вздовж діаметру світлової плями згенерованого двомертерним джерелом ЛВ на виході світловодів

**Висновки.** Отримані на етапі фізичного моделювання експериментальні результати показують, що при використанні коротких відрізків багатомодових циліндричних світловодів у вихідних каскадах лазерної медичної апаратури на біологічних поверхнях формуються оптичні плями з нестабільним і нерівномірним розподілом потужності оптичного випромінювання. Як мінімум, цей факт необхідно враховувати при розрахунку і виборі величини потужності лазерного випромінювання з метою забезпечення очікуваного відгуку організму в межах всієї освіченої площі.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Комарова, О. С., Холін, В. В., Терещенко, М. Ф., Павлов, С. В. та ін. (2022) «Волоконно-оптичний малоінвазивний дифузний розсіювач на оптичному волокні для внутрішньотканинного лазерного впливу», Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології, 41(1), с. 39–46. [doi: 10.31649/1681-7893-2021-41-1-39-46](https://doi.org/10.31649/1681-7893-2021-41-1-39-46).

2. Комарова, О. С., Холін, В. В., Терещенко, М. Ф., Павлов, С. В., Розуменко, В. Д., Посохов, М. Ф., Івасенко, В. І. і Лапіна, С. М. (2023) «Експериментальне оцінювання однорідності вихідних потоків оптичного випромінювання прямокутної форми при різних варіантах виконання вихідних ділянок світловодних насадок до медичної лазерної апаратури», Вісник Київського політехнічного інституту. Серія Приладобудування, (65(1), с. 123–127. [doi: 10.20535/1970.65\(1\).2023.283458](https://doi.org/10.20535/1970.65(1).2023.283458).

3. Войцехович, В. С., Карпушева, А. Г., Качалова, Н. М., Петрушко, Ю. А., Терещенко, Н. Ф. і Холин, В. В. (2020) «О равномерности распределения плотности мощности лазерного излучения на выходе оптических волокон», Актуальні питання застосування лазерів в медицині – 2020 : Матеріали науково-практ. конф., м. Черкаси, 30-31 жовтня 2020 р. Черкаси, 2021. С. 26–29.].

## РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОТОТИПУ СЕРВЕРУ БІОМЕТРИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Коростельов А. С., магістр, e-mail: [xom9k123@gmail.com](mailto:xom9k123@gmail.com)Вадурін К. О., аспірант, e-mail: [kir3337@gmail.com](mailto:kir3337@gmail.com)Гученко М. І., д.т.н., проф., e-mail: [mykolaguchenko@gmail.com](mailto:mykolaguchenko@gmail.com)

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Актуальність дослідження.** У кабінах літаків і гвинтокрилів, а також у відповідних симуляторах, існують багато приладів для відстеження різних параметрів польоту та стану літальних апаратів або їх моделей. Проте, відсутні ефективні засоби для діагностики концентрації та біологічних показників людей-операторів, як це має місце в інших системах, де рішення приймає людина-оператор. Вивчення поточних показників операторів дозволить надавати їм правильний біологічний зворотний зв'язок під час навчальних сеансів і контролювати їх стан та запобігати нещасним випадкам, пов'язаним з людським фактором, під час реальних польотів та інших процесів. Тому актуальним завданням є відстеження стану людей-операторів в реальному часі. Для ефективного збору, початкової обробки, структурування та збереження біометричних даних операторів, розроблено структуру спеціалізованої інформаційної системи, яка враховує різні сценарії використання, складність біометричного комплексу і задовольнятиме потреби як звичайного користувача, так і вимоги дослідника [1].

**Мета досліджень.** Метою даного етапу досліджень є реалізація прототипу центрального серверу біометричної інформаційної системи за восьмим сценарієм передачі даних (напряму до центрального сервера), що дозволить зібрати первинний датасет з біометричного бездротового наручного датчика.

**Основні матеріали досліджень.** У попередніх дослідженнях розроблено структуру інформаційного обміну у схемі наручного бездротового датчика біометричного комплексу [2] та спроектованою за нею електричну принципово схему [3], за якою побудовано базовий прототип.

У даній роботі прототип пристрою запрограмовано тестовою програмою, що постійно надсилає випадкові значення на сервер для запису у базу даних у форматі JSON.

Тестова програма пристрою реалізована у Arduino IDE та працює за алгоритмом:

1. Включення бібліотек та налаштувань: ESP32WiFi, ESP32HTTPClient та TimeLib; вказівка інформації про Wi-Fi мережу (SSID та пароль); вказівка адреси сервера, до якого відправляються дані (serverAddress) та сервера, який повертає дату та час (dateServer).

2. Оголошення змінних:

- jsonData – рядок, який буде містити JSON-дані для відправки на сервер;
- currentDateTimeVar – рядок для збереження отриманої дати та часу з сервера;
- wifiClient – об'єкт клієнта Wi-Fi.

3. Функція getTimeFromServer(): 1) створюється об'єкт HTTP-клієнта (http); 2) виконує HTTP GET-запит на сервер для отримання дати та часу (dateServer); 3) перевіряється відповідь сервера та отримується дата та час; 4) результат зберігається в currentDateTimeVar.

4. Функція setup(): 1) ініціалізується з'єднання з Wi-Fi мережею; 2) викликається функція randomSeed(analogRead(0)) для ініціалізації генератора випадкових чисел.

5. Головний цикл loop(): 1) викликається функція sendDataToServer() для відправлення даних на сервер; 2) Затримка на 5 секунд для періодичного відправлення даних.

6. Функція sendDataToServer(): 1) викликається функція getTimeFromServer() для отримання поточної дати та часу; 2) створюється об'єкт HTTP-клієнта (http) для відправлення даних на сервер;

- 3) встановлюються заголовки HTTP-запиту для вказівки формату даних (JSON); 4) створюється рядок jsonData, який містить JSON-дані для відправки, включаючи інформацію

про `currentDateTimeVar`; 5) відправляється POST-запит на сервер із JSON-даними; 6) результат HTTP-запиту виводиться у консоль; 7) завершується HTTP-з'єднання.

При цьому алгоритм роботи спроектованого сервера наступний:

1. Встановлення необхідних бібліотек:

– у кодї використовуються бібліотеки `Express`, `bodyParser`, `mysql` та `fs` (файлова система);

– параметри для підключення до бази даних та інші налаштування визначаються.

2. Налаштування `Express`-сервера: 1) створюється об'єкт `Express`; 2) визначається порт (4000), на якому сервер слухатиме запити; 3) визначається об'єкт конфігурації для підключення до бази даних (`dbConfig`); 4) встановлюються парсери для обробки JSON-даних та POST-даних; 5) встановлюється шлях до статичних файлів (HTML, CSS, JavaScript).

3. Обробка POST-запиту: 1) створюється POST-маршрут за шляхом `/api`, який очікує POST-запити від клієнта; 2) функція обробки POST-запиту отримує дані з запиту, виводить їх на консоль та викликає функцію `writingToDatabase` для збереження цих даних в базі даних; 3) Відповідь на клієнта містить надіслані дані.

4. Функція `writingToDatabase`: 1) створюється підключення до бази даних з використанням параметрів з `dbConfig`; 2) виконується з'єднання з базою даних; 3) визначається SQL-запит для перевірки наявності запису за ідентифікатором (`id`) та часом (`dtime`); 4) виконується запит до бази даних для перевірки наявності дублікатів за `id` та часом; 5) якщо запис відсутній, то створюється SQL-запит для вставки нового запису в базу даних; 6) виконується вставка запису в базу даних; 7) завершується з'єднання з базою даних.

**Висновок.** Розроблені програми виконують різні завдання та призначені для різних середовищ. Програма для ESP32, написана у Arduino IDE, призначена для збору даних та відправки їх на сервер. Вона використовує мікроконтролер ESP32 та бібліотеки ESP32WiFi, ESP32HTTPClient для роботи з Wi-Fi та HTTP, а також TimeLib для роботи з часом. Програма зчитує дані, включаючи дату та час, з сервера, і надсилає їх на сервер у форматі JSON. З іншого боку, серверна програма написана на Node.js з використанням фреймворку Express та бази даних MySQL. Її завдання – обробка POST-запитів від клієнта та зберігання надісланих даних в базі даних. Сервер встановлює з'єднання з базою даних, перевіряє наявність записів за ідентифікатором та часом, і вставляє нові дані в базу даних, якщо запис відсутній. Всі дані відображаються на консолі. Після завантаження даних у базу MySQL, вони можуть бути вивантажені за допомогою Workbench, для подальшого аналізу іншими програмними засобами. У подальшому планується розробка користувацького веб-інтерфейсу та реалізація функції вивантаження даних з бази через веб-клієнт.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вадурін К. О., Перекрест А. Л., Кухаренко Д. В. Структура інформаційної системи обробки даних отриманих від біометричного комплексу для моніторингу, прогнозування та підтримки прийняття рішень людини-оператора. XIV Міжнародна науково-практична конференція «Комп'ютерні системи та мережні технології», 13-14 квітня 2023 р., м. Київ. С. 31–33. URL: <https://csnt.nau.edu.ua/files/2023/sbirnyk2023.pdf>

2. Вадурін К. О., Мосьпан Д. В., Юрко О. О. Розробка структури інформаційного обміну у схемі наручного бездротового датчика біометричного комплексу моніторингу стану людини-оператора. XIV Міжнародна науково-практична конференція «Комп'ютерні системи та мережні технології», 13-14 квітня 2023 р., м. Київ. С. 25–27. URL: <https://csnt.nau.edu.ua/files/2023/sbirnyk2023.pdf>

3. Борох К. С., Вадурін К. О., Кухаренко Д. В. Проектування електричної принципової схеми наручного бездротового датчика біометричного комплексу моніторингу стану людини-оператора. XXX Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених КрНУ імені Михайла Остроградського «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства», 20-21 квітня 2023 р., м. Кременчук. С. 55–56. URL: [http://apgs.kdu.edu.ua/zbirnik\\_apgs\\_2023.pdf](http://apgs.kdu.edu.ua/zbirnik_apgs_2023.pdf)

**ОСОБЛИВОСТІ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕННЯХ**

Ляшенко Г. А., к.т.н. доц., e-mail: [lyashgen@gmail.com](mailto:lyashgen@gmail.com)

Токар Є. Ю., магістрант, e-mail: [Kharkov78@gmail.com](mailto:Kharkov78@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Питання, які стосуються метрологічного забезпечення вимірювальних інформаційних систем (ВІС), підвищення точності контролю метрологічних характеристик (МХ), вимірювальних каналів (ВК) температури та автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСК ТП), а також вимірювальних термоперетворювачів, які є складовими частинами ВК температури, є актуальною задачею сьогодення.

Завдяки швидкому розвитку автоматизованих систем контролю технологічних процесів в агропромисловому комплексі виникла потреба забезпечення таких систем датчиками різних фізичних величин, особливо термоелектричними та терморезистивними перетворювачами температури.

Сучасний технічний розвиток вимірювальної техніки та автоматизація технічних процесів приводять до необхідності вимірювання температури у робочих умовах, тобто без демонтажу первинних перетворювачів і зупинки технологічного процесу у дуже широкому діапазоні і з високою точністю.

Зазначені особливості спонукають до розроблення методів і пристроїв для вимірювань температури. Вибір методу і засобів вимірювання залежить від низки чинників – значення вимірюваної температури, необхідної точності вимірювань, умов вимірювань та експлуатації досліджуваного об'єкта. Крім того, актуальним є питання масового впровадження засобів обліку теплоенергоресурсів, складовою частиною яких є засоби вимірювання температури за допомогою термоелектричних та терморезистивних перетворювачів.

**Мета досліджень** визначити реальні метрологічні характеристики вимірювальних каналів температури у тваринницькому приміщенні без демонтажу перетворювачів, застосовуючи взаємодію об'єкта та еталонних мір опору при відповідній взаємодії компонентів у вимірювальній системі.

**Основні матеріали досліджень.** Оскільки створити еталонний канал об'єкта АСК ТП неможливо, то для виконання метрологічних експериментів створено і застосовано “еталонні” математично-фізичні моделі і тестові сигнали, розроблено розрахунково-експериментальні методи [1], за допомогою яких трансформуються певні контрольовані точки із діапазону вимірювань параметра. В усіх цих випадках виникають проблеми визначення метрологічних характеристик вимірювальних каналів автоматичної системи підтримки температурного балансу в тваринницькому приміщенні (МА) під час їхньої метрологічної атестації або перевірки. Отже, в основі вимірювання цих параметрів – визначення певного значення електричного опору безпосередньо або з подальшим перетворенням його на певну фізичну величину. Для визначення метрологічних характеристик вимірювальних каналів можна застосовувати паралельне з'єднання резисторів з урахуванням взаємодії об'єкта та еталонної багатозначної міри (у такому разі опору).

Приймаючи невідоме значення досліджуваного опору як  $R_x$ , а також використовуючи відомі еталонні значення ступенів певного значення опору  $R_{em}$ , за умови, що  $R_x = R_{em} + \delta x$  для випадку  $R_x = R_{em}$  і застосовуючи паралельне з'єднання резисторів, маємо, що

$$R_{\Sigma} = \frac{R_{em}(R_{em} + \delta x)}{2R_{em} + \delta x}.$$

Звідси можна знайти значення  $\delta_x$  досліджуваного ступеня електричного опору. В усіх прикладах застосування цього способу вимірювання співвідношення границь допустимих похибок еталонних мір ступенів  $\delta_{em}$  і допустимої похибки досліджуваних ступенів електричного опору  $\delta_{xd}$  повинні задовольняти нерівності  $\delta_{em} \leq \delta_{xd} \cdot 1/4$  або  $\delta_{em} \leq \delta_{xd} \cdot 1/5$ , залежно від переважних складових похибки (систематичної або випадкової).

Для визначення метрологічних характеристик вимірювальних каналів температури на будь-якому із об'єктів, після під'єднання згідно із схемою необхідно довідатись про значення температури  $t_{x1}$  у цей момент часу, яке висвітлене на дисплеї автоматичного робочого місця, і записати його. За допомогою МО Р4831 встановлюють половинне значення температури  $t_{x2}$ , яке було висвітлено. Після встановлення цього значення, яке висвічується на моніторі оператора АРМ, записують показ міри опору Р4831. На основі виставлених значень міри опору Р4831 уточнюють дійсне значення температури  $t_x$ . На основі уточнених значень  $t_{ym}$  знаходять абсолютну похибку вимірювальних каналів температури у точці  $t_{x1}$

$$\Delta t_{BK(xi)} = t_x - t_{ym}.$$

Аналогічно виставляють за допомогою МО Р4831 третинне, четвиртинне і т.д. значення температури  $t_{xi}$  і знаходять абсолютну похибку ВК температури у трансформованих нами контрольованих точках, які висвітлюються на табло АРМ. Результат  $\Delta t_{BK(xi)}$  порівнюють із границею допустимої абсолютної похибки  $\Delta t_{BK}$  згідно із свідомством про метрологічну атестацію або перевірку вимірювальних каналів температури автоматичної системи керування технологічними процесами.

**Висновок.** Способи визначення та контролю температури за допомогою вимірювальних каналів вимірювальних інформативних систем з термоелектричними та терморезистивними датчиками дають можливість оптимізувати вимірювання, виконати метрологічну атестацію та перевірку вимірювальних каналів та вказаних перетворювачів, на які поширюється і не поширюється метрологічний нагляд з необхідною точністю в робочих умовах їхньої експлуатації, а також здійснити перевірку, калібрування та визначити номінальну статичну характеристику перетворення усіх типів термоелектричних та терморезистивних перетворювачів.

Описані способи вимірювання дають змогу виконати метрологічну атестацію, або перевірку вимірювальних каналів ВІС та АСК ТП температури в робочих умовах і без демонтажу первинних перетворювачів із об'єкта контролю;

У результаті застосування взаємодії об'єкта та еталонних мір опору одержують трансформовані з відомою точністю контрольовані точки із діапазону вимірювання температури вимірювального каналу ВІС або АСК ТП, що необхідно для визначення метрологічних характеристик багатьох типів ВК.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Колпак Б. Д., Лисий Б. М., Паракуда В. В. Вплив взаємодії об'єкта і еталонних мір опору на визначення метрологічних характеристик автоматизованих систем контролю та керування // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. Хмельницький, №3, 2001. С. 190 – 192.

2. Колпак Б., Паракуда В., Лисий Б., Сулима О. Особливості метрологічного забезпечення температурних вимірювань ВІС термодинамічними та резистивними перетворювачами у робочих умовах експлуатації // Вимірювальна техніка та метрологія, № 68, 2008. С. 182 – 186.



## СУЧАСНІ ПРИЛАДИ ТА АПАРАТИ ВЕТЕРИНАРНОЇ КЛІНИКИ

Мальцев К. В., бакалавр, e-mail: [kirill\\_malsev@meta.ua](mailto:kirill_malsev@meta.ua)

Косуліна Н. Г., д.т.н., проф., e-mail: [kosnatgen@ukr.net](mailto:kosnatgen@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Ветеринарна медицина, як і інші галузі людського існування розвиваються дуже швидко, постійно вдосконалюючись. Нові технології та наукові розробки активно використовують у створенні приладів і апаратів для охорони здоров'я [1].

Так, на зміну аналоговим пристроям прийшли цифрові, ручне управління змінилося програмованим комп'ютерним. Сучасне обладнання для діагностики, лікування та профілактики захворювань наших чотирилапих та пернатих друзів становить важливу частину сучасної ветеринарної практики. Не залежно від специфіки роботи, кожен спеціаліст ветеринарної медицини застосовує те чи інше обладнання. З його допомогою вдається надати як екстрену допомогу, так і планові послуги нашим маленьким пацієнтам. В багатьох випадках саме досконала ветеринарна апаратура вирішує долю тварини та змінює знак «мінус» на «плюс» в результаті лікування. Апарат дає можливість ветеринарному лікарю контролювати більшість фізіологічних життєвих функцій тварини, що знаходиться в операційній чи на стаціонарному лікуванні (рис. 1) [2 – 6].

Сьогодні в сучасних клініках використовують малоінвазивну хірургію, щоб втручання в організм були максимально безболісними. Удосконалюються навіть тонометри: сучасний ветеринарний тонометр дозволяє отримувати точніші показники вимірювання кров'яного тиску у тварин, він враховує вид і розмір тварини, місце вимірювання тиску.

**Мета досліджень.** Аналіз діагностичних та лікувальних апаратів та приладів для тварин з метою комплектування сучасної ветеринарної клініки.

**Основні матеріали досліджень.** Високоякісне ветеринарне анестезіологічне обладнання займає перше місце в списку обов'язкового ветеринарного обладнання. Наші домашні пацієнти можуть не захотіти залишатися нерухомими під час сканування, інвазивних обстежень та інших методів лікування. Незважаючи на те, що тварини, коти, птахи та інші істоти часто знаходяться під наркозом, вони мають дуже різні характери та поведінку. Тому їм потрібне спеціальне обладнання для ветеринарної анестезії, яке є на 100 відсотків безпечним для тварин.

Використання одних і тих же машин, які лікарі застосовують на людях, недостатньо. Анестезіологічне обладнання використовується у ветеринарних клініках, щоб тварини отримували належний кисень, вентиляцію та дихання. При цьому їх знеболюють, додатково змішуючи анестетики в заданих кількостях. Мінімізація ризику для пацієнта є метою надійного протоколу анестезії (рис. 2) [3 – 5].



Рисунок 1



Рисунок 2



Рисунок 3

В сучасних ветеринарних клініках використовують цифрові рентгенівські апарати. Без використання плівки, хімікатів або обробки в фотолабораторії ветеринари можуть отримати чіткі зображення кісток, м'язів і внутрішніх органів домашніх тварин за допомогою технології цифрової радіології (DR), а стоматологічні системи є життєво важливим компонентом багатьох ветеринарних клініки (рис. 3).

Для інфрачервоної терапії коней та інших тварин використовується потужний сучасний апарат INFRARED RADIATOR (IR6) зі змінним полем опромінення. Інфрачервона лампа Інфраред Радіатор встановлюється на мобільному штативі, який регулюється по висоті та куту нахилу випромінювача (рис. 4).



Рисунок 4



Рисунок 5



Рисунок 6



Рисунок 7



Рисунок 8



Рисунок 9



Рисунок 10



Рисунок 11

Для ультрафіолетової терапії тварин використовують апарат KN-4006. Апарат KN-4006 оснащений спеціальними лампами для формування спектра випромінювання у діапазонах СУФ та КУФ. Ретельно підібраний спектр випромінювання та потужність ламп апарату KN-4006 дозволяє скоротити час процедур, забезпечуючи хорошу економічність та високу пропускну здатність. Типова тривалість процедур становить від 30 с до 2 хв. Для терапії великих тварин (собаки великих розмірів, коня, велика рогата худоба і т.д.) випромінювач знімається з підставки і утримується навпроти місця терапії (рис. 5) [1].

Для ударно-хвильової терапії (УВТ) тварин використовують апарат Endoruls 811. Ударна хвиля з частотою 1 – 22 Гц впливає на уражені внутрішні тканини, проходячи крізь здорові тканини без негативних наслідків. Ударно-хвильова терапія руйнує мікрочастинки солей кальцію, посилює мікроциркуляцію, а також сприяє виведенню солей із суглобів. Ударний імпульс може формуватися кількома методами: стисненим повітрям, п'єзоелектричним чи електромагнітним генератором (рис. 6) [3 – 5].

Для магніторопії тварин використовують Biomag Lumina Vet - 4-х каналний апарат низькочастотної імпульсної магнітотерапії із запатентованою 3D технологією включення аплікаторів. Інтенсивність магнітного поля 51 мТл (510 Гаусс), частота магнітного поля 1...162 Гц. Особливо варто відзначити наявність локального випромінювача із поляризованим світлом Al-16LUM. У медичній практиці застосовується знеболюючий, протизапальний, регенеруючий та загоювальний ефект світлотерапії (рис. 7) [7].

Апарат ультразвукової терапії (УЗТ) Sonoruls 490. Апарат Sonoruls 490 призначений для класичної ультразвукової терапії суглобів, сухожиль, внутрішніх органів тварин та проведення фонофорезу. При гострих та хронічних асептичних процесах з явищем проліферації доцільніше проводити процедури у безперервному режимі при частоті

ультразвукових коливань 880 Гц, інтенсивності від 0,2 до 0,9 Вт/см<sup>2</sup> та експозиції в межах 5 хвилин. Так як ультразвукові хвилі в повітрі згасають, перед проведенням процедури вовняний покрив тварини необхідно поголити. Або можна проводити процедуру у водняній ванні, де контактною речовиною виступає вода (рис 8, 9, 10) [8].

Душова кафедра Cordoba використовується при гідротерапії, має 2 водяні пістолети, у кожному з яких є незалежне регулювання тиску води та панель управління, що контролює час процедури та послідовність включення пістолетів. До комплектації душової кафедри Cordoba входить насос підвищення тиску води до 6 Бар.

В електротерапії використовують апарат Endomed 482 для лікування больових синдромів, стимуляції м'язів та посилення регенерації. Має сенсорний кольоровий дисплей, русифіковане меню та запрограмовані протоколи терапії. У комплекті з апаратом Endomed 482 поставляються гнучкі багаторазові гумові електроди з віскозними прокладками для проведення електрофорезу[9].

Не завжди ветеринари надають допомогу тваринам у ветеринарних клініках. Іноді ситуація потребує виїзду фахівця для лікування пацієнтів. При цьому везти із собою одразу кілька апаратів не завжди зручно та легко. Апарат Combimed 2100 розроблений у вигляді валізки з коліщатами транспортування, що значно полегшує його перевезення.

Модульна конструкція апарату Combimed 2100 дозволяє лікарю самостійно вибирати потрібні види терапій. В апарат можна вбудувати 4 модулі. На вибір при цьому надаються 5 модулів: електротерапія, УЗ терапія, низькоінтенсивна лазерна терапія, магнітотерапія, ендодіатермія.

Також для надання кваліфікованої медичної допомоги тваринам ветеринарні клініки повинні мати обладнання для МРТ, дефібрилятори, стоматологічне обладнання, інкубатори, мікроскопи, апарати ШВЛ, ваги, клітки та ящики, шприцеві насоси, теплові агрегати, дослідницьке обладнання, відсмоктувачі, центрифуги, інфузійні насоси, медичний газ, ендоскопи, автоклави та стерилізатори, ветеринарні столи.

**Висновок.** З розвитком технологій ветеринарні клініки закупають сучасні апарати та прилади. Використовують новітні технології для надання медичної та реабілітаційної допомоги. В виробництві лікувальної та діагностичної техніки намітилась тенденція к розробці модульних-комбінованих апаратів та приладів.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Закон України. Про ветеринарну медицину. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1206-20#Text>
2. Ультразвуковая терапия для лошадей. <https://vetio.ru/blog/ultrasound-for-horses-02-17/>
3. Veterinary Hospital Start Up Equipment. <https://www.apexx-equipment.com/veterinary-equipment-startup-expansion>
4. Veterinary Equipment: What You Need When Setting Up a Clinic. August 2, 2018 Tuttnauer Product Experts. <https://tuttnauer.com/blog/veterinary-equipment-what-you-need-when-setting-clinic>
5. Veterinary Equipment: What You Need When Setting Up a Clinic. <https://www.dekomed.co.uk/vet/veterinary-equipment-what-you-need-when-setting-up-a-clinic/>
6. Інновації в реабілітації домашніх тварин / Осадча Юлія Олександрівна (керівник Косуліна Н. Г.) // Воркшоп та тематичну конференцію «Актуальні питання в біомедичній інженерії» в рамках 26-го Міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка і молодь у XXI столітті», 10 грудня 2022 р. <https://openarchive.nure.ua/items/0ecf95b4-611f-4a71-8eb1-6c2b612856a4>, <https://163.elektrofak.site/events/2022/25-11-2022>
7. Аппарат магнитотерапии Biomag. <https://vetio.ru/blog/biomag-lumina-vet/>
8. Ультразвуковая терапия в ветеринарии. <https://vetio.ru/blog/ustherapy-in-veterinary/>
9. Применение электротерапии в ветеринарии. <https://vetio.ru/blog/electrotherapy-in-veterinary/>

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ТЕПЛОВИХ СЕНСОРІВ ПОТОКУ БІОМЕДИЧНОГО  
ТА ЕКОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Павлов С. В.<sup>1</sup>, д.т.н., проф., e-mail: [psv@vntu.edu.ua](mailto:psv@vntu.edu.ua)

Вуйцік Вальдемар<sup>2</sup>, д.т.н., проф., e-mail: [waldemar.wojcik@pollub.pl](mailto:waldemar.wojcik@pollub.pl)

Мамирбаєв Оркен<sup>3</sup>, Ph.D., e-mail: [morkenj@mail.ru](mailto:morkenj@mail.ru)

Голяка Р. Л.<sup>4</sup>, д.т.н., проф., e-mail: [roman.I.holiaka@lpnu.ua](mailto:roman.I.holiaka@lpnu.ua)

Тітова Н. В.<sup>5</sup>, д.т.н., проф., e-mail: [tnv.titova@gmail.com](mailto:tnv.titova@gmail.com)

Айтказіна Асель<sup>6</sup>, аспірантка, e-mail: [aitkazina.aseel@gmail.com](mailto:aitkazina.aseel@gmail.com)

Вінницький національний технічний університет<sup>1</sup>, Україна

Люблінський технологічний університет<sup>2</sup>, Польща

Інститут інформаційних та комп'ютерних технологій МОН РК<sup>3</sup>, Алмати, Казахстан

Національний університет «Львівська Політехніка»<sup>4</sup>, Україна

Національний університет «Одеська політехніка»<sup>5</sup>, Україна

Казахський національний університет ім. Аль-Фарабі<sup>6</sup>

**Актуальність дослідження.** Розвиток сучасної діагностичної апаратури біомедичного та екологічного призначення характеризується стрімким розширенням фізичних методів вимірювального перетворення, розширенням функціональних можливостей, підвищенням технічних характеристик, широким впровадженням мікроелектронних технологій та мікропроцесорної техніки. Ці тенденції яскраво проявляються в одному з важливих класів діагностичної апаратури – пристроях вимірювання швидкості потоку газів та рідин (сенсорах потоку), що застосовуються для вимірювання параметрів дихальної системи (зокрема, при астматичних захворюваннях), в системах штучного дихання, засобах біохімічного аналізу. Крім того, сенсори потоку знаходять широке застосування в технологічних процесах фармакології, вимірювання потужності лазерного випромінювання при фізіотерапевтичному впливі [1,2,3].

Таким чином, задача розробки сучасних інтегральних сигнальних перетворювачів мікроелектронних теплових сенсорів потоку виходить за межі інженерних підходів та вимагає нових підходів та наукових досліджень.

**Метою роботи** є розроблення нових алгоритмічно-структурних підходів у побудові сигнальних перетворювачів теплових мікроелектронних сенсорів потоку, які відповідають вимогам біомедичної апаратури та сучасної низьковольтної електроніки.

**Основні матеріали досліджень.** Тепловий сенсор потоку (термоанемометр, thermal flow sensors, hot-wire anemometer) – це пристрій вимірювання швидкості потоку рідини чи газу, який базується на принципі вимірювання температурного поля локально нагрітої речовини потоку [3,4].

Універсальними компонентами розробленого пристрою вимірювання швидкості потоку є аналого-цифровий перетворювач (АЦП), стабілізатор напруги живлення та інтерфейс з персональним комп'ютером. Реалізація аналого-цифрового перетворювача залежить від вимог щодо точності – при акцентуванні на собівартість вибирають 12-розрядні АЦП, а для унікальних високопрецизійних сенсорів – 24-розрядні, зокрема, розглянуті вище мікроконвертери ADuC824 чи ADuC834 [4]. Стабілізатор напруги повинен відповідати вимогам низьковольтної електроніки і базуватися на схемах формування напруги, чисельно рівній ширині забороненої зони ( $V_{REF}=1.2$  В) – це, зокрема, інтегральна схема стабілізатора з низьким падінням напруги на керуючому елементі ADP3367AR.

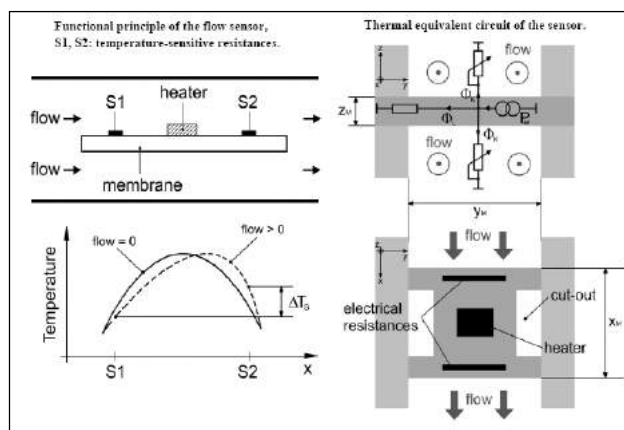


Рисунок 1 – Структура та функціональний принцип роботи мікроелектронних теплових сенсорів потоку

Для реалізації інтерфейсу вибрано універсальний послідовний USB мікроконтролер FT232R компанії FTDI. Питання інженерної реалізації універсальних компонентів сенсорного пристрою потоку є доволі універсальними для більшості сучасних мікроелектронних сенсорів для біомедичного призначення.

Сигнальний перетворювач є доцільними при необхідності реалізувати сенсори для широкого діапазону вимірювання швидкості потоків, що забезпечується керованим розігрівом терморезисторів. Цей тип перетворювача є доцільним, також, в сенсорах біомедичного призначення при обмеженні максимальної температури розігріву потоку та актуальності обмежити енергоспоживання. Це реалізується широким рядом імпульсних, зокрема Sleep Mode [4], режимами роботи.

**Висновок.** Розроблені сигнальні перетворювачі у повній мірі відповідають вимогам до сучасної апаратури біомедичного призначення та енергоекономної низьковольтної електроніки (однополярне 3В живлення), забезпечують незначний тепловий вплив на середовище потоку та реалізуються на новітній елементній базі – високопрецизійних CMOS rail-to-rail операційних підсилювачах, двонаправлених мультиплексорах типу ADG, мікроконвертерах типу ADuC, потужних D-MOS HEX FET транзисторах тощо.

*Робота виконана в рамках гранту Республіки Казахстан AP19677201*

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Highly linear Microelectronic Sensors Signal Converters Based on Push-Pull Amplifier Circuits / edited by Waldemar Wojcik and Sergii Pavlov, Monograph, (2022) NR 181, Lublin, Comitet Inzynierii Srodowiska PAN, 283 Pages. ISBN 978-83-63714-80-2.
2. Sevenhans Jan, Craninckx Jan. Europe's Analog Design Experts Convened at 16<sup>th</sup> AACD Workshop // Solid-State Circuits Newsletter, IEEE. 2007. Vol. 12. № 3. P.30.
3. Analog microcircuit technology of measuring and sensor devices / [ed. Z. Gotry, R. Holyaka]. Lviv: Ed. State University "Lviv Polytechnic", 1999. 364 p.
4. Sergii Pavlov, Oleg Avrunin, Oleksandr Hrushko and etc. System of three-dimensional human face images formation for plastic and reconstructive medicine // Teaching and subjects on bio-medical engineering Approaches and experiences from the BIOART-project Peter Arras and David Luengo (Eds.), 2021, Corresponding authors, Peter Arras and David Luengo. Printed by Acco cv, Leuven (Belgium). 22 P. ISBN: 978-94-641-4245-7.

ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІЧНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОЦІНЮВАННЯ  
ПСИХОЕМОЦІЙНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ ЗА ТЕТА-ХВИЛЯМИ  
ЕЛЕКТРОЕНЦЕФАЛОГРАФІЧНОГО СИГНАЛУ

Панцир Ю. І., к.т.н., доц., e-mail: [panziruriy@gmail.com](mailto:panziruriy@gmail.com)

Потапський П. В., к.т.н., доц., e-mail: [p.v.potap@meta.ua](mailto:p.v.potap@meta.ua)

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

**Актуальність дослідження.** Швидкі варіації в житті людини, постійні несприятливі впливи професійних, соціальних та екологічних факторів, стресові ситуації сприяють розвитку психоемоційних розладів таких як тривожність, депресія, невротичність, внутрішній дискомфорт. У медичній практиці коректність діагнозу встановлюють лише у 0,4-4,5% пацієнтів (Downhill J.E., Robinson R.G.), що призводить в подальшому до погіршення якості життя пацієнтів та втрати їх працездатності. Тому своєчасне виявлення та дослідження психоемоційних розладів у людини є вкрай важливою медичною задачею.

Для реєстрації електроенцефалографічного сигналу та оцінювання за його тета-хвилею психоемоційного стану у людини застосовують комп'ютерні системи, діагностична цінність яких базується на адекватній математичній моделі та розроблених на її основі методів і алгоритмічно-програмного забезпечення аналізу сигналу. На даний час існує багато методів, які активно використовуються для аналізу ЕЕС з метою виявлення психоемоційних ознак такі методи як когерентний, кореляційний, спектральний та спектрально-кореляційний. Відомі методи аналізу ЕЕС не дають змогу отримати інформацію про певні часові координати на яких проявляються тета-хвилі як показників зміни у психоемоційному стані людини. Тому, дослідження методу і на його основі алгоритмічно-програмного забезпечення аналізу електроенцефалографічного сигналу для оцінювання психоемоційного стану людини за тета-хвилями шляхом визначення часових координат його появи є актуальною науковою задачею.

**Метою роботи** є дослідження алгоритмічно- програмного забезпечення оцінювання психоемоційного стану людини за тета-хвилями електроенцефалографічного сигналу.

**Основні матеріали досліджень.** Можливість порівняння отриманих результатів в різних дослідженнях може бути забезпечена використанням стандартних баз даних стимульного матеріалу. Зокрема, використання стандартних баз даних для слів і зображень дозволяє грамотно підготувати експериментальне дослідження і контролювати вплив побічних змінних. Необхідність використання стандартних баз даних може бути продемонстрована наочними прикладами досліджень, які проводяться в області клінічної психології. Аналогічні випадки специфічних порушень когнітивних здібностей, що цікавлять дослідників, можуть зустрічатися рідко, з великим інтервалом часу в різних клініках і країнах. Для того щоб можна було зробити загальні висновки по цих випадках, необхідно використовувати одні і ті ж методики зі строго регламентованої процедури і проводити дослідження з одним і тим же стандартним матеріалом. Тому оптимальним варіантом проведення порівняльного аналізу є використання вже існуючих баз даних по характеристиках слів і зображень.

Для дослідження було обрано 30 практично здорових здобувачів вищої освіти університету віком від 18 до 21 року. Всі вони попередньо були ознайомлені з умовами експерименту та виявили добровільну згоду на участь у ньому. Електроенцефалограми (ЕЕГ) реєстрували в стані спокою з розплющеними (фон) очима, які полягали в перегляді картинок, що символізували емоції.

Дослідження проводять за допомогою багатоканальних електроенцефалографів (по 8, 16 та більше каналів) для одночасного запису біопотенціалів від різних ділянок мозку. В даному випадку було використано 10-канальний електроенцефалограф. Використовують відведення від симетричних відділів лобових, скроневих, тім'яних та потиличних часток головного мозку. Знімають ЕЕГ найчастіше у стані бадьорості, в положенні лежачи із

закритими очима або в темноті (екранована кімната). Електроенцефалограма (ЕЕГ), зареєстрована через неушкоджені покриви черепа, являє собою сумарну активність великої кількості нейронів і складається з багатьох частотних компонентів.

На рис.1 зображено блок схему проведення експерименту, а саме процес виявлення електрофізіологічних корелятивів емоційних станів в бета-хвилях ЕЕГ сигналу.

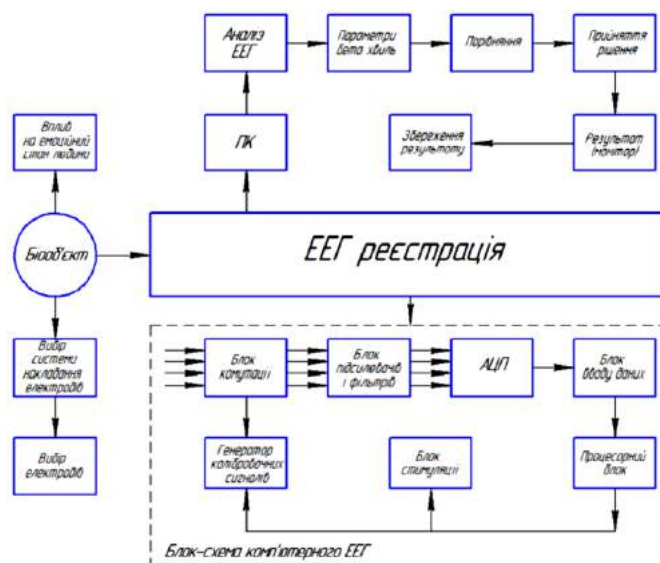


Рисунок 1 - Структура проведення експериментального дослідження

Індиферентні електроди часто поміщають на мочці вуха (на одній або на обох), на соскоподібному відростку, спинці носа, підборідді і вилиці. Електроенцефалограф містить комутаційний пристрій, призначений для організації різних схем знімання ЕЕГ-сигналів шляхом перемикання електродів на різні входи підсилювачів. До комутаційного пристрою відносяться панель з гніздами для підключення електродів і багатополюсні перемикачі для комутації. Підсилювачі забезпечують посилення вхідного сигналу до потрібної величини в заданому діапазоні частот і з досить низьким рівнем шуму (не більше 1 мкВ). Для придушення мережної перешкоди частотою 50 Гц застосовується спеціальний режекторний фільтр. Для дослідження психологічно-емоційного стану, було підбрано 20 слайдів з бази емоційно забарвлених фотозображень IAPS, які було поділено на : 10 – позитивного змісту, 10 – негативного. У вигляді емоційно-нейтрального стимулу застосовано сірий екран.

Для того щоб проаналізувати бета-ритм необхідно його виділити шляхом смугової фільтрації. На наступному етапі, власне, відбувається процес віконного аналізу бета-ритму ЕЕГ-сигналу. В результаті обробки отримуються усередненні значення вейвлет коефіцієнтів, які і будуть інформативною складовою розрізнення різних стадій психологічного навантаження мозку людини. Прийняте рішення відображається стандартними засобами візуалізації а дані визначення психоемоційних станів з бета-хвиль ЕЕГ сигналу можна зберегти в пам'ять пристрою.

**Висновок.** Було досліджено метод аналізу тета хвильового процесу електроенцефалографосигналу на основі обґрунтованої його матмоделі на Вейвлет перетворення з базисною материнською функцією Хаара для оцінювання психологічно-емоційного стану людини.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського. URL: [www.nbuv.gov.ua](http://www.nbuv.gov.ua).
2. Collet, C., Vernet–Maury, E., Delhomme, G., Dittmar, A., Автономна нервова система відповідає закономірності специфічності до основних емоцій/ Журнал вегетативної нервової системи 62, 45–57 1997.
3. Медична інформатика: підручник для студентів медичних ВНЗ: за ред. В. Г. Кнігавка. Харків : ХНМУ, 2015. 240 с.

КОМП'ЮТЕРНЕ ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ  
СФІГМОГРАФІЧНОГО СИГНАЛУ ДЛЯ СИСТЕМ ДІАГНОСТИКИ  
ПЕРИФЕРІЙНОГО КРОВООБІГУ

Потапський П. В., к.т.н., доц., e-mail: [p.v.potap@meta.ua](mailto:p.v.potap@meta.ua)  
Вусатий М. В., асист., e-mail: [0611142015vys@gmail.com](mailto:0611142015vys@gmail.com)  
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

**Актуальність дослідження.** За даними ВООЗ (англ. World Health Organization (WHO)) у всьому світі смертність від серцево-судинних захворювань займає перше місце (30% від усіх захворювань), за даними World Health Statistics - 9,7% захворювань судин, 12,2% захворювань серця. Для розв'язання задач визначення параметрів судин і способів оцінювання їх застосовують сфінгографічні системи, які базуються на опрацюванні сигналів пульсової хвилі (сфінгографічного сигналу). Важливим є питання оцінювання методів опрацювання сфінгографічних сигналів для визначення точності отриманих результатів опрацювання.

Під сфінгографією розуміють метод дослідження гемодинаміки і діагностики деяких форм патології серцево-судинної системи, який базується на графічній реєстрації пульсових коливань стінки кровеносної судини. Інформативними при цьому є амплітуди характерних точок сфінгографічного сигналу, часові тривалості окремих півхвиль сигналу, періодні зміни. Саме ці параметри повинна враховувати у своїй структурі імітаційна модель сфінгографічних сигналів.

**Метою роботи** є дослідження імітаційної моделі сфінгографічних сигналів.

**Основні матеріали досліджень.** Для тестування сфінгографічних діагностичних систем необхідним є набір тестових сфінгографічних сигналів, які отримуються із застосуванням імітаційної моделі таких сигналів. При цьому необхідним є забезпечення імітації сигналів як у нормі, так і в стані порушення роботи периферичної кровеносної системи.

Основними етапами процесу імітаційного моделювання є: визначення системи, формулювання моделі, що передбачає перехід від реальної системи до деякої логічної схеми (абстрагування), підготовлення даних (відбір даних, необхідних для побудови моделі, і представлення їх в відповідній формі), оцінювання адекватності моделі, експериментування, як процес виконання імітації з метою одержання бажаних результатів і аналізу чутливості, інтерпретація результатів імітаційного моделювання та реалізація – практичне використання моделі або результатів моделювання.

Першими етапами побудови імітаційної моделі є перехід від реального фізичного об'єкта – сигналу пульсової хвилі до математичного його представлення, яке повинне враховувати суттєві для задач тестування діагностичних систем характеристики сигналу.

Імітаційне моделювання сфінгографічного сигналу проведено в середовищі Matlab.

Найпростішим способом задання одного періоду сигналу пульсової хвилі є формування вектора значень її амплітуд через рівні проміжки часу. Позначимо цей вектор літерою  $z$ . В середовищі Matlab він запишеться як:

$z=[0,0.04,0.2,0.45,0.6,0.65,0.6,0.46,0.4,0.40,0.39,0.35,0.27,0.19,0.1,0.05,0.01,0];$

Розмірність цього вектора – 18 значень амплітуд сигналу. Виведемо цей вектор у вигляді графіка з допомогою функції `plot(.)`.

$z=[0,0.04,0.2,0.45,0.6,0.65,0.6,0.46,0.4,0.40,0.39,0.35,0.27,0.19,0.1,0.05,0.01,0];$  `figure(2); plot(z); grid on;` % накладання сітки на графік.

Графік одержаного сигналу наведено на рис.1.

Для практичних досліджень необхідно, щоб розмірність цього вектора  $z$  була значно більшою, тобто необхідно збільшити іншими словами частоту дискретизації. Зараз вона становить 18 Гц при ЧСС – 60 уд/хв.



Збільшимо частоту дискретизації в 10 разів, тобто піднімемо її до значення 180 Гц. Для цього використаємо функцію інтерполяції `interp(.)`. Графік одержаного сигналу наведено на рис.2.

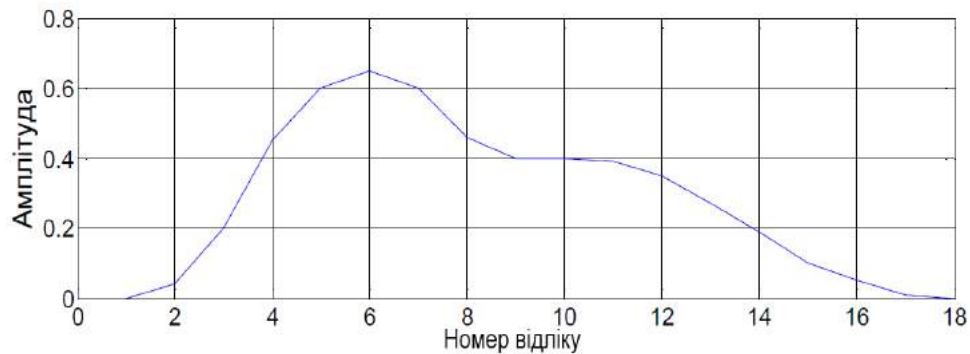


Рисунок 1- Дискретне задання сигналу пульсової хвилі.

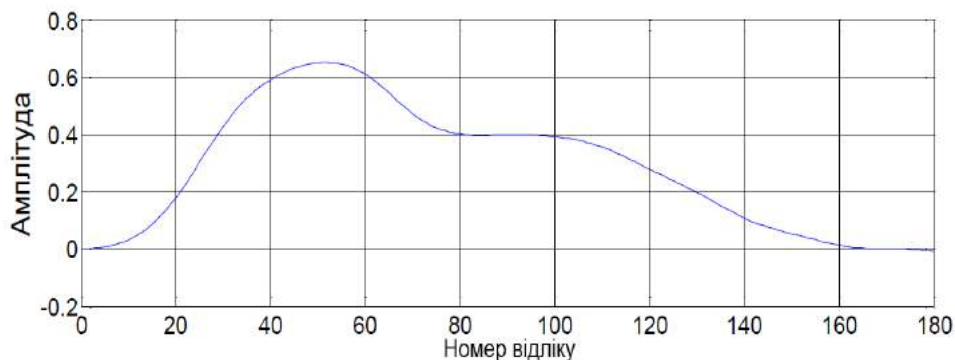


Рисунок 2 - Сигнал пульсової хвилі після інтерполяції.

Для оцінювання спектрального складу сигналу побудуємо амплітудний спектр сигналу з використанням функції `fft(.)`. Графік одержаного сигналу наведено на рис. 3.

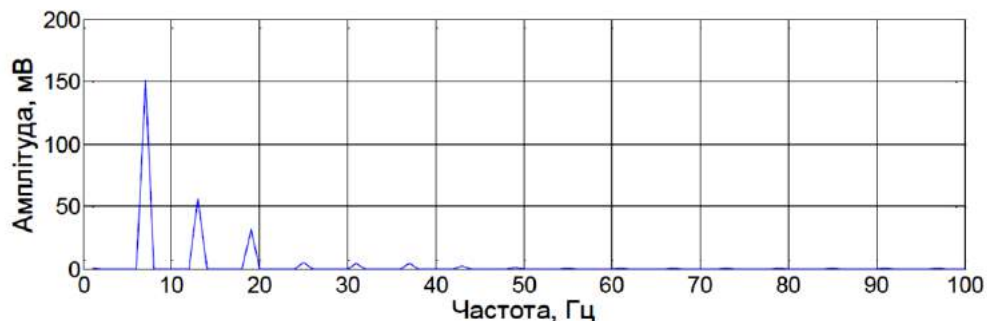


Рисунок 3 - Амплітудний спектр сигналу пульсової хвилі.

Описана програма дозволяє імітувати сигнал пульсової хвилі із заданими параметрами часових та амплітудних значень характерних точок півхвиль.

**Висновок.** Досліджено імітаційну модель сфігмографічного сигналу у вигляді вектора значень такого сигналу із періодичним продовженням. Встановлено, що найпростішим способом задання одного періоду сигналу є формування вектора значень її амплітуд через рівні проміжки часу. Також запропоновано імітаційну модель сфігмографічного сигналу у вигляді суміші зниклих синусоїд. Результати експериментального моделювання в середовищі Matlab показали відповідність імітованих та реальних сигналів.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Добрянський Д. О. Використання телемедицини у клінічній практиці: Навчально-методичний посібник / Д. О. Добрянський, О. П. Мінцер, В. В. Краснов. К. : Українсько-Швейцарська програма «Здоров'я матері та дитини», 2011. Ч. 2 (для викладача). 94 с.
2. Медична інформатика: підручник для студентів медичних ВНЗ: за ред. В. Г. Книгавка. Харків : ХНМУ, 2015. 240 с.
3. Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського. URL: [www.nbuv.gov.ua](http://www.nbuv.gov.ua).

ОВОЩЕСХОВИЩЕ ЯК НЕВІД'ЄМНИЙ ЛАНЦЮГ ВИРОЩУВАННЯ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Пугач О. Ю., магістрант, e-mail: [elenavolkova7912@gmail.com](mailto:elenavolkova7912@gmail.com)

Косуліна Н. Г. д.т.н., проф., e-mail: [kosnatgen@ukr.net](mailto:kosnatgen@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** За роки незалежності України посівні площі овочів зменшилися на 5%. Водночас, за даними інфобуку «Агробізнес України» за 2020/21 р., обсяг виробництва зріс більш ніж на 30%, що свідчить про зростання ефективності виробництва.

Так, у минулому році під овочівництво було відведено більше 3,3 млн. га. Загалом за сезон вироблено понад 30,7 млн т овочів. Ситуація в цьому році дещо змінилася. Загальна очікувана посівна площа під овочі становить всього 1,5 млн га, що майже в половину менше минулого року. Враховуючи той факт, що в цьому році посівні площі скоротилися, то овочесховища не будуть повністю завантажені. Адже до війни тільки 30% були обладнані сучасними системами зберігання. Експерти ринку відзначають, що в Європі, відсоток втрати овочевої продукції на кінець періоду зберігання в середньому становить до 5...%. Відсоток втрат в професійних сховищах України коливається від 3,4% до 6% за 6 місяців зберігання. У непрофесійних сховищах – від 20% до 30% і більше [1, 2].

Сховищ, де овочі зберігаються навіть до нового врожаю, в Україні дуже мало. Сучасне овоче- або картоплесховище в європейських країнах – це спеціалізований склад, оснащений системою мікроклімату з контролем температури і вологості продукту, параметрів камери схову, рівня концентрації CO<sub>2</sub>, що має кілька рівнів захисту від пошкодження овочів холодним повітрям і навіть з системою звукового оповіщення при пожежі. Актуальним стає питання «Чи виправдане будівництво подібного сховища для українського фермера?».

**Мета досліджень.** Аналіз технології та обладнання щодо дотриманням правильної вентиляції, вологості, повітрообміну, охолодження в овочесховищах.

**Основні матеріали досліджень.** Для багатьох овочесховищ розповсюджена наступна технологія рис. 1.

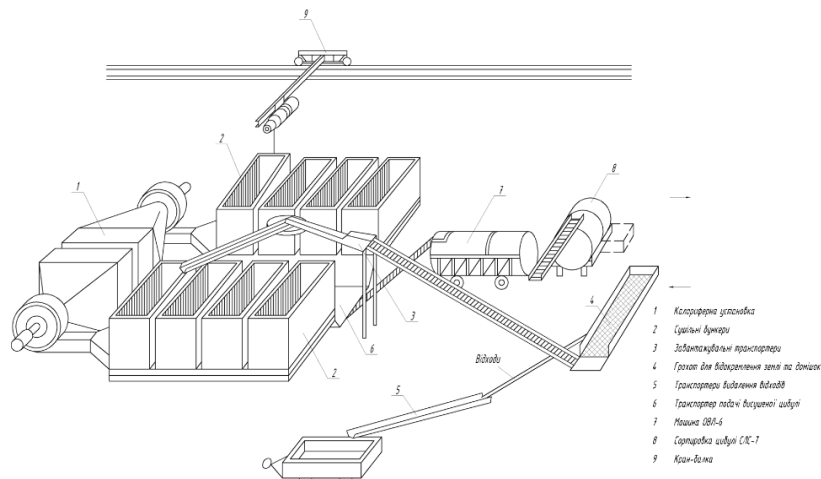


Рисунок 1 – Технологічна схема процесу сушки

Ворох цибулі або картоплі, що надходить після збиральної машини, пропускають через сітчастий гуркіт для відділення землі і дрібних домішок, що знижують продувність вороху і ускладнюють сушку. Далі цибулю або картоплю подають у вісім сушильних бункерів з решітчастим дном ємністю по 7...8 т, поставлених в два ряди. Висота завантаження в них до 2 м. Сушіння цибулі та картоплі проводять теплим повітрям (30...35 С), що подається вентилятором від калорифера під основу бункерів. Залежно від вологості вороха процес

сушіння триває 15...20 год. За 8...10 год до закінчення сушіння температуру піднімають до 45°C, для знищення збудників шийкової гнилі. Між рядами бункерів встановлюють стрічковий транспортер. Бункер з просушеною цибулею або картоплею кран-балкою піднімають за один край і надають йому похиле положення. Передня стінка відкривається, і цибуля або картопля самопливом висипається на транспортер. Транспортером її подають в отміїчну машину, а потім в сортування СЛС-7. Далі розсортована на фракції цибуля або картопля по транспортеру надходить в овочесховище на тривале зберігання.

Інше розташування транспортерів в транспортері-завантажувачі ТЗК-30: їх три, один за іншим. Всього на транспортері-завантажувачі ТЗК-30 встановлено п'ять асинхронних, короткозамкнених електродвигунів без регулювання частоти обертання ротора. Керувати роботою цих електродвигунів дозволяє прийнята релейно-контактна система. У схемі завантажувача передбачено пристрій захисного відключення ЗОУП.

Для підйому вантажу і його переміщення використовують талі з двома електродвигунами. Для управління роботою талі передбачені два спарених пускача і відповідні кнопки управління, які через гнучкий провід від електродвигуна підключаються до підвісної станції.

У овочесховищі найбільш придатними виявилися візки з електродвигуном через їх хороші показники: простота управління, відсутність шкідливих газів, безшумність роботи, хороша маневреність. Ці візки застосовують для транспортування продукції на невеликі відстані як всередині приміщень, так і поза ними. Для підйому і опускання вантажу електрозавантажувача КВЗ-04-4004 вантажопідйомністю 750 кг. У ньому застосована гідравлічна система з приводом гідронасоса від окремого електродвигуна М2. Керують електрозавантажувачем контролером, який робить відповідні перемикання контактів. Для нагрівання повітря в приміщеннях овочесховищ застосовують електрокалорифери.

Статистика свідчить, що з усіх наявних овочесховищ в Україні лише 30% обладнано сучасними системами зберігання. Вони можуть містити близько 1,5 млн. т. товару.

Разом з тим, у компаній України є проекти пов'язані з покращенням умов зберігання, тобто дооблаштування і удосконалення існуючих сховищ. І це питання актуальне для всіх регіонів України. Одне із сучасних рішень пов'язано з інноваційним вентиляційним обладнанням (досвід «Контінентал Фармерз Груп»), завдяки якому можна точно контролювати температуру та вологість у картоплесховищі, задавати індивідуальні параметри під зберігання будь-якого сорту картоплі. В такому овочесховищі картопля зберігається насипом на підлозі, яка вентиляється на кожному кв.м. У такий спосіб картопля висушується та охолоджується. Компанії «Дунайського аграрія» обладнала своє овочесховище холодильними приміщеннями. Продукція з поля поділяється за сортами, очищується, упаковується та маркується. Для цього використовують установку для барботажного миття, транспортер для сортування і картонну тару. Потім продукцію закладають в камери, де вона охолоджується і зберігається за оптимальним температурним режимом.

**Висновок:** Зацікавленість в будівництві нових овочесховищ у аграріїв є, але в умовах війни ніхто в них не інвестує, тому залишається впровадження інноваційного обладнання, такого як наприклад, вентиляційного обладнання; розробка проектів які пов'язані з покращенням умов зберігання, тобто дооблаштування і удосконалення існуючих сховищ.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Овочі будуть. А чи буде де їх зберігати? Розповідаємо, що відбувається з овочевою галуззю в Україні та чи достатньо овочесховищ. <https://latifundist.com/spetsproekt/974-ovochi-budut-a-chi-bude-de-yih-zberigati-rozpovidayemo-shcho-vidbuvayetsya-z-ovochevoyu-galuzzyu-v-ukrayini-ta-chi-dostatno-ovocheshovishch>

2. Питання будівництва професійних овочесховищ в Україні потрібно вирішувати якомога швидше – думка. <https://east-fruit.com/uk/plodoovochevyi-biznes/intervyu-uk/pytannya-budivnytstva-profesiynykh-ovocheshkovyishch-v-ukrayini-potribno-vyrishuvaty-yakomoha-shvydshe-dumka/>

ВІД ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ ДО УЛЬТРАЗВУКА  
ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗБЕРІГАННЯ СИРУ  
Сиротенко Д. М., магістрант, e-mail: [ttt07112000@gmail.com](mailto:ttt07112000@gmail.com)  
Косуліна Н. Г. д.т.н., проф., e-mail: [kosnatgen@ukr.net](mailto:kosnatgen@ukr.net)  
Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Виробництво сиру є одним із найприбутковіших видів бізнесу в молокопереробній індустрії України. Сьогоднішня ринкова ситуація у країні змушує сироварів переглядати свої плани. Галузь зіштовхнулася з проблемами, що негативно впливають не лише на її розвиток.

До таких проблем відносяться дефіцит сировини та її висока вартість, проблеми збуту, зменшення купівельної спроможності населення. У таких умовах у більш вигравному становищі виявляються великі гравці, які можуть оперативно реагувати на зміни ринкової кон'юнктури, модернізувати виробництво, використовувати креативні способи стимуляції внутрішнього споживання та нові маркетингові підходи. Перед сучасними молочними підприємствами та агрохолдингами постають такі завдання: Якісна (свіжа) сировина. Оптимальні та сучасні технології та техніка переробки сировини; дотримання санітарних і правил, і навіть технології виробництва під час виготовлення продукції; збереження сирого молока, охорона довкілля.

Сучасні засоби автоматизації можуть у повному обсязі забезпечити дотримання технології виробництва молока та молочної продукції. Автоматизація технологічних процесів виключає пряму участь людини, завдяки чому підвищується якість зберігання, отже, якість продукції (рис. 1 – 3).

**Мета дослідження.** Аналіз технологій та електротехнічного обладнання з метою впровадження інноваційного обладнання для виробництва якісної молочної продукції.



Рисунок 1 –  
Пастеризаційно-охолоджувальна установка



Рисунок 2 –  
Сировиробник. Використовується для отримання сирного зерна



Рисунок 3 –  
Обладнання для посолки сиру



Рисунок 4 –  
Машина з механічним приводом призначена для нарізки сиру



Рисунок 5 –  
Машина для ультразвукового нарізання ERMA 30F



Рисунок 6 –  
Машина для ультразвукового нарізання SELVEX

**Основні матеріали досліджень.** Сучасні наукові розробки та дослідження впроваджуються в автоматизацію технологічних процесів з виробництва молочних продуктів [1]. Так наприклад полу-автоматичну машину (рис. 4) для нарізання твердого сиру на бруски та сегменти з механічним приводом замінюють на машину з ультразвуковим нарізання (рис. 5, 6). Комплект обладнання для вбудовування в машину для ультразвукового різання включає ультразвукові генератори; автономну систему охолодження магніострикційних

перетворювачів; ультразвукові ножі. Ультразвукова технологія нарізання використовує спеціальне лезо – сонотрод, яке вібрає з частотою від 20 до 30 кГц, що забезпечує за рахунок роботи ультразвукового генератора. Сонотрод виступає в якості зворотно-поступового рухомого ножа, який здійснює 20 тис. рухів за 1 с. В результаті знижується необхідні для нарізки зусилля, а забруднення продукту зводиться до мінімум. В табл. 1 представлені ультразвукові хвилі та частинки які беруть участь у вібрації ультразвукового поля.

Таблиця 1

| Тип хвилі у твердих тілах | Частка бере участь у Вібрації                           |
|---------------------------|---|
| Поздовжня                 | Паралельно напрямку хвилі                               |
| Поперечна (зсув)          | Перпендикулярно до напрямку хвилі                       |
| Поверхнева хвиля Релея    | Еліптична орбіта симетричний режим                      |
| Хвиля-Лемба               | Компонент перпендикулярно поверхні (хвиля розтягування) |

Для плоскої синусоїдальної хвилі, що біжить, інтенсивність ультразвуку  $I$  визначається за формулою:

$$I = \frac{\rho v}{2} = \frac{\rho^2}{2\rho c} = \frac{\rho v^2 c}{2},$$

де  $p$  – амплітуда звукового тиску, Па;  $v$  – амплітуда коливальної швидкості частки, м/с;  $\rho$  – щільність середовища, кг/м<sup>3</sup>;  $c$  – швидкість звука, м/с.

Для плоскої хвилі коефіцієнт загасання по амплітуді з відстанню визначається за такою формулою:

$$\alpha = \frac{1}{L} \ln \left( \frac{\rho(0)}{\rho(L)} \right), 1/\text{м}$$

де  $L$  – відстань, м;  $\rho(0)$ ,  $\rho(L)$  – амплітуда звукового тиску у вихідній точці та на відстань  $L$ , Па.

Коефіцієнт згасання від часу визначається:

$$\beta = \frac{1}{T} \ln \left( \frac{\rho(0)}{\rho(T)} \right), 1/\text{с}$$

де  $T$  – час, с;  $\rho(0)$ ,  $\rho(T)$  – амплітуда звукового тиску на початку та через час  $T$  відповідно, Па.

У твердих речовинах для поздовжніх хвиль швидкість звуку:

$$c_l = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1 - \mu}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}},$$

де  $E$  – модуль пружності, Па;  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона;  $\rho$  – щільність, кг/м<sup>3</sup>.

Для поперечних хвиль вона визначається за формулою:

$$c_t = \sqrt{\frac{G}{\rho}},$$

де  $G$  – модуль зрушення, Па.

**Висновок:** Для зберігання потенційного ресурсу, який закладене природою в молоці, при його промисловій переробці необхідно використовувати нові технології та обладнання, наприклад ультразвукову технологію нарізання сиру, яка виключає пряму участь людини.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Обладнання для виробництва твердого сиру. <https://www.palladium-milk.com.ua/ukr/catalog/oborudovanie-tverdij-syr/>

## УСТАНОВКИ ДЛЯ ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

Тарабан Б. І. магістрант, e-mail: [bogdantaraban@icloud.com](mailto:bogdantaraban@icloud.com)

Косуліна Н. Г. д.т.н., проф., e-mail: [kosnatgen@ukr.net](mailto:kosnatgen@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Протягом 2018 – 2020 років кількість фермерських господарств в Україні скоротилася на 3,96%, а їх питома вага у загальній кількості сільськогосподарських підприємств – 67,4% до 67,0% (рис. 1). Внесок фермерських господарств у формування продукції сільського господарства протягом 2010...2020 років збільшився з 7,3% до 10,7%, у тому числі по рослинництву – із 9,7% до 13,2%, по тваринництву – із 1,7% до 2,5% (рис. 2).

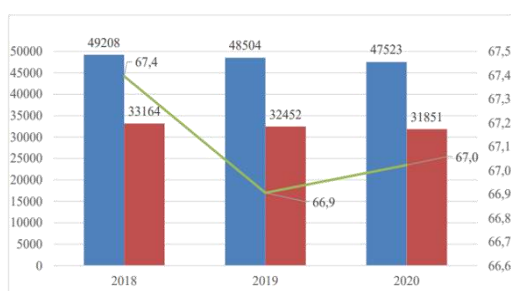


Рисунок 1– Динаміка кількості сільськогосподарських господарств та фермерських зокрема, од. Всього господарств (синій колір), вт. разі фермерські (червоний колір), питома вага ф.г. (зелений колір)

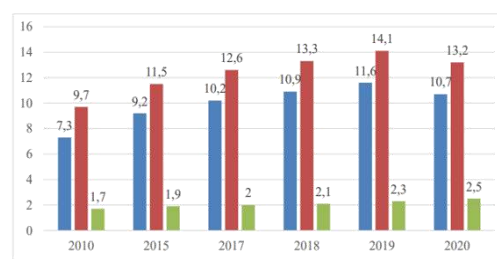


Рисунок 2 – Внесок фермерських господарств у формування продукції сільського господарства Всього (синій колір), рослинництво (червоний колір), тваринництво (зелений колір)

Фермерські господарства активно вкладають гроші в сучасні технології обробки сільськогосподарської продукції з метою отримання прибутку від її реалізації Ці технології пов'язані з фізичним методом впливу на насіння, які не завдають екологічної шкоди навколишньому середовищу. До таких технологій відносяться обробки ультразвуком, іонізуючими випромінюваннями та електромагнітними полями, а також термічний, фотоенергетичний чи оптичний вплив, у тому числі когерентними випромінюваннями. Мета роботи – це аналіз сучасних установок та електрофізичні методи обробки сільськогосподарської продукції для використання їх в технологічних процесах фермерських господарств.

**Основні матеріали досліджень.** Найбільший інтерес фермерів з погляду отримання екологічно чистої продукції мають фізичні методи на насіння рослин, реалізовані з урахуванням електричних і електромагнітних полів, обробки у постійному чи змінному магнітному полі, електростатичному полі й області коронного розряду. Один із таких методів, це електрична сепарація мінеральної сировини. Процеси в електростатичному полі і полі коронного розряду в установках сепарації зерна. Сепарація являє собою процес розділення сипучих сумішей речовин за фізичним складом, крупністю або формою з використанням енергії електричного поля. На рис. 3 приведено загальний вигляд електростатичного сепаратора барабанного типу ЕЛКОР-2 продуктивністю 300 кг/год, потужністю 1,9 кВт. На рис. 4 представлена мікрохвильова установка та її технічна характеристика передпосівної обробки насіння «Паросток». Сутність запропонованої технології полягає в тому, що при мікрохвильовій стимуляції ядра клітини насіння

відбувається істотне підвищення його внутрішньої енергії і потенціалу, що в свою чергу призводить до збільшення в 2 – 4 рази енергії їх проростання і схожості.

На рис. 5 представлена конвеєрна установка для УФ обробки бульб та коренеплодів УФО-К. Ступінь впливу ультрафіолетової радіації багато в чому визначається і будовою насіння. Найбільше пропускання в області ультрафіолету мають оболонки насіння жита і пшениці, за ними слідує овес і горох. Вся короткохвильова радіація, аж до 280 нм, повністю поглинається верхніми шарами ендосперми і зародка, а ті функціональні зміни, які мають місце після впливу ультрафіолетових променів, є наслідком фізико-хімічних процесів, що відбуваються в результаті обробки.



Рисунок 3 – Електростатична установка ЕЛКОР-2.



Рисунок 4 – Мікрохвильова установка «Паросток»



Рисунок 5 – Установка для ультра-афіолетової обробки насіння



Рисунок 6 – Аерозольна установка



Рисунок 7 – Установка для магнітної обробки насіння



Рисунок 8 – Установка лазерної обробки «Луч-2»

Великі Фермерські господарства використовують в своїх технологічних процесах електроаерозольні установки. Аерозолі, що несуть електричний заряд, носять назву електроаерозолів. Оскільки електричний заряд зменшує силу поверхневого натягнення, то величина окремих крапель знижується з 200...400 мкм до 10...20 мкм, що веде до тисячкратного збільшення поверхні крапель при однаковій масовій витраті рис. 6. Індукційний спосіб зарядки частинок полягає в тому, що перед форсункою розташовується кільцевий електрод, якому надається позитивний потенціал, а форсунка заземляється. На форсунці і, отже, в рідині індукується негативний заряд, обумовлений позитивним потенціалом електроду.

На рис. 7 представлена установка, яка створює низькоінтенсивне електромагнітне випромінювання у вигляді емісії хвиль вихрової природи з високочастотними компонентами поля в діапазоні від 2 до 26 кГц. Електрична  $E$  – більше 1 В/м, магнітна – більше 7 нТл. Градієнт магнітного поля на поверхні та поблизу теплообмінника становить 3,5 – 4 мкТл/м.

Установка лазерної обробки бульб та насіння Луч-2 рис. 8 використовує напівпровідникові лазерні діоди потужністю 100 мВт та працює в оптичному діапазоні 650 нм.

**Висновок.** Фермерські господарства активно вкладають гроші в сучасні технології обробки сільськогосподарської продукції з метою отримання екологічної чистої продукції на основі фізичних методів. Представлені сучасні установки, які випускає промисловість на основі електрофізичних методів обробки сільськогосподарської продукції.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бастрон А. В., Заплетина А. В., Логачёв А. В. Обзор СВЧ-установок для предпосевной обработки. Вестник КрасГАУ. 2015. №5. С.63 – 68.

ФІЗИЧНИЙ МЕХАНІЗМ ПРОСТОРОВОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЛАЗЕРНОГО  
ВИПРОМІНЮВАННЯ З БІОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

Титова Наталія<sup>1</sup>, д.т.н., проф., e-mail: [tnv.titova@gmail.com](mailto:tnv.titova@gmail.com)

Мамирбаєв Оркен<sup>2</sup>, PhD, асоційований професор, e-mail: [morkenj@mail.ru](mailto:morkenj@mail.ru)

Павлов Володимир<sup>3</sup>, м.н.с., аспірант e-mail: [psv@vntu.edu.ua](mailto:psv@vntu.edu.ua)

Никифорова Лариса<sup>4</sup>, д.т.н., проф., e-mail: [profnikiforova@gmail.com](mailto:profnikiforova@gmail.com)

Айтказіна Асель<sup>5</sup>, аспірантка, e-mail: [aitkazina.aseel@gmail.com](mailto:aitkazina.aseel@gmail.com)

Національний університет «Одеська Політехніка»<sup>1</sup>

Інститут інформаційних та комп'ютерних технологій МОН РК<sup>2</sup>, Алмати, Казахстан

Вінницький національний технічний університет<sup>3</sup>

Національний університет біоресурсів і природокористування України<sup>4</sup>

Казахський національний університет ім. Аль-Фарабі<sup>5</sup>

**Актуальність досліджень.** Довжина і частота хвилі визначають і іншу важливу характеристику електромагнітних полів: електромагнітні хвилі (коливання) переносяться частинками, які називаються квантами. Кванти хвиль більш високої частоти (і більш короткої довжини) переносять більше енергії, ніж поля більш низької частоти (з більш довгою хвилею). Деякі електромагнітні хвилі несуть таку велику кількість енергії в розрахунку на один квант, що вони здатні розірвати зв'язки, які утримують молекули між собою. В електромагнітному спектрі такою властивістю володіють гамма-промені, космічні та рентгенівські промені, що випромінюються радіоактивними речовинами.

**Мета роботи:** проаналізувати фізичний механізм просторової взаємодії лазерного випромінювання з біологічними об'єктами

**Основні матеріали досліджень.** Розглянемо деякі характеристики проникнення, поширення і поглинання електромагнітного випромінювання біоструктури, моделюючи їх суцільними середовищами з просторовим розподілом параметрів.

Глибина проникнення електромагнітного випромінювання в біологічні тканини - це відстань, на якій амплітуда електричного поля зменшується в  $e$  раз, а щільність потоку енергії - в  $e^2$  раз. Ця величина визначається за формулою:

$$d = \lambda_0 \left[ 2\pi^2 \varepsilon \cdot \left( (1 + tg^2 \delta)^{1/2} - 1 \right) \right]^{1/2},$$

де  $\lambda_0$  – довжина хвилі в вакуумі. Експериментальна перевірка показала, що теоретична формула дає дещо занижений результат, особливо для діапазону НВЧ. Цю розбіжність пояснюють неадекватністю моделі біосередовищ як суцільного середовища.

Загальна кількість поглиненої енергії електромагнітного випромінювання та її розподіл всередині біологічного об'єкта є складною функцією електричних властивостей тканин, їх загальних геометричних розмірів і умов опромінення. Об'єктивною характеристикою енергетичного впливу або питомого потужності поглинання (ППП) є частина енергії електромагнітного випромінювання, що поглинається одиницею маси в одиницю часу.

За даними довжини хвилі для різних електромагнітних випромінювань складена єдина шкала електромагнітних хвиль, в якій займають своє місце і радіохвилі, і рентгенівські промені, і інші види випромінювань. Видимий людським оком діапазон світла зайняв на шкалі дуже вузьку ділянку в діапазоні довжин хвиль від  $780 \cdot 10^{-9}$  м до  $380 \cdot 10^{-9}$  м, тобто від 780 до 380 нанометрів. Зліва до ділянки видимого світла примикає ділянка ультрафіолетового (УФ) випромінювання (від 10 до 380 нм), а праворуч знаходиться ділянка інфрачервоного (ІЧ) випромінювання (від 780 нм до 1 мм).



Таблиця 1 - Діапазони оптичного випромінювання [3 ]

| Назва випромінювання                         | Довжина хвилі, нм |
|--|-------------------|
| Ультрафіолетове випромінювання типу С (УФ-С) | 100...280         |
| Ультрафіолетове випромінювання типу В (УФ-В) | 280...315         |
| Ультрафіолетове випромінювання типу А (УФ-А) | 315...380         |
| Видиме світло                                | 380...780         |
| Інфрачервоне випромінювання типу А (ІЧ-А)    | 780...1400        |
| Інфрачервоне випромінювання типу В (ІЧ-В)    | 1400...3000       |
| Інфрачервоне випромінювання типу С (ІЧ-С)    | 3000нм...1 мм     |

При поглинанні лазерного випромінювання біотканинами з різними фізичними властивостями просторова когерентність не впливає на процес поглинання, оскільки поляризоване випромінювання поглинається менш активно ніж неполяризоване. У цьому випадку розсіювання видимого лазерного випромінювання при проходженні через біотканину значно перевищує поглинання (рис. 1). Це означає, що лазерне випромінювання має досить високу здатність проникнення в біотканини.



Рисунок 1 – Ілюстрація процесів проникнення лазерного випромінювання в біологічну тканину

Фотобіологічними називаються процеси з проявами на фізіологічному рівні, що відбуваються в біологічних системах при впливі випромінювання оптичного діапазону. Виділяють наступні їх стадії: фотофізичні – поглинання кванта світла і перенесення енергії збудженого стану; фотохімічні – хімічні перетворення молекул і фізіологічні – відповідь організму на випромінювання [1,2]. Поглинання кванта випромінювання оптичного діапазону призводить до порушення цілісності молекули, а отже, до підвищення її реакційної здатності, в результаті чого можуть відбуватися хімічні реакції, які були б неможливі в темряві. Такі реакції отримали назву фотохімічних, а продукти їх утворення – фотопродуктів.

**Висновок.** Розглянуті технології опромінення біологічних об'єктів за допомогою фототерапевтичних методів та апаратів, створених на базі напівпровідникових (діодних) лазерів і нових джерел квазімонохроматичного випромінювання - над'яскравих світло діодів, які в свою чергу і є основою низькоенергетичних світлодіодних технологій для впливу на БО.

*Робота виконана в рамках гранту Республіки Казахстан AP19677201*

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- Інтелектуальні технології в медичній діагностиці, лікуванні та реабілітації: монографія / [С. В. Павлова, О. Г. Авруніна, С. М. Злепка, Є. В. Бодянського та ін.]; за редакцією С. Павлова, О. Авруніна. Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К», 2019. 260 с.
- Фотодинамічна терапія з вибірконим лазерним сканувальним опроміненням поверхневих новоутворень : монографія / за заг. ред. С. В. Павлова. Вінниця : ВНТУ, 2018. 180 с.
- Лазерні медичні технології : навчальний посібник, за ред. Готри З. Ю., Павлова С. В. та ін. Вінниця : ВНТУ, 2017. 158 с.

ВИМОГИ ДО СПЕКТРАЛЬНОГО СКЛАДУ ВИПРОМІНЮВАННЯ  
В СВІТЛОКУЛЬТУРІ РОСЛИН

Червінський Л. С., д.т.н, проф., e-mail: [lchervinsky@gmail.com](mailto:lchervinsky@gmail.com)

Луцак Я. М., інженер, e-mail: [lutsak2245@gmail.com](mailto:lutsak2245@gmail.com)

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Актуальність дослідження.** В результаті багаторічних досліджень вченими в різних країнах [2] було встановлено, що всі рослини можна розділити на дві основні групи: світлолюбні і сутінколюбні. Причому, їх продуктивність значно залежить від спектрального складу опромінення.

**Мета досліджень.** Визначити вплив спектрального складу і інтенсивності опромінення на продуктивність рослин.

**Основні матеріали досліджень.** Проведено лабораторні дослідження порівняння ефективності впливу спектрального складу різних штучних джерел фотосинтезного випромінювання. Для отримання рівномірності потоку випромінювання на опромінюваній площині використовували опромінювачі типу РСП-ВОТ-02 з лампами ДНаТ-250 та ДРИ-250-5, а також світлодіодний випромінювач з червоними і синіми світлодіодами (у співвідношенні 3:2 відповідно).

Для визначення ефективного режиму опромінення дослідження проводились при п'яти рівнях опромінення ФАР: 40, 50, 60,70, 80 Вт/м<sup>2</sup> (при застосуванні розрядних ламп) та, відповідно, 5, 7,5, 10, 12,5, 15 Вт/м<sup>2</sup> при застосуванні світлодіодних світильників. При кожному з яких проводилися чотириразні вимірювання та обчислення. При цьому питома споживана потужність установки з розрядними лампами становила 312 Вт/м<sup>2</sup>, світлодіодного опромінювача – 18,5 Вт/м<sup>2</sup>. Дослідження проводились на ранніх тепличних культурах: салаті-латук та цибулі-шалот, яка вирощується на зелене перо.

**Висновок:** Аналіз результатів досліджень дозволив стверджувати :

1. Найбільш сприятливими для вирощування світлолюбних рослин є інтенсивності світла в межах 150-350 Вт/м<sup>2</sup>, а оптимальний склад випромінювання має наступне співвідношення енергій по спектру: 30% - у синій області (380-490 нм), 20% - в зеленій (490-590 нм) і 50% - в червоній області (600-700 нм).

2. Встановлено, що морфометричні показники рослини досягають максимального значення при рівнях опромінення 60-70 Вт/м<sup>2</sup> для розрядних джерел світла та 12-15 Вт/м<sup>2</sup> для світлодіодів. В умовах низького рівня освітленості формуються тонкі та більш зневоднені паростки.

ПЕРЕЛІК ПОСЛИЛАНЬ

1. Червінський Л. С. Використання світлодіодів у світлокультурі тепличних рослин / Червінський Л. С., Сторожук Л. О., Луцак Я. М. // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Київ: НУБіП, 2015. Вип.209, частина 2: Техніка та енергетика АПК. С.153–159

2. Червінський Л. С. Особливості застосування світлодіодних джерел світла в світлотехнічних установках / Червінський Л. С., Луцак Я. М.// Науково-технічний журнал «Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК». Харків: ХНТУСГ, 2015 №1 (3). С. 43–45.

3. Червинский Л. С. Обоснование влияния спектрального состава источников световой энергии на жизнедеятельность растений в сооружениях закрытого грунта / Червинский Л. С., Луцак Я. Н. // Теоретический и научно-практический журнал Всероссийского научно-исследовательского института электрификации сельского хозяйства «Инновации в сельском хозяйстве». Москва: ВИЭСХ. 2016 Выпуск №4(9) С. 180-187.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УСТАНОВОК ОПТИЧНОГО ОПРОМІНЮВАННЯ  
В БІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ РОСЛИННИЦТВА

Червінський Л. С., д.т.н., проф., e-mail: [lochervinsky@gmail.com](mailto:lochervinsky@gmail.com)

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Актуальність дослідження.** На даний час при переході до ринкових відносин застосування оптичного випромінювання в АПК необгрунтовано зменшилось. Однак відомо, що в технологічному процесі культиваційних споруд рослинництва оптичному випромінюванню немає альтернативи. Воно є найважливішим чинником фотосинтезу, що створює мікроклімат для активного росту і розвитку рослин. Оптичне випромінювання, як вид енергії, має важливі особливості. По-перше, позитивна дія оптичного випромінювання досягається завдяки проникаючій здатності випромінювання і його специфічній дії на клітинному і молекулярному рівні в біологічному об'єкті. По-друге, розповсюдження оптичного випромінювання відбувається прямолінійно по осі кута поширення, але при зменшенні щільності по площі нормального перетину. По-третє, розподіл енергії оптичного випромінювання є залежним не тільки по спектру і тривалості опромінення, але і по просторовим координатам [1].

**Мета дослідження** – дослідити енергетику взаємного положення джерела випромінювання і опромінюваної технологічної поверхні та обгрунтувати параметри установки змінного опромінення для вирощування рослин в культиваційних спорудах.

**Результати дослідження.** З урахуванням особливостей отримання оптичного випромінювання енергетику електротехнологічного процесу опромінення рослин, можна представити рядом перетворень енергії (рис. 1).

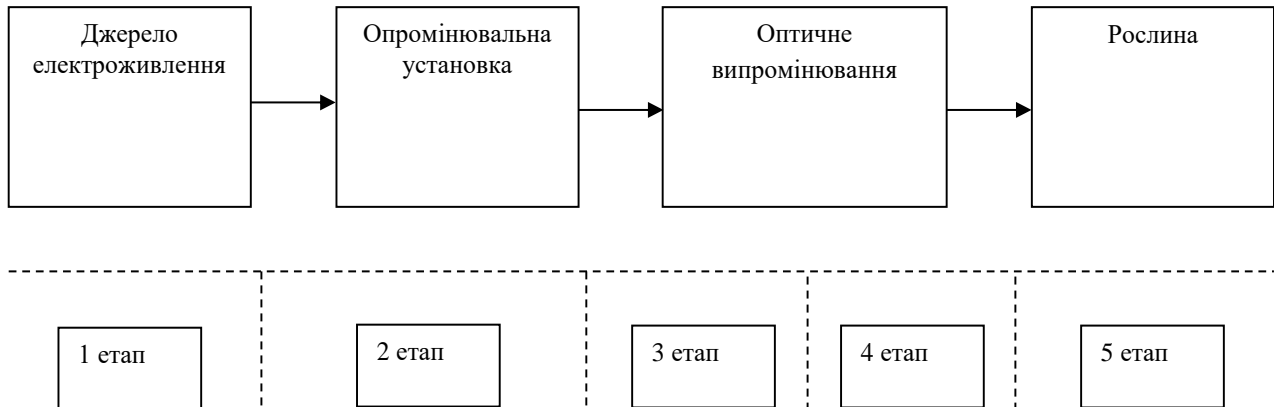


Рисунок 1 – Схема перетворення енергії в біотехнічній системі

Згідно з рис. 1. технічні засоби перетворення електричної енергії в оптичне випромінювання, оптичне випромінювання та сприймаюча його рослина утворюють біотехнічну систему. Перетворення енергії можуть бути представлені послідовністю ряду етапів: 1 етап – подача електроенергії від джерела до джерела установки; 2 етап – генерування потоку оптичного випромінювання в джерелі випромінювання установки; 3 етап – формування потоку оптичного випромінювання в заданому напрямку; 4 етап – формування поверхневого розподілу енергії потоку оптичного випромінювання на технологічній поверхні рослин; 5 етап – поглинання енергії оптичного випромінювання рослиною і перетворення її в інший вид енергії.

Енергетичні втрати на різних етапах в процесі цих перетворень обумовлюють низьку ефективність використання енергії оптичного випромінювання і високу енергоємність.

Необхідно відзначити, що, за різними оцінками, втрати електроенергії в них перевищують половину галузевих втрат всіх електроустановок при частці споживаної енергії 20 % [1]. Процеси опромінення характеризуються малою часткою корисно використаної енергії, незважаючи на істотну величину електроенергії, спрямовану в сільському господарстві на ці цілі. Тому пошук можливостей економії електроенергії шляхом підвищення ефективності споживання є важливим практичним завданням. У зв'язку з цим проблема енергозбереження та енергоефективності є неодмінною умовою застосування фотосинтезних опромінювальних установок у спорудах захищеного ґрунту. Разом з тим, пошук зниження втрат на кожному етапі технологічної схеми повинен застосовуватися там, де оптичне випромінювання підвищує якість і кількість продукції, збільшує продуктивність праці і економічно себе виправдовує.

Таким чином, якщо розглядати електротехнологічний процес опромінення рослин з точки зору зменшення енергетичних втрат на етапах створення і перетворення оптичного випромінювання, необхідно враховувати:

1. Раціональний вибір світлотехнічного обладнання, яке використовується в опромінювальній установці.

2. Раціональний просторовий розподіл оптичного випромінювання (застосування різних способів опромінення: змінний, імпульсний, комбінований і т.д.).

3. Раціональний розподіл оптичного випромінювання по опромінюваній поверхні (враховуючи особливості фітоценозу).

4. Реакцію рослини на фотобіологічну дію оптичного випромінювання використовувати як відгук біотехнічної системи. Причому, на основі аналізу раніше проведених досліджень в даному напрямку виявлено, що не достатньо розглянуто питання про ефективне взаємне положення джерела випромінювання і опромінюваної технологічної поверхні.

**Висновки.** Питома продуктивність рослин залежить від збільшення біомаси рослини. Для цього необхідно створити рівномірність опромінення робочої поверхні за рахунок регулювання кута похилої поверхні.

Один опромінювач розрахований на опромінення певної площі, якщо збільшувати площу, то продуктивність зменшується.

Змінна опромінення, що створюється рухомими опромінювачами, збільшує питому продуктивність рослин, але стримуючим фактором є шлях одного ходу опромінювача.

Таким чином, необхідно оптимізувати параметри опромінювальної установки, а саме швидкість руху опромінювачів і кут похилої поверхні.

Критерієм оптимізації є маса сухої речовини рослини як показник ефективності застосування даного технічного рішення.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Карпов В. Н. Энергосбережение в оптических электротехнологиях АПК. Прикладная теория и частные методики / В. Н. Карпов, С. А. Ракутько. СПб. : СПбГАУ, 2009. 100 с.

2. Леман, В. М. Курс светокультуры растений / В. М. Леман. Москва: Высш. шк., 1976. 272 с.

3. L. Chervinsky, M. Tregub, S. Makoda . Pre-Sowing Stimulation of Wheat Seed Growth By Infrared Radiation. Malaysian Journal of Sustainable Agriculture Journal of Sustainable Agricultures, 2022, 6(2): 72-73.

## ФІЗИЧНА СУТНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ НАСІННЯ ЕНЕРГІЄЮ НВЧ-ПОЛЯ

Чорна М. О., к.т.н., доц., e-mail: [masher1533@gmail.com](mailto:masher1533@gmail.com)Сухін В. В., ст. викл., e-mail: [yv.suhin@btu.kharkov.ua](mailto:yv.suhin@btu.kharkov.ua)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Сучасні тенденції в галузі знезараження насіння перед посівом спрямовані на пошук нових раціональних та екологічно чистих технологій. Перспективним у вирішенні поставленого завдання є спосіб обробки насіння в електромагнітному полі надвисокої частоти (ЕМП НВЧ), він поєднує в собі електричні та теплові процеси впливу на насіння та дозволяє здійснювати їх регулювання

**Метою статті** є теоретичне обґрунтування використання електромагнітного випромінювання для сушки та дезінфекції насіння.

**Основні матеріали дослідження.** Одним із найважливіших параметрів діелектричних матеріалів є діелектрична проникність. За фізичним змістом діелектрична проникність – кількісна міра інтенсивності процесу поляризації. Поляризація є усунення пов'язаних зарядів під дією зовнішнього електричного поля. Основними видами поляризації є електронна, іонна та дипольна. [1].

Електронна поляризація – пружне усунення електронних орбіт щодо ядра в атомах та молекулах під дією зовнішнього електричного поля. Іонна поляризація – це пружне усунення протилежно заряджених іонів у вузлах кристалічних ґрат під дією зовнішнього електричного поля. Іонна та електронна поляризація відбуваються без втрат енергії.

Дипольна поляризація характерна для полярних діелектриків, до яких відноситься вода. Полярні молекули мають несиметричну будову. Центри тяжкості різнойменних зарядів у них не збігаються, і тому відсутність зовнішнього електричного поля ці молекули є диполі. Під дією постійного зовнішнього електричного поля, що змінюється міжмолекулярне тертя, що веде до нагрівання води.

Діелектричні втрати, віднесені до одиниці об'єму діелектрика, називають питомими втратами  $P$ , Вт, які можна розрахувати за формулою:

$$P=2\pi fE^2 \varepsilon_r \varepsilon_0 \operatorname{tg} \delta \quad (1)$$

де  $f$  – частота ЕМП, Гц;

$E$  – напруженість електричного поля кВ/м;

$\varepsilon_r$  – відносна діелектрична проникність;

$\varepsilon_0$  – електрична постійна (діелектрична проникність вакууму,  $8,85410^{-12}$  Ф/м);

$\operatorname{tg} \delta$  – тангенс кута діелектричних втрат.

Відомо, що кожен полярний діелектрик має свою резонансну частоту, за якої відбувається максимальне поглинання енергії електромагнітного поля, тобто. при певній частоті тангенс діелектричних втрат  $\operatorname{tg} \delta$  максимальний.

У діапазоні частот 106...1010 Гц неполярні діелектрики, наприклад сухе зерно, поведуться як прозоре середовище, тобто. не поглинають електричну енергію. Тангенс кута втрат води дорівнює 0,95 і він приблизно в 600 разів більше, ніж сухого зерна пшениці (0,0016). Таким чином, енергія електромагнітного поля при обробці попередньо зволоженого насіння поглинається в основному водою.

Однак, наявність у воді розчинів мікроелементів, рідких комплексних добрив призводить до того, що розчин, що вийшов, володіє досить високою електропровідністю. Електрично заряджені частинки під впливом зовнішнього електромагнітного поля спрямовано переміщуються у розчині, створюючи струм провідності.

У процесі знезараження насіння енергією надвисокочастотного поля необхідно шляхом зволоження розділити діелектричні властивості насіння та паразитуючих грибних та вірусних інфекцій, що знаходяться на їх поверхні та внутрішніх структурах [1].

Оскільки віруси, гриби, бактерії мають великий вологопоглинальною здатністю, вони вбирають воду в десятки разів швидше, ніж зерно. Через 3 – 15 хв після замочування вони набухають, їх вологість досягає 80 - 90%. Насіння ж за цей проміжок не встигає зволожитися і залишаються практично сухими.

В електромагнітному полі надвисокої частоти основна частина енергії поглинається вірусами, грибами, бактеріями, які в результаті швидкого (10...30 с) виборчого нагріву інактивують (гинуть) [1, 2]. Температура насіння у своїй підвищується незначно. Крім того, завдяки прогріву насіння стимулюються зростання та розвиток рослин [2].

Наукові дослідження та впровадження з електротехнології почалися в початку 30-х років нашого століття і безперервно розвиваються.

З розвитком досліджень почалося використання специфічних особливостей електрофізичного впливу на живі організми та їх продукцію. Наприклад, для очищення та сортування сільськогосподарської продукції в ЕМП – електролікування та захист рослин та тварин від хвороб та шкідників, пригнічення та знищення бур'янів, хвороботворних мікроорганізмів у ґрунті [2], активізація, електростимуляція та

управління зростанням рослин та тварин, а також підвищення їх резистивності до хвороб, подовження термінів безпеки продукції.

У електротехнологіях електроенергія впливає безпосередньо або перетворюється на оптичні випромінювання, електричні імпульси та електроіскрові розряди, ультразвук ЕМП різних частот, а також інші види та форми [2].

Як показує вивчення стимулюючої дії електромагнітного поля різних діапазонів на насіння, в біологічно активному середовищі зародка відбувається перехід активних частинок у збуджений стан.

Енергія вторинного випромінювання в біосистемі зародка мізерна, але якщо його часткова характеристика відповідає певному біологічно активному спектру, то цієї енергії може виявитися достатньо для того, щоб у сприятливих умовах зовнішнього середовища (достатня кількість тепла, вологи) почати складні ланцюгові біологічні реакції та інтенсивний ростовий процес поділу клітин [133].

Отже, у всіх природних явищах провідна роль належить енергії, перетворення якої у життєво важливих процесах відбувається на молекулярному та електронному рівнях. Результатом дії випромінювань з високим енергетичним рівнем на біологічну систему є збільшення її енергетичних ресурсів.

Крім того встановлено, що насінневі інфекції не однаково реагують на "вплив" ЕМП НВЧ. Одні з них слабо стійкі до нього та повністю гинуть протягом короткої експозиції, для 100% загибелі інших потрібно більш тривалий час.

**Висновки.** Численними дослідженнями, проведеними з різними с/г культурами у лабораторних та польових умовах, встановлено, що параметри НВЧ обробки насіння викликає у рослин не один, а комплекс ефектів. Це загибель інфекційних захворювань, підвищення енергії проростання та збільшення схожості [2].

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Analysis of characteristics of semi-disc leucosapphire resonator with electronic frequency tuning. N. G. Kosulina, M. O. Chorna, I. I. Boroday, T. V. Nosova, O. G. Avrunin, Valerii V. Semenets. Telecommunications and Radio Engineering Vol. 81. 2022. P. 43 – 45.

2. Чорна М. О. Використання інформаційних електромагнітних технологій в сільському господарстві/ М. О. Чорна, М. В. Вусатий // Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України, 2019. Вип. 152. С. 141 – 142.

## STUDY OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF SOME ANIMAL'S OOCYTES

Victor Shigimaga, D.Sci. (Biomed), Prof., e-mail: [biovidoc@btu.kharkov.ua](mailto:biovidoc@btu.kharkov.ua)

State Biotechnological University

**Relevance.** The most interesting biological objects in the latest research in the field of cell engineering are oocytes (eggs) of the mammalian class animals. These cells are mainly used in reproductive technologies, including biomedical technologies for the reproduction of human embryos, including, in particular, methods and technical means of cryobiology [1-3]. The use of various cell engineering technologies requires a certain degree of electroporation of living cell membranes, which is ensured by a given electric field strength. It has been established that the electrical conductivity of the entire cell in a pulsed electric field of rising strength (PEFRS) can serve as an indicator and at the same time an integral characteristic of the degree of electroporation from reversible to irreversible electrical breakdown of the membrane [4-6]. Therefore, the research of electrical conductivity is an adequate process for obtaining data characterizing membrane electroporation.

**Purpose.** This work was carried out with the aim of obtaining comparative characteristics of the electrical conductivity of some mammal's oocytes for further use in various cell engineering technologies that use the electroporation phenomenon of the cell membrane.

**Results.** To study the conductivity dynamics, the method and device for pulsed conductometry of single animal cells in PEFRS were used [4, 5]. Electrical conductivity studies were performed on oocytes of mammalian animals of the following species: mouse, rabbit, pig and cow. The results were processed using the algorithm proposed earlier [4, 6]. The instrumental error of the primary measurements did not exceed 4%.

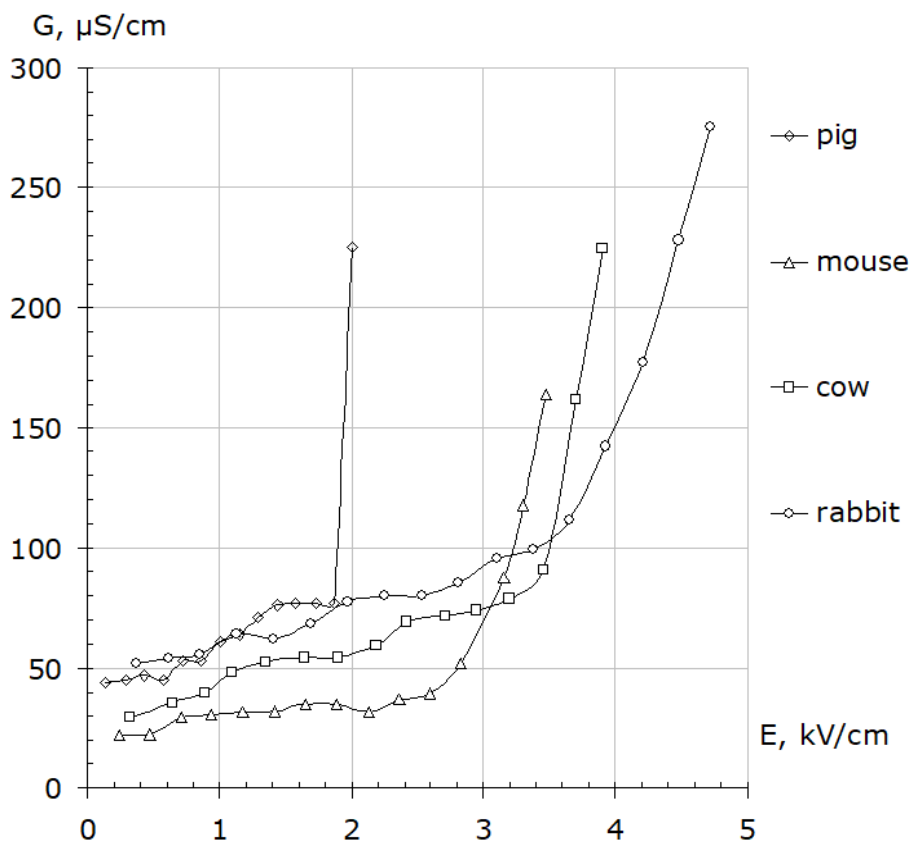


Figure 1 - Dependences the conductivity of pig, mouse, cow and rabbit oocytes on field strength.

Fig. 1 shows the dependences of electrical conductivity in the PEFRS of mouse, cow, pig and rabbit oocytes in comparison.

From Fig. 1 shows that the electrical conductivity of the oocytes of these animals has significant species-specific characteristics and differences. Thus, based on the nature of the dependence of the studied cells electrical conductivity on the field strength, it was established that pig oocytes were the least resistant to electrical breakdown. The electrical breakdown field strength of their membrane is on average  $E_{br} = 1.8$  kV/cm. Then, mouse oocytes  $E_{br} = 2.7$  kV/cm were more resistant to electrical breakdown, followed by cow oocytes  $E_{br} = 3.2$  kV/cm and rabbit oocytes  $E_{br} = 3.5$  kV/cm.

The initial electrical conductivity of rabbit oocytes turned out to be higher than other cells, which can apparently be explained by their poorer lipid composition (lipid - dielectric). All oocytes, except rabbit oocytes, were prone to a sharper electrical breakdown, while rabbit oocytes showed the most extended electrical breakdown process (the conductivity slope in the breakdown region is the smallest). This is also indicated by the higher rate of increase in conductivity. This can be associated both with the characteristics of the lipid composition of their membrane and with its physical and mechanical properties, i.e. The method of pulsed conductometry at the PEFRS is a convenient tool for the objective study of not only these, but also, in the prospective, the biochemical properties of animal reproductive cells.

Thus, a graphical representation of changes in cell electrical conductivity in PEFRS makes it possible to detect and study all stages of membrane electroporation and purposefully select the required mode of action of PEFRS on the cells of various animals in accordance with the task during one of the processes of cell engineering.

### Conclusions.

As a result of the study, experimental dependences of the electrical conductivity of pig, mouse, cow and rabbit oocytes in a pulsed electric field of increasing strength were obtained. Significant species-specific differences in the electrical conductivity of oocytes have been established, which can be explained by differences in the structure and composition of membranes and cells in general.

### REFERENCES

1. Yarmush M. L., Golberg A., Serša G., Kotnik T., & Miklavčič D. Electroporation-Based Technologies for Medicine: Principles, Applications, and Challenges // Annual Review of Biomedical Engineering. 2014. V. 16(1). P. 295–320. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-BIOENG-071813-104622>
2. Smolyaninova, Ye. I., Shigimaga, V. A., Kolesnikova, A. A., Popivnenko, L. I., Todrin, A. F. Electric Conductivity and Resistance of Mouse Oocyte Membranes to Effect of Pulsed Electric Field in Cryoprotectant Solutions // Problems of Cryobiology and Cryomedicine. 2018. 28(4). P. 311–321. <https://doi.org/10.15407/cryo28.04.311>
3. Smolyaninova E. I., Shigimaga V. A., Strikha O. A., Popivnenko L. I., Lisina E.G. Effect of Cryopreservation Stages by Vitrification in Ethylene Glycol and Sucrose Medium on 2-Cell Murine Embryos Electric Conductivity // Problems of Cryobiology and Cryomedicine. 2013. V. 23(3). N. 3. P. 228–239.
4. Шигимага В. А., Мегель Ю. Е. Применение метода импульсной кондуктометрии для исследования электрических характеристик биологических клеток // Праці Інституту електродинаміки НАН України: 36. наук. пр. К.: ІЕД НАНУ, 2012. Вип 31. С. 147-154.
5. Shigimaga V. A. Pulsed conductometer for biological cells and liquid media//Measurement Techniques. 2013. - 55(11). P. 1294–1300. <https://doi.org/10.1007/s11018-013-0124-2>
6. Shigimaga V. A. Conductometry in Pulsed Electric Field with Rising Strength: Bioelectrochemical Applications //Analytical and Bioanalytical Electrochemistry. 2019. 11(5). P. 598-609.



## PHYSIOTHERAPEUTIC CORRECTION OF A PERSON'S PSYCHO-EMOTIONAL STATE

Valerii Shchiepin, bachelor's student, e-mail: [vshepin228@gmail.com](mailto:vshepin228@gmail.com)

Dmitro Trushakov, Ph.D. of Engineering Sciences, Assos. Prof.,

e-mail: [dmitro.trushakov@gmail.com](mailto:dmitro.trushakov@gmail.com)

Oleksandr Kozlovskiy, Ph.D. of Engineering Sciences, Assos. Prof.,

e-mail: [kozlovskiyioa@gmail.com](mailto:kozlovskiyioa@gmail.com)

Central Ukrainian National Technical University

**Relevance of research.** At the current stage of the development of society, it is the mental health of a person that is most and primarily exposed to negative influence. This is due to the acceleration of the pace of people's lives, the growth of the role of information in it, the need to constantly make a large number of complex decisions. As a result, situations arise in the life of every person, which are associated with the deterioration of his psycho-emotional state. There are two main approaches to its recovery: drug therapy and physical therapy.

Although drug therapy is considered the main treatment method, it has a number of side effects. In addition, there is a significant number of people who fundamentally refuse to take chemical preparations. Therefore, more and more attention is paid to alternative methods of treatment such as physiotherapy. With the development of physics and the appearance of electricity, artificial methods of physiotherapy began to develop rapidly, that is, those that allow hardware to reproduce physical factors used for therapeutic purposes.

Thus, the development of artificial physiotherapeutic methods and means to improve the psycho-emotional state of a person is relevant.

**The purpose of the study.** is to improve the operational characteristics of the device developed by us for correcting the psycho-emotional state of a person, which emits light streams of different colors and intensities.

**Basic research materials.** It is common knowledge that colors affect the human psyche to one degree or another, so all modern research is aimed at using this effect on the human brain in order to improve well-being. The work [1] presents the results of studies that prove that the use of a certain color effect contributes to a more positive mood of a person. It is also known that the microclimate in the room has a significant effect on the mood, health and working capacity of a person [2]. Using magnetoencephalography, scientists discovered the dynamic geometry of the neural representation of color [3]. They managed to find out that the brains of different people process colors in a similar way - and each shade of color causes different activation of the brain.

We developed a model of a device for correcting the psycho-emotional state of a person [4]. The basis of his work was the emission of light streams of various colors and intensities, as well as the creation of comfortable conditions for a person in a room (by changing the temperature and humidity of the air). The conducted experimental studies of the device confirmed that the emission of multi-colored light effects leads to a change in the  $\alpha$ ,  $\beta$ -rhythms of the brain, and therefore affects the psycho-emotional state of a person, an act of scientific research was obtained (the research was carried out in the KNP "Regional Clinical Psychiatric Hospital of the Kirovohrad Regional Council") [4]. However, this device had a drawback - the lack of ability to control the air conditioner and air humidifier at specified time intervals according to the specified work algorithm. Therefore, it was improved by adding a cyclic time relay to its circuit, which made it possible to control the air conditioner and humidifier [5]. As a result of these improvements, the device acquired a complex design (its principle of operation is based on the operation of two microcontrollers).

In fig. 1 presents a structural diagram of a modernized device for correcting (improving) the psycho-emotional state of a person, which does not have the indicated shortcomings. Its basis is one microcontroller unit (MCU), to which measuring transducers for air temperature (AT), relative air

humidity (AH) and atmospheric air pressure (AP), a receiver-transmitter module (RTM), an IR transmitter (IR) and matrix of ARGB LEDs (ARGB).

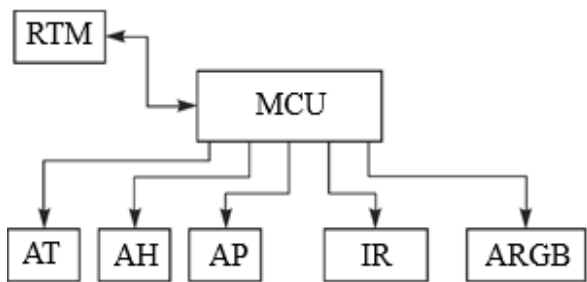


Figure 1 – Structural diagram of the device.

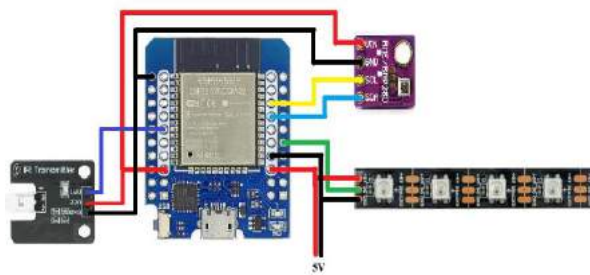


Figure 2 – Layout of the device control unit.

Based on the developed structural diagram, a model of the device control unit was made (Fig. 2). The working principle of the model of the modernized device is as follows. After turning on the device, it communicates with the user's mobile device via a radio channel. Next, the measurement transducers are polled and information about the state of the microclimate in the room is transmitted to the user's mobile device. With the help of a pre-installed application on a mobile device, the user selects the necessary scenario of visual effects and, in accordance with the doctor's recommendations, performs its settings (setting the type of light effects, their color, intensity, duration). Data on temperature and air humidity are processed by the device and, if necessary, it turns on the air conditioner and air humidifier by playing remote control commands. When the microclimate parameters in the room approach the corresponding preset values, the device sends a signal and, at the user's command, starts playing light effects according to a pre-selected scenario on the advice of a psychotherapist. After the end of the display of light effects, the device turns off the air conditioner and humidifier and goes into standby mode.

The peculiarity of the device is that it can be used not only for treatment. A number of "soft" scenarios of light effects are provided, which can be started every day, for example, in the morning, play certain light effects, which will help you wake up faster.

Therefore, the developed layout of the device has a simpler design and, at the same time, allows controlling household devices that create a microclimate in the room via the IR channel.

**Conclusions.** A mock-up of a modernized microcontroller device was developed for correcting (improving) the psycho-emotional state of a person by emitting multi-colored light streams, as well as maintaining optimal microclimatic conditions in the room, which generally lead to an improvement in the psycho-emotional state of a person. Clinical studies were conducted by recording the encephalogram of the brain when the device emits multi-colored light effects. A certificate of scientific research was obtained, which confirms the ability of the device to influence the psycho-emotional state of a person.

#### REFERENCES

1. Küller R., Ballal S., Laike T., Mikellides B. & Tonello G. The impact of light and colour on psychological mood: a cross-cultural study of indoor work environments. *Ergonomics*. 49:14, 2006, p. 1496-1507.
2. DSN 3.3.6.042-99. Sanitarni normy mikroklimatu vyrobnychych prymishchen. – Zatverdzh. postanovoiu Holovnoho derzhshanlikaria Ukrainy vid 01.12.1999 r. № 42.
3. Rosenthal I. A., Singh S. R., Hermann K. L., Pantazis D. & Conway B. R. Color Space Geometry Uncovered with Magnetoencephalography. *Current Biology*, February 8, 2021, p. 515-526.
4. Shchiepin V. V., Trushakov D. V., Sirikov O. I. Prystirii dlia korektsii psykhoemotsiinoho stanu liudyny. Tsentralnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky. 2021. Vyp. 4(35). S. 100-108.
5. Pat. 150453 Ukraina MPK (2006.01), H03J 9/06, G02B 26/04. Prystirii dlia korektsii psykhoemotsiinoho stanu liudyny / V. V. Shchiepin, D. V. Trushakov; zaiavnyk i volodilets Tsentralnoukrainskyi natsionalnyi tekhnichniyi universytet. № u 202106072; zaiavl. 29.10.2021; opubl. 16.02.2022, Biul. № 7.

## ФІЗИОТЕРАПЕВТИЧНА КОРЕКЦІЯ ПСИХОЕМОЦІЙНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ

Щепін В. В., бакалаврант, e-mail: [vshepin228@gmail.com](mailto:vshepin228@gmail.com)  
Трушаков Д. В., к.т.н., доц., e-mail: [dmitro.trushakov@gmail.com](mailto:dmitro.trushakov@gmail.com)  
Козловський О. А., к.т.н., доц., e-mail: [kozlovskyioa@gmail.com](mailto:kozlovskyioa@gmail.com)  
Центральноукраїнський національний технічний університет

**Актуальність дослідження.** На сучасному етапі розвитку суспільства саме психічне здоров'я людини найбільше та в першу чергу піддається негативному впливу. Це пов'язано з прискоренням темпу життя людей, зростанням в ньому ролі інформації, необхідністю постійного прийняття значної кількості складних рішень. У результаті в житті кожної людини виникають ситуації, що пов'язані з погіршенням її психоемоційного стану. Для його відновлення існує два головні підходи: медикаментозна терапія та фізіотерапія.

Медикаментозна терапія хоч вважається основним лікувальним методом, однак має ряд побічних ефектів. Крім того, є значна кількість людей, що принципово відмовляються приймати хімічні препарати. Тому все більше уваги приділяється альтернативним методам лікування таким як фізіотерапія. З розвитком фізики, появою електрики почали стрімко розвиватися штучні методи фізіотерапії, тобто ті, що дозволяють апаратними засобами відтворювати фізичні фактори, які використовуються з лікувальною метою.

Таким чином, розробка штучних фізіотерапевтичних методів і засобів для покращення психоемоційного стану людини є актуальною.

**Метою дослідження** є покращення експлуатаційних характеристик розробленого нами приладу для корекції психоемоційного стану людини, що випромінює світлові потоки різного кольору та інтенсивності.

**Основні матеріали досліджень.** Загальновідомо, що кольори в тій чи іншій мірі впливають на психіку людини, тому всі сучасні дослідження направлені на використання цього впливу на мозок людини з метою покращення самопочуття. У праці [1] представлені результати досліджень, які доводять, що використання певного кольорового ефекту сприяє більш позитивному настрою людини. Також відомо, що на настрій, здоров'я і працездатність людини суттєвий вплив має мікроклімат у приміщенні. Вчені за допомогою магнітоенцефалографії відкрили динамічну геометрію нейронної репрезентації кольору [3]. Їм вдалося з'ясувати, що мозок різних людей обробляє кольори схожим чином – причому кожний відтінок кольору викликає різну активізацію мозку.

Нами було розроблено макет приладу для корекції психоемоційного стану людини [4]. В основу його роботи було покладене випромінювання світлових потоків різного кольору та інтенсивності, а також створення комфортних умов людині у приміщенні (шляхом зміни температури та вологості повітря). Проведені експериментальні дослідження пристрою підтвердили, що випромінювання різнокольорових світлових ефектів призводить до зміни  $\alpha$ ,  $\beta$ -ритмів головного мозку, а отже впливає на психоемоційний стан людини, отримано акт проведення науково-дослідної роботи (дослідження проведенні в КНП «Обласна клінічна психіатрична лікарня Кіровоградської обласної ради»)[4]. Однак, цей прилад мав недолік – відсутність можливості керувати кондиціонером та зволожувачем повітря в задані інтервали часу згідно заданого алгоритму роботи. Тому він був удосконалений шляхом додавання в його схему циклічного реле часу, що дало змогу керувати кондиціонером і зволожувачем повітря [5]. У результаті цих удосконалень прилад набув складної конструкції (його принцип дії базується на роботі двох мікроконтролерів).

На рис. 1 представлено структурну схему модернізованого приладу для корекції (покращення) психоемоційного стану людини, в якому відсутні вказані недоліки. Його основою є один мікроконтролерний блок (МКБ), до якого підключені вимірвальні перетворювачі температури повітря (ТП), відносної вологості повітря (ВП) та атмосферного

тиску повітря (АТ), приймально-передавальний модуль (ППМ), IR-передавач (IR) і матриця з ARGB-світлодіодів (ARGB).

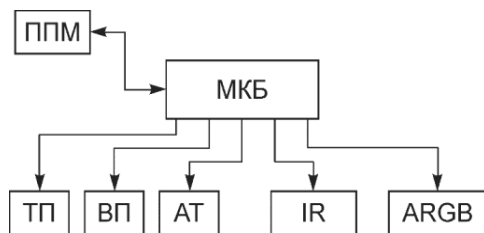


Рисунок 1 – Структурна схема приладу

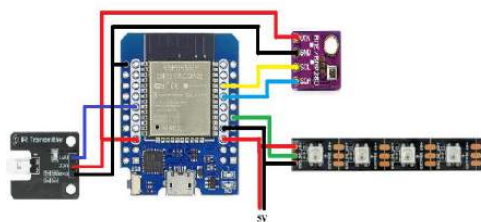


Рисунок 2 – Макет блоку керування приладу

На основі розробленої структурної схеми був виготовлений макет блоку керування приладом (рис. 2). Принцип роботи макету модернізованого приладу полягає у наступному. Після вмикання пристрою він зв'язується по радіоканалу з мобільним пристроєм користувача. Далі проводиться опитування вимірювальних перетворювачів і передавання інформації про стан мікроклімату в приміщенні на мобільний пристрій користувача. За допомогою попередньо встановленого застосунку на мобільному пристрої користувач вибирає необхідний сценарій візуальних ефектів і відповідно до рекомендацій лікаря виконує його налаштування (встановлення типу світлових ефектів, їх кольору, інтенсивність, тривалість). Дані про температуру та вологість повітря опрацьовується приладом і за необхідності, він вмикає кондиціонер і зволожувач повітря, шляхом відтворення команд пультів дистанційного керування. При наближенні параметрів мікроклімату у приміщенні до відповідних наперед заданих значень, що відповідають прилад подає сигнал і за командою користувача запускає відтворення світлових ефектів згідно попередньо обраного сценарію за порадою лікаря психотерапевта. Після закінчення показу світлових ефектів прилад вмикає кондиціонер і зволожувач повітря та переходить у режим очікування.

Особливістю приладу є те, що він може викорисовуватися не лише для лікування. Передбачено ряд «м'яких» сценаріїв світлових ефектів які можливо запускати кожного дня, наприклад, вранці відтворювати певні світлові ефекти, що допоможе швидше прокинутися.

Отже, розроблений макет приладу має більш просту конструкцію і, в той же час, дозволяє керувати по IR-каналом побутовими пристроями, що створюють мікроклімат у приміщенні.

**Висновки.** Розроблено макет модернізованого мікроконтролерного приладу для корекції (покращення) психоемоційного стану людини шляхом випромінювання різнокольорових світлових потоків, а також підтримання оптимальних мікрокліматичних умов у приміщенні, що в цілому призводять до покращення психоемоційного стану людини. Були проведенні клінічні дослідження шляхом зняття енцефалограми головного мозку при випромінюванні приладом різнокольорових світлових ефектів. Отримано акт проведення науково-дослідної роботи, що підтверджує здатність приладу впливати на психоемоційний стан людини.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Küller R., Ballal S., Laike T., Mikellides B. & Tonello G. The impact of light and colour on psychological mood: a cross-cultural study of indoor work environments. *Ergonomics*. 49:14, 2006, p. 1496-1507.
3. Rosenthal I. A., Singh S. R., Hermann K. L., Pantazis D. & Conway V. R. Color Space Geometry Uncovered with Magnetoencephalography. *Current Biology*, February 8, 2021, p. 515-526.
4. Щепін В. В., Трушаков Д. В., Сіріков О. І. Пристрій для корекції психоемоційного стану людини. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2021. Вип. 4(35). С. 100-108.
5. Пат. 150453 Україна МПК (2006.01), Н03J 9/06, G02B 26/04. Пристрій для корекції психоемоційного стану людини / В. В. Щепін, Д. В. Трушаков; заявник і володілець Центральноукраїнський національний технічний університет. № u 202106072; заявл. 29.10.2021; опубл. 16.02.2022, Бюл. № 7.

## СЕКЦІЯ 5. ІНТЕГРОВАНІ ПРОЦЕСИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ТЕПЛО- І ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ

УДК 621.564

### ТЕПЛОВА ЗАСТУПНА СХЕМА ПОБУТОВОГО ХОЛОДИЛЬНИКА

Байдак Ю. В., д.т.н., проф., e-mail: [kozak\\_admin@ukr.net](mailto:kozak_admin@ukr.net)

Одеський національний технологічний університет

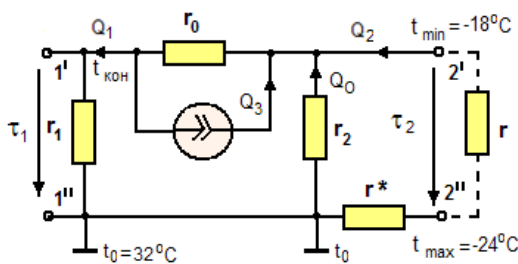
**Актуальність дослідження.** У системах автоматизованого проектування доцільно використання математичних та програмних засобів, які забезпечують моделювання усієї номенклатури об'єктів, що проектуються і способів адаптації моделі до зміни умов експлуатації об'єкту чи предмету. Ці властивості досягаються, якщо застосовані засоби мають високу ступінь універсальності. Отриманню універсальних засобів сприяє використання аналогій між підсистемами неоднакової фізичної природи і між моделюючими їх компонентними та топологічними рівняннями. Математичну модель будь-якої системи отримують об'єднанням її компонентних і топологічних рівнянь. Компонентні рівняння встановлюються теоретичним, фізичним макетуваннями або математичним моделюванням на мікрорівні.

**Теоретичне обґрунтування.** У більшості технічних систем, до яких відноситься і холодильний пристрій, можна виділити три простіші елементи, а саме: елемент типу R - дисипації енергії, на якому здійснюється перетворення енергії у теплову; C та L - на яких здійснюється накопичення потенційної та кінетичної енергій, відповідно. Комбінацією цих найпростіших елементів, а також фазових змінних може бути отримана математична модель будь-якого об'єкту практично любой складності. Так, для теплової підсистеми фазові змінні це тепловий потік та температура, а компоненти це тепловий опір та теплова ємність. Для кожної фізичної підсистеми характерні власні закони, однак для простіших їх елементів форма ототожнюючих рівнянь є однаковою. Для теплової підсистеми фазові змінні - теплові потоки  $\Phi$  і температура  $T$  такі ж самі, як струми і напруги в електричній підсистемі. Із відповідних рівнянь законів Фур'є та Ньютона для теплопровідності і конвекції витікає, що теплова провідність це  $\psi = \lambda(T_1 - T_2)/\ell$ , а конвекція  $\psi = \alpha_{\text{конв}}(T_1 - T_2)$  в яких  $\psi$  - густина теплового потоку;  $\lambda$  - коефіцієнт теплової провідності;  $\alpha_{\text{конв}}$  - коефіцієнт теплообміну через конвекцію;  $T_1$  і  $T_2$  - температури на межах ділянки  $\ell$ , для індуктивного теплообміну якщо він розглядається. Для теплообміну конвекцією  $T_1$  - температура тіла, а  $T_2$  - температура оточуючого середовища. Для отримання теплового потоку помножимо обидві частини рівнянь на площу  $F$  через яку він перетікає. Матимемо  $\Phi = (\lambda F/\ell)T$  або  $\Phi = T/R_{\text{конд}}$  та також  $\Phi = F\alpha_{\text{конв}}T$  чи  $\Phi = T/R_{\text{конв}}$ . Тут  $R_{\text{конд}} = \ell/\lambda F$  опір теплопередачі (кондукції),  $R_{\text{конв}} = 1/(F\alpha_{\text{конв}})$  опір конвекції. Рівняння теплоємності тіла  $C_T = dQ/dT$  встановлює зміну кількості теплоти у тілі при зміні його температури. Так як зміна кількості теплоти є теплових потік  $dQ/dT = \Phi = C_T(dT/dt)$ , в якому  $C_T = cm$  - аналог електричної ємності (конденсатору),  $c$  - питома теплоємність,  $m$  - маса тіла. У випадку, коли фазовою змінною є тепловий потік і температура, компонентне рівняння, що відповідає тепловій індуктивності не має фізичного сенсу. Ототожнюючи викладене можна укласти топологічні рівняння об'єкту з рівнянь рівноваги та неперервності. Такими для теплової підсистеми є: аналог рівняння першого закону Кірхгофа, а саме рівняння рівноваги в вузлах підсистеми, тобто  $\sum_{k \in p} \Phi_k = 0$  - додаток теплових потоків у вузлах підсистеми дорівнює нулю. Аналогом другого закону Кірхгофа є рівняння неперервності, тобто додаток різниці температур при обігу замкнутого теплового контуру дорівнює нулю  $\sum_{j \in q} T_j = 0$ . Таким чином, в усіх підсистемах, що розглядаються можна встановити аналогії змінних типу потоку і типу потенціалу. Виходячи з цього можна припустити думку про побудову заступної схеми підсистеми холодильної машини із застосуванням її аналогів з електричної схеми, в якій

будуть фігурантами дисипативні та ємнісні елементи. В схемі також повинні бути враховані активні елементи - джерела зовнішніх теплових потоків. Для холодильника це проникнення теплоти ззовні до шаф охолодження, від об'єктів утримання у шафах та припливи тепла від компресора і його електричного двигуна.

**Метою роботи** є побудова заступної схеми ХМ з системи двох рівнянь, які пов'язані такими показниками продуктивності її ділянок, як тепло і температурний напір у випарнику, мотор-компресорному агрегаті і конденсаторі. При цьому застосовуються аналогії різниці електричних потенціалів  $\varphi_i - \varphi_0$  на ділянці кола (напруги  $U_{i0}$ ) з різницею температур  $t_i - t_0$  (температурному напору  $\tau_{i0}$ ), сили електричного струму  $I_i$  з потоком тепла  $Q_i$ , омичного опору  $r$  з його тепловим еквівалентом  $r_i = \frac{1}{k_{Ti}F_i}$ , в яких індекс  $i$  - позначка належності до відповідної ділянки або об'єкту:  $i = 1$  - конденсатор,  $i = 2$  - випарник,  $i = 3$  - мотор-компресорний агрегат.

**Заступна схема холодильника.** Заступну схему розглянуто у вигляді чотирирохполюсника, наведеного на рисунку, де  $Q_0$  - постійний приплив тепла до випарника з оточуючого середовища крізь теплоізоляцію,  $Q_2$  - тепло, внесене до випарника з об'єктом



охолодження,  $Q_1$  - тепло, відведене конденсатором у оточуюче середовище,  $Q_3$  - тепло від втрат потужності в двигуні мотор-компресорного агрегату;  $\tau_1$  - температурний напір між конденсатором і оточуючим середовищем;  $\tau_2$  - температурний тиск у випарнику, обумовлений уставкою терморегулятора (гістерезис):  $r_1 = \frac{1}{k_{T1}F_1}$  - тепловий опір між поверхнею конденсатора  $F_1$  із

коефіцієнтом тепловіддачі  $k_{T1}$  і оточуючим середовищем;  $r_2 = \frac{1}{k_{T2}F_2}$  аналогічно для випарника,  $r_3 = \frac{1}{k_{T3}F_3}$  - мотор-компресорного агрегату та  $r^* = \frac{1}{k_{T^*}F^*}$ , в якому  $k_{T^*}, F^*$  - коефіцієнт теплоприпливу до холодильника ззовні і площа його поверхні.

Відповідно до рівнянь електричної рівноваги, складеним на підставі законів Кірхгофа, їх аналоги теплової рівноваги отримані у вигляді системи двох рівнянь  $\tau_1 = f(\tau_2, Q_2)$  та  $Q_1 = f(\tau_2, Q_2)$ .

Апробацію виконано на прикладі ПХ типу КШД-260, із розрахунку якого є відомими такі показники як: температура зовнішнього середовища  $t_0 = 32^\circ\text{C}$ ; температура випарника в режимі заморозки  $t_{max} = -24^\circ\text{C}$  і відтаювання  $t_{min} = -18^\circ\text{C}$ ; холодильна продуктивність мотор-компресорного агрегату  $Q_3 = 93$  Вт.год; холодильна продуктивність випарника у режимі заморожування і зберігання об'єктів охолодження  $Q_2 = 59$  Вт.год; коефіцієнт тепловіддачі та поверхня охолодження конденсатора  $k_{T1}F_1 = 15 \cdot 0,35 = 5,25$  Вт/°C; коефіцієнт тепловіддачі та поверхня охолодження випарника  $k_{T2}F_2 = 12 \cdot 0,35 = 4,2$  Вт/°C; коефіцієнт тепловіддачі та поверхня охолодження мотор-компресорного агрегату  $k_{T3}F_3 = 10 \cdot 0,25 = 2,5$  Вт/°C.

Вхідним даним відповідають теплові опори: конденсатора  $r_1 = 0,19$  °C/Вт; випарника  $r_2 = 0,238$  °C/Вт; мотор-компресорного агрегату  $r_0 = 0,4$  °C/Вт.

Отримана система рівнянь холодильника у вигляді активного чотирирохполюсника має вигляд:

$$\begin{cases} \tau_1 = 2,68\tau_2 + 0,4(Q_2 + Q_3) \\ Q_1 = 18,31\tau_2 + 3,105(Q_2 + Q_3) \end{cases}$$

**Висновок.** Розроблена математична модель придатна для програмування пристроїв керування роботою інтелектуальних холодильників із системою SMART і керування роботою побутового холодильника у залежності від його завантаження.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СУШІННЯ НАСІННЯ ПШЕНИЦІ  
В МІКРОХВИЛЬОВОМУ ПОЛІ

Бошкова І. Л., д.т.н., проф, e-mail: [boshkova.irina@gmail.com](mailto:boshkova.irina@gmail.com)

Капауз К. О., аспірант, e-mail: [kapauz@ukr.net](mailto:kapauz@ukr.net)

Одеський національний технологічний університет

**Актуальність дослідження.** Використання електротермічних технологій на основі мікрохвильової енергії є важливим кроком у розробці нових інноваційних рішень. Доведено [1], що мікрохвильовий метод сушіння є гнучким і може бути застосований майже до будь-яких насіннєвих культур. Аналіз проведених досліджень [2] показав, що температура насіння при мікрохвильовому нагріванні зростає в 1,5-1,8 рази швидше при максимальній потужності, ніж при вдвічі меншій потужності, що свідчить про доцільність циклічної сушки насіння, для якої важливо зберегти зародок. Експерименти на насінні ячменю з високою вологістю сорту Тюрінгія [3] визначили оптимальні умови сушки на основі використання комбінованого мікрохвильового/гарячого повітряного нагрівання. Доцільність використання мікрохвильового нагрівання при сушінні зерна підтверджується роботами [4, 5], проте для складання технології даних недостатньо і експерименти треба продовжувати.

**Мета дослідження:** визначити швидкість мікрохвильового сушіння насіння пшениці та середню температуру шару зерна в залежності від питомої потужності при дотриманні умов збереження схожості зерна.

**Основні матеріали досліджень.** Дослідження проведені на експериментальній установці, представлений на рис. 1

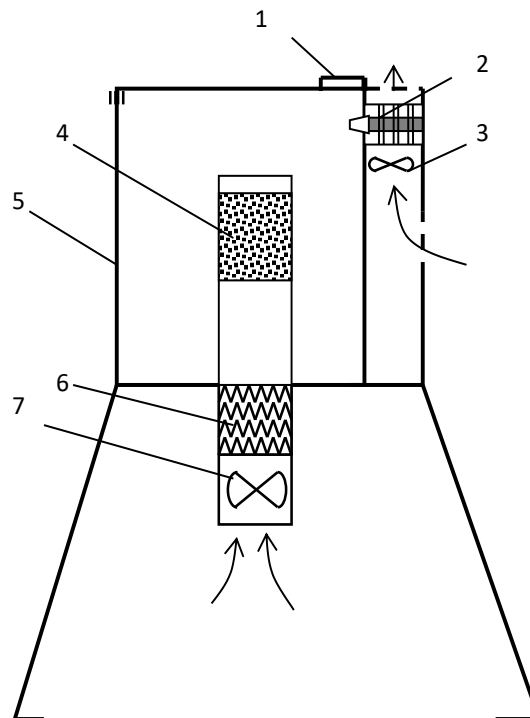


Рисунок 1 – Схема установки для дослідження кінетики сушіння зернових матеріалів при мікрохвильовому та конвективному нагріванні.

1 – дверцята, 2 – магнетрон, 3 – вентилятор системи охолодження магнетрону, 4 – експериментальний осередок з матеріалом для досліджень, 5 – робоча камера, 6 – електронагрівач, 7 – вентилятор

Щоб вивчити вплив мікрохвиль на насіння, оброблене у мікрохвильовому полі, у зерна пшениці пророщували та спостерігали за щоденним прогресом процесу проростання (рис. 2).



Рисунок 2 – Спостерігання за проростанням насіння після МХ сушіння

Дослідження, проведені на насінні пшениці, показали, що дані по швидкості сушіння у першому періоді можуть бути узагальнені єдиною залежністю (1), максимальна похибка якої складає 17 %:

$$N_{\text{MX}} = 1,12 \cdot 10^{-7} (q_m)^{0,78}, \text{ кг/(кг}\cdot\text{с)}.$$

Для розрахунку середньої температури зерна в періоді сталої швидкості сушіння (першому періоді) за результатами обробки експериментальних даних отримана наступна формула, похибка якої складає 15 %:

$$t_1 = 8,36 \cdot (q_m)^{0,23}, \text{ }^\circ\text{C}.$$

Недоліком використання мікрохвильового випромінювання при сушінні є нерівномірний нагрів шару зерна [6]. Для усунення цієї проблеми передбачено проведення додаткових досліджень, за якими буде визначено вплив вологовмісту та виду зерна на глибину поглинання та формулювання рекомендацій щодо забезпечення рівномірного розподілу температур.

**Висновки.** Визначені емпіричні залежності для розрахунку швидкості сушіння та температури шару насіння в першому періоді від питомої потужності мікрохвильового поля. Розрахунки енергії схожості, енергії проростання насіння, а також енергоефективність використання МХ поля при сушінні довела до висновку, що оптимальні циклічні режими сушіння дають схожість насінневого матеріалу 96 – 98%, при зменшенні тривалості сушіння в 1,5 – 3,4 рази та зниження енерговитрат на 29% в порівнянні з конвективним способом сушіння.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. The Use of Microwave Drying Process to the Granular Materials / F. I. Hathazi et al. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2019. Vol. 10, no. 11. URL: <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2019.0101104>.
2. Innovative methods of drying rapeseeds using microwave energy / V. Bandura et al. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*. 2023. Vol. 26, no. 2. P. 217–230. URL: <https://doi.org/10.33223/epj/163328>
3. Bhartia P., Stuchly S. S., Hamid M. A. K. Experimental Results for Combinational Microwave and Hot Air Drying\*. *Journal of Microwave Power*. 1973. Vol. 8, no. 3. P. 246–252. URL: <https://doi.org/10.1080/00222739.1973.11688883>.
4. Microwave Drying of Corn (*Zea mays*L. ssp.) for the Seed Industry / G. R. Nair et al. *Drying Technology*. 2011. Vol. 29, no. 11. P. 1291–1296. URL: <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.591715>
5. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154527>
6. Microwave Field Distribution in Grain Drying Installations for Different Types of Emissions. Preprints.org - *The Multidisciplinary Preprint Platform*. URL: <https://www.preprints.org/manuscript/202306.2180/v1>



## РОЗРОБКА КОМБІНОВАНИХ АБСОРБЦІЙНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

Гратій Т. І., аспірант, e-mail: [tgratij@ukr.net](mailto:tgratij@ukr.net);

Тітлов О. С., д.т.н., проф., e-mail: [titlov1959@gmail.com](mailto:titlov1959@gmail.com);

Нікітін Д. М., e-mail: [dnn@utecon.com](mailto:dnn@utecon.com)

Одеський національний технологічний університет

**Актуальність дослідження.** Перспективним напрямом в енергозберігаючих розробках є створення побутових приладів, що поєднують функції холодильного зберігання та теплової обробки харчових продуктів, напівфабрикатів та сільськогосподарської сировини. До складу таких приладів входить традиційна холодильна та додаткова тепла камера (ТК), температурні режими якої забезпечуються за рахунок утилізації скидного тепла холодильного циклу.

З усіх типів сучасного побутового холодильного обладнання необхідний температурний потенціал (вище 70 °С) мають лише теплорозсіюючі елементи абсорбційного холодильного агрегату (АХА) – ректифікатор та дефлегматор.

Термодинамічний та ексергетичний аналіз холодильного циклу АХА показав практичну доцільність використання скидного тепла з теплонавантажених елементів для підтримки температурного режиму додаткової теплової камери.

Таким чином, дослідження та розробки комбінованих побутових абсорбційних холодильних приладів, що поєднують функції охолодження та нагріву без додаткових витрат енергії, можуть вважатися актуальними.

**Мета дослідження** – розробка енергозберігаючих комбінованих абсорбційних холодильних приладів із розширеними функціональними можливостями.

**Основні матеріали досліджень.** Ринок сучасної побутової холодильної техніки і в світі, і в Україні є досить різноманітним і пропонує населенню широкий спектр обладнання з різними функціональними можливостями. Це: класичні одно- та двокамерні моделі; вбудовані в кухонні меблі; спеціалізовані холодильники для вина зі скляними дверима; морозильні камери типу «скриня» та типу «шафа»; мініхолодильники.

Нарівні з традиційними та найбільш поширеними компресійними на ринку присутні і абсорбційні моделі холодильних приладів різного функціонального призначення.

На ринку побутової холодильної техніки абсорбційні моделі мають мінімальну вартість порівняно з аналогами компресійного типу, що найчастіше залучає потенційних покупців.

Одночасно, не менше значимим критерієм у побутової холодильної техніки є енергетична ефективність. За цим параметром компресійні моделі значно перевершують і абсорбційні аналоги. Підвищення енергетичної ефективності абсорбційних холодильних приладів різного функціонального призначення є основним напрямом сучасних розробок нових моделей. У цій тенденції органічно записуються розробки нової техніки, в яких розширені функціональні можливості досягаються за рахунок утилізації скидного тепла холодильного циклу, наприклад, циклу АХА.

Основна проблема була пов'язана з організацією передачі теплового потоку від дефлегматора АХА в ТК. Під час проектування нової техніки був відсутній досвід створення ефективних систем транспорту тепла та теоретичні уявлення про теплову взаємодію дефлегматора абсорбційного холодильного агрегату та ТК.

Як наслідок, пілотні зразки комбінованих холодильних приладів не дозволяли досягти прийнятних результатів як по охолодженню, так і нагріванню.

Доведено, що режими роботи дефлегматора АХА визначають енергетичну ефективність при отриманні штучного холоду та теплові режими додаткової ТК у складі комбінованого абсорбційного холодильного приладу.

У зв'язку з відсутністю інформації щодо особливостей роботи комбінованих холодильних приладів з АХА та двофазного термосифону (ДФТС) спочатку було виконано тестові експериментальні дослідження елементів конструкції.

Досліджувана конструкція холодильника з ТК була виготовлена на базі серійної моделі абсорбційного холодильника типу «Кристал-408» Васильківського заводу холодильників. У всіх випадках зовнішні геометричні параметри ТК становили: висота – 0,420 м; глибина – 0,540 м; ширина – 0,570 м; корисний об'єм – 35 дм<sup>3</sup>. Товщина теплоізоляції ТК: бічних стінок – 0,080 м; дна-0,075 м; кришки, задньої та передньої стінок – 0,10 м. Внутрішній корпус ТК був виготовлений у вигляді цілісного короба. Матеріал коробки ТК – нержавіюча сталь, а товщина стінки короба – 0,001 м. Для забезпечення теплового зв'язку підйомної ділянки дефлегматора АХА з ТК використовувався ДФТС завдовжки 1,530 м та діаметром – 0,010×0,001 м. Матеріал корпусу ДФТС – нержавіюча сталь. Теплоносій – етиловий спирт. Кріплення ДФТС до дефлегматора діаметром 0,016×0,0014 м здійснювалося за допомогою мідної стискаючої пластини, причому для зниження термічного опору в зоні контакту знаходився стиснутий високопористий осередковий матеріал на основі міді, пори якого були заповнені теплопровідною пастою.

В процесі експериментальних досліджень показано, що комбінований абсорбційний холодильний прилад, що містить у своєму складі як камери з низькими температурами, так і ТК, можна створити на базі вітчизняних моделей Васильківського заводу холодильників типу «Кристал-408» з мінімальними технологічними доробками.

Проведено добірку ДФТС для забезпечення ефективного теплового зв'язку дефлегматора АХА та ТК. Визначено найбільш раціональне місце відведення скидного тепла дефлегмації для забезпечення температурних режимів ТК. Зона конденсації становила 385 мм.

У різних режимах підведення теплового навантаження на генератор АХА виконано тестування теплових режимів незавантаженої ТК. Показано, що за рахунок утилізації викидного тепла дефлегмації в ТК може бути досягнута температура порядку 40 °С при одночасному забезпеченні нормативних режимів в камерах охолодження.

При завантаженій ТК було показано, що ДФТС, пов'язаний у тепловому відношенні з дефлегматором та ТК, успішно працює в режимі термостатування. Показано також, що нагрівання води до 35 °С за рахунок утилізації тепла дефлегмації та роботи ДФТС може бути здійснене за добу за початкової температури води 23,7 °С.

В умовах проведення експерименту було визначено добове енергоспоживання згідно з нормативною методикою. Воно становило 1,43 кВт·год, що у 6,9 % менш, ніж в абсорбційному холодильного приладу у традиційному виконанні.

Доведено, що: величини теплового потоку, що відводиться з дефлегматора АХА за допомогою ДФТС, достатньо тільки для підтримки в ТК температури на рівні 50 °С; що для підтримки в ТК рівня температур 70 °С та 100 °С потрібні додаткові енерговитрати, а величина додаткових енерговитрат для 70 °С становить 3,5 Вт, а для 100 °С – 8,7 Вт. При цьому добові енерговитрати холодильника зростуть відповідно на 4,9 % та 12,3 %; при повному використанні теплоти дефлегмації для обігріву ТК можливе забезпечення її теплових режимів у діапазоні температур 50...100 °С; у разі використання у якості робочого середовища ТК повітря, виникають проблеми при теплопередаванні від конденсатора ДФТС до внутрішнього об'єму камери. У цьому випадку необхідно підтримувати перепад температур між нагрівальною панеллю і повітрям в ТК близько 25...35 °С, а величина панелі повинна становити не менше 0,200×0,285 м (висота×ширина); у разі використання води у якості робочого середовища ТК доцільно використовувати нагрівальні панелі висотою 0,2 м, шириною 0,02...0,03 м.

**Висновок.** Показано, що комбінований абсорбційний холодильний прилад, що містить у своєму складі як камери з низькими температурами, так і теплову камеру, можна створити на базі вітчизняних моделей Васильківського заводу холодильників типу «Кристал-408» АШ-150 з мінімальними технологічними доробками.

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ВИКОРИСТАННЯ ЦЕОЛІТІВ ДЛЯ АКУМУЛЯЦІЇ  
ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

Гречановський А. П., аспірант, e-mail: [grechanovsky62@gmail.com](mailto:grechanovsky62@gmail.com)  
Одеський національний технологічний університет

**Актуальність дослідження.** Цеоліти мають широке застосування у різних галузях промисловості. Вони використовуються у водоочисних системах як адсорбенти та іонообмінники. Крім того, їх використовують у вакуумних насосах сорбційного типу. Цеоліти також діють як каталізатори для багатьох процесів у нафтохімії та нафтопереробці. Сучасні умови вимагають особливої уваги до енергозбереження та раціонального використання ресурсів. Інноваційним використанням цеолітів є їх використання для термохімічної акумуляції тепла.

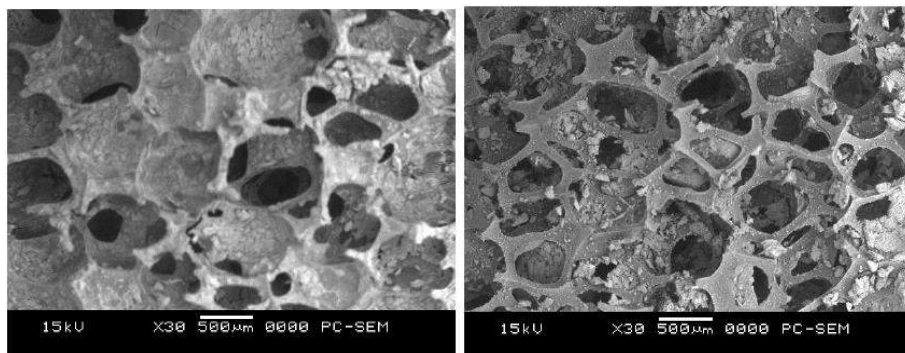
**Основні матеріали досліджень.** Принцип термохімічної акумуляції тепла за використанням цеолітів ґрунтується на їхній здатності адсорбувати та десорбувати воду. Під час адсорбції води цеоліт виділяє тепло. Для видобутку та використання нагрітого у шарі цеоліту тепла під час процесу адсорбції (виділення теплоти), через його ємність пропускають холодне та вологе повітря. Ця дія дозволяє цеолітам адсорбувати водяну пару з повітря та осушити його. Оскільки адсорбція є екзотермічним процесом, повітря під час цього процесу нагрівається. Після виходу з ємності гаряче повітря може бути використане для обігріву. [1]. Термохімічне накопичення тепла має численні переваги, включаючи тривале зберігання, можливість регулювання температури нагріву, навіть вище, ніж попередня температура зарядки. На сьогоднішній день дослідження показують, [2] що для досягнення цієї мети доцільно використовувати цеоліти типу А та X, завдяки їхній структурі та складу: цеоліти типу А мають низький вміст кремнію ( $\text{SiO}_2$ :  $\text{Al}_2\text{O}_3$  не вище 2), і в кислому середовищі вони руйнуються. Щодо цеолітів типу X, співвідношення в них становить 2,2-3,3. Існують дані про щільність накопичення енергії в цеолітах, які свідчать про перспективність їх використання як теплових акумуляторів. Наприклад, щільність накопичення енергії в цеоліті типу NaA становить 1370 кДж/кг [3].

Але для ефективного використання цеолітів у термохімічних акумуляторах тепла, потрібно врахувати не лише правильний вибір типу цеоліту, але й організацію процесу регенерації. Етап регенерації пов'язаний із видаленням вологи з цеолітів і зазвичай здійснюється шляхом сушіння. При застосуванні традиційних технологій конвективної десорбції, не лише сам матеріал, але й обладнання нагріваються, що призводить до додаткового споживання енергії та зниження енергоефективності. Дослідження показують, що мікрохвильове сушіння має численні переваги в порівнянні зі звичайними методами. Мікрохвильова енергія може швидко та ефективно проникати в матеріал цеоліту, викликаючи молекулярні коливання і підвищуючи температуру. Це дозволяє значно прискорити процес сушіння порівняно з традиційними методами, такими як природне сушіння або сушіння гарячим повітрям. Мікрохвильове сушіння може бути більш енергоефективним порівняно з іншими методами сушіння та дозволяє використовувати мікрохвильове випромінювання без значного втрати тепла в навколишнє середовище.

У процесі сушіння, згідно з [4], необхідно видалити не лише вільну вологу, але й воду, яка адсорбована матеріалом. Досліди, проведені в [5, 6], показали, що використання мікрохвильової енергії для підготовки та регенерації цеолітів дозволяє досягти цієї мети і, крім того, формує унікальну внутрішню структуру матеріалу. На відміну від мікроструктури, яка формується за допомогою звичайного сушіння, мікрохвильова обробка призводить до утворення дрібніших зерен. Зазвичай це сприяє збільшенню пористості і покращенню механічних властивостей, таких як міцність на вигин [7]. Важливо відзначити, що сорбційна здатність істотно зростає під час мікрохвильового сушіння [8]. Першою компанією, яка використала мікрохвильові печі для синтезу цеолітів, була Mobil Oil Corp. Зазначається, що

використання мікрохвильового нагріву дозволяє проводити процес набагато швидше, чистіше та з меншими енерговитратами порівняно з традиційними методами. Крім того, процес кристалізації значно прискорюється, коли в якості джерела тепла використовується мікрохвильове випромінювання.

На рис. 1 наведено фотографії алюмоцеолітової піни після звичайного сушіння (а) і мікрохвильового сушіння (б).



а)

б)

Рисунок 1 – SEM - фотографії мікроструктури алюмоцеолітової піни після звичайного сушіння (а) і мікрохвильового сушіння (б) [7].

Ще однією перевагою є те, що мікрохвильове сушіння може сприяти зменшенню втрат цеоліту під час процесу сушіння.

**Висновок.** Традиційні методи, такі як сушіння гарячим повітрям, можуть призводити до витрат матеріалу через пил і випаровування. Використання мікрохвильового сушіння допомагає знизити такі втрати. Крім того, мікрохвильові сушарки можуть бути налаштовані для точного контролю параметрів сушіння, таких як час, потужність і температура. Це дозволяє досягти більш однорідного сушіння і керувати процесом з високою точністю.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Zeolite Heat Storage: Key Parameters from Experimental Results with Binder-Free NaY / S. Rönsch et al. *Chemical Engineering & Technology*. 2020. Vol. 43, no. 12. P. 2530–2537.
2. Preparation, hydrothermal stability and thermal adsorption storage properties of binderless zeolite beads / J. Jänchen et al. *International Journal of Low-Carbon Technologies*. 2012. Vol. 7, no. 4. P. 275–279.
3. D. I. Tchernev. Natural Zeolites in Solar Energy Heating, Cooling, and Energy Storage. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2001. Vol. 45(1). P. 589-617.
4. Gabruś E., Witkiewicz K., Nastaj J. Modeling of regeneration stage of 3A and 4A zeolite molecular sieves in TSA process used for dewatering of aliphatic alcohols. *Chemical Engineering Journal*. 2018. Vol. 337. P. 416–427.
5. Вивчення перспектив застосування цеолітів для теплових акумуляторів / І. Л. Бошкова та ін. *Refrigeration Engineering and Technology*. 2021. Т. 57, № 3. С. 196–205.
6. T. Ohgushi, M. Nagae. Microwave Heating of Hydrated Zeolites and Application of Zeolites as a Domestic Reusable Desiccant through its Technique. *Journal of Metastable and Nanocrystalline Materials*. 2005. Vol. 23. P. 195-198.
7. Rahman, A., Rahmat, N., Shariff, M. Microwave Drying Effects on the Properties of Alumina-Zeolite Foam. *2nd Annual International Conference on Green Technology and Engineering (ICGTE)*, 2009. P. 521-524.
8. Zeolite in tissue engineering: Opportunities and challenges / P. Zarrintaj et al. *MedComm*. 2020. Vol. 1, no. 1. P. 5–34.

## ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ПОВІТРЯ В СИСТЕМАХ КОНДИЦІЮВАННЯ

Жихарєва Н. В., к.т.н., доц., e-mail: [zhikhareva.nata@gmail.com](mailto:zhikhareva.nata@gmail.com)

Одеський національний технологічний університет

**Актуальність дослідження.** В умовах прискорення науково-технічного прогресу завдання підвищення енергоефективності систем кондиціонування має важливе значення, оскільки їх рішення, окрім підвищення ефективності капітальних вкладень, забезпечує енергозбереження, економію матеріалів, а також покращення умов праці людей і навколишнього середовища.

**Основні матеріали досліджень.** Реалізація інноваційних технологій пов'язана зі створенням штучного мікроклімату приміщень, тобто забезпечення і підтримання необхідних параметрів повітряного середовища, на що щорічно витрачається понад 30% енергоресурсів, отриманих в країні. Необхідні параметри мікроклімату забезпечують інженерні системи, серед яких важлива роль належить системам кондиціонування повітря. Нами розроблена модель оптимізації комплексу «Система кондиціонування + Система охолодження + Приміщення» з розробкою методів і технічних рішень щодо підвищення ефективності систем кондиціонування повітря з використанням інноваційних технологій - контактних теплообмінних апаратів для очищення, нагріву, охолодження та підтримки відносної вологості.. (рис1)

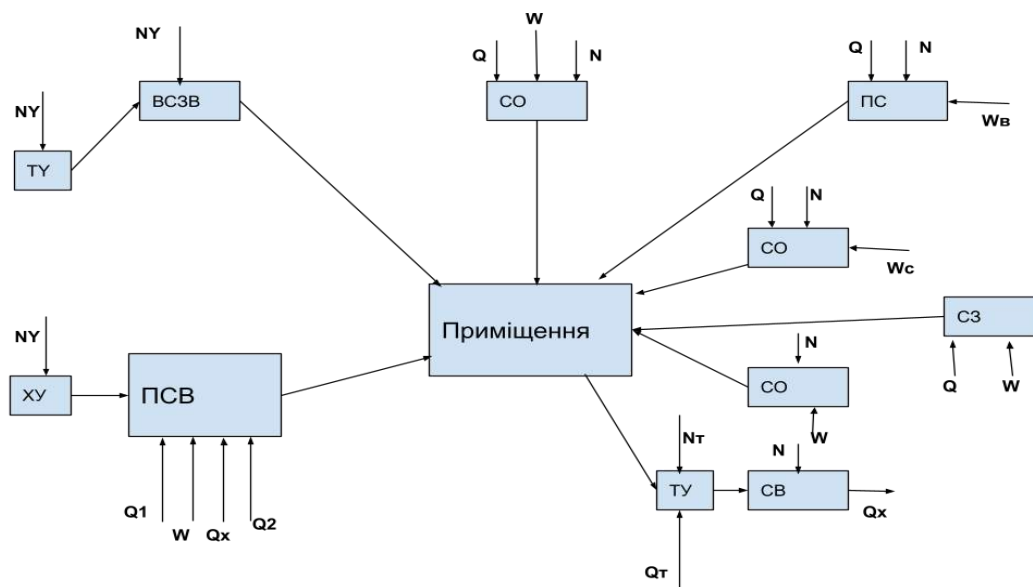


Рисунок 1 – Модель оптимізації комплексу СКП+ХП+П; ПСКП -припливна СКП; ВСКП - витяжна система СКП; ТУ - теплоутилізатор; СОХ - система охолодження; ХУ - холодильне постачання; СЗ - система зволоження; СОС - система осушення; СП - система підігріву; Q - витрата тепла або холоду кВт, W - витрата води кг/с; N – витрата електроенергії кВт.

Однією з основних завдань цієї комплексної проблеми є енергозбереження. З урахуванням підходу до енергоефективних систем [1,2] ми розглядаємо шляхи підвищення ефективності систем кондиціонування.

Встановлено, що напрямки відповідних досліджень пов'язані з удосконаленням засобів, технологій і умов для людей, створенням наукових основ і методів розрахунку параметрів і

керування ресурсом, надійністю та технічним станом кондиціонування повітря, розробкою методів підвищення ефективності експлуатації систем кондиціонування повітря та їх функціональних підсистем, устаткування й способів забезпечення їх працездатності. За результатами проведеного аналізу встановлено, що вирішення проблеми підвищення ефективності експлуатації систем кондиціонування повітря пов'язане, своєю чергою, з розв'язанням взаємозалежних проблем і, насамперед, підвищенням якості комфортного мікроклімату за умови зниження енерговитрат на кондиціонування повітря.

Показано, що одним з основних завдань цієї комплексної проблеми є енергозбереження. Вирішено триєдину проблему – оптимізацію (мінімізацію) енергоспоживання за дотримання нормативних вимог, комфортного середовища перебування в житлових, громадських і промислових об'єктах, неухильне дотримання технологічних вимог у виробничих процесах та мінімізацію шкідливого впливу на екологію навколишнього середовища. [3]

Розроблені методи та технічні рішення з підвищення ефективності функціонування системи кондиціонування повітря впроваджено з використанням контактних теплообмінників ежекторного типу для нагрівання, охолодження і підтримання відносної вологості та очищення повітря.. Системи кондиціонування повітря з ежекторними теплообмінниками дозволяють підтримувати в окремих приміщеннях задані параметри повітря за рахунок теплової обробки повітря, крім кондиціонера, ще й в доводчиках-розподільниках. Ці системи мають невелику вартість, але і свої окремі переваги, наприклад мінімальні витрати обробленого повітря в кондиціонері, електроенергії, мінімальний розмір повітропроводів.

Особливостями схеми є відсутність в центральному кондиціонері КЦ другого ступеня нагрівача, обробки їх тільки зовнішнього повітря, використання розсільної системи охолодження повітроохолоджувача я і наявність розсолів трубопроводів до теплообмінника, розташованого в корпусі доводчика. Системи кондиціонування повітря з використанням контактних теплообмінників ежекторного типу для нагрівання, охолодження і підтримання відносної вологості та очищення повітря.. є універсальними і можуть використовуватися для експлуатації та модернізації стаціонарних центральних систем кондиціонування повітря.

Розроблена термoeкономічна модель оптимізації режимів роботи холодильної установки систем комфортного кондиціонування повітря з урахуванням особливостей контактних теплообмінників ежекторного типу вибраних з урахуванням виведених технологічних та економічних критеріїв оптимальності, в якій температурний напір охолоджуваного або нагріваного середовища в одному теплообмінному апараті є залежною змінною з визначенням ексергетичних показників. [1,4]

Нами досліджено процеси кондиціонування та очищення повітря для підтримки енергоефективних режимів комплексів «Система кондиціонування + Система охолодження + Приміщення» з розробкою методів і технічних рішень щодо підвищення ефективності систем кондиціонування повітря з використанням інноваційних технологій - контактних теплообмінних апаратів для очищення, нагріву, охолодження та підтримки відносної вологості..

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Жихарева Н. В Інноваційні технології кондиціонування повітря в нестационарних умовах. Монографія. ОНТУ. Одеса : ТЕС, 2022, 264 с.
2. Kogut V. Bushmanov V., Zhykharieva N. The filter on the basis of the ejector of the heat exchanger for purification of harmful substances from flue gases using heat exchanger as combustion gas filter // AIP Conference Proceedings 2285, 030087 (2020); [https://doi.org/10.1063/5.0026819\\_pp\\_0030081-030087](https://doi.org/10.1063/5.0026819_pp_0030081-030087)
3. Жихарева Н.В., Хмельнюк М.Г. Математичне моделювання нестационарного теплообміну приміщень // Холодильна техніка і технологія 2016. Том.52 №6., С. 71 – 75
4. Установка для нагрівання повітря. Патент на винахід №u 121951 /Когут В.О., Бабой Є.О., Талибли Р.Е., Жихарева Н.В., Хмельнюк М.Г., Дорошенко О.В. Заявка №a201907887 Публікація 10.08.2020 р , бюл. № 15

СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РОБОЧИХ  
РЕЧОВИН У ТЕПЛОВИХ НАСОСАХ:

АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПОТЕНЦІАЛ РОЗВИТКУ

Заруба Г. Г., аспірант, e-mail: [tezsonaft2021@gmail.com](mailto:tezsonaft2021@gmail.com)

Хмельнюк М. Г., д.т.н., проф., e-mail: [hmel\\_m@ukr.net](mailto:hmel_m@ukr.net)

Одеський національний технологічний університет

**Актуальність дослідження.** Антропогенний вплив на глобальні зміни у кліматі через збільшення викидів парникових газів, таких як діоксид вуглецю та метан, призвів до невідворотного підвищення середньої температури планети. Холодильні робочі речовини грають значну роль у цьому процесі. Цикл використання холодоагентів, включаючи виробництво, експлуатацію та утилізацію, призводить до великих викидів парникових газів. Один з ключових секторів, де використовуються холодоагенти, це кондиціонування повітря та використання теплових насосів. Традиційно використовується R-410A, який має високий потенціал глобального потепління (GWP) в розмірі 2088 одиниць. Це привело до пошуку альтернатив, які були б енергоефективними та мали низький GWP для зменшення впливу на навколишнє середовище.

**Основні матеріали досліджень.** Деякі холодоагенти мають потенціал замінити R-410A, враховуючи GWP та інші характеристики, такі як безпека, ефективність та екологічна стійкість. Суміші холодоагентів стають важливим варіантом, оскільки вони можуть замінити застарілі холодоагенти з аналогічними характеристиками, але з меншим впливом на навколишнє середовище, надаючи стійке рішення без конкурентоспроможних однокомпонентних альтернатив.

Так Бісвас та ін. (2012) досліджували варіанти холодоагентів DR-5 та DR-4 (з GWP менше 500 та 300 відповідно) у каналному спліт-блоці кондиціонера потужністю 17,6 кВт (5т), спочатку спроектованому для R-410A. Ці два холодоагенти мали COP нагріву на 22% і 16% вище, ніж R-410A, відповідно, а при правильному управлінні заправкою потужність нагріву була приблизно на 10% і 30% нижче порівняно з R-410A відповідно (Рис. 1)[1].

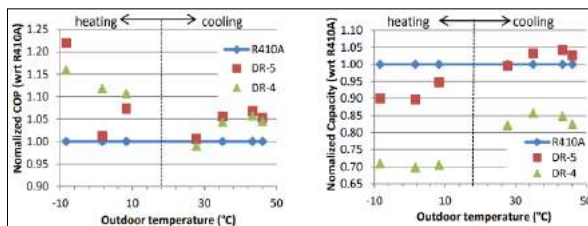


Рисунок 1 – COP та продуктивність системи при прямому тестуванні

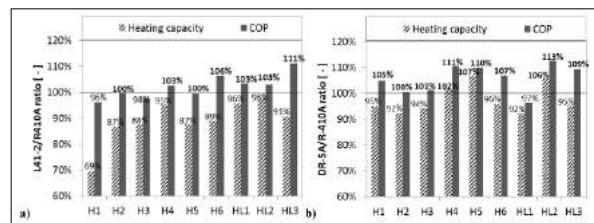


Рисунок 2 – Характеристики ТН з використанням альтернативних холодоагентів: а) L41-2; б) DR-5A

Пардо та ін. (2016) у своєму експериментальному дослідженні аналізували два холодоагенти, DR-5A і L41-2 в тепловому насосі "повітря-вода" потужністю 10 кВт з метою порівняння їх характеристик як альтернативу R-410A з низьким ПГП. Заміна R-410A на L41-2 і DR-5A не виявила особливих проблем, а отримані характеристики, за деякими дуже рідкісними винятками, практично еквівалентні (+/- 10%) характеристик R-410A (Рис.2)[2].

У своєму дослідженні Кюппер та ін. (2021) провели аналіз альтернативних варіантів холодоагентів у сценаріях заміни R-410A та R-407C у системах кондиціонування повітря та теплових насосах. R-454B продемонстрував продуктивність та ефективність, близьку до R-410A, з невеликим відхиленням близько 5% у теплових насосах "повітря-вода". У той час як R-454A з ПГП близько 240 та R-454C з ПГП менше 150 показали невелике підвищення

продуктивності приблизно на 7% та зниження продуктивності на 7% порівняно з R-407C відповідно. Ефективність R-454A і R-454C також виявилася нижчою приблизно на 3% до 6% відповідно [3].

Кім та ін. (2023) аналізували можливість заміни R-410A на R-468C та R-485A. Для проведення випробувань використовувався серійно випускається тепловий насос на R-410A потужністю 17,6 кВт. R-468C показав порівнянні з R-410A характеристики. Крім того, була продемонстрована можливість використання речовини R-485A, яка забезпечує таку ж потужність, як і R-410A, а також більш високий COP (Рис. 3-4)[4].

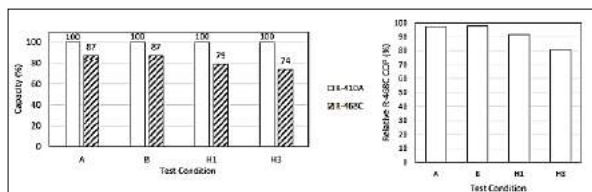


Рисунок 3 – Продуктивність R-410A та R-468C та відносний COP R-468C по відношенню до R-410A

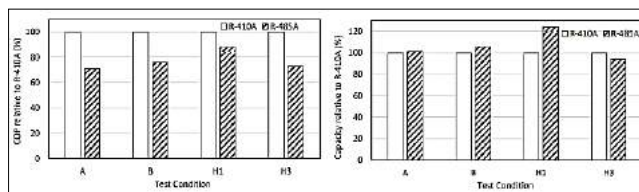


Рисунок 4 – Відносний COP та продуктивність R-485A по відношенню до R-410A

**Висновок.** У свою чергу ми пропонуємо звернути увагу на такі агенти, як пропан та суміші вуглеводнів. Вуглеводні мають деякі термодинамічні переваги. У разі критична температура становить особливий інтерес. Як правило, прихована теплота випаровування прямо пропорційна критичній температурі. Отже, вуглеводні мають більш високу приховану теплоту, що за інших рівних умов призводить до вищої ефективності. Проте вища критична точка зазвичай призводить до зниження робочого тиску, що, своєю чергою, призводить до зниження щільності парів. Нижча щільність парів означає, що об'ємна продуктивність також буде нижчою. Тому вуглеводні мають меншу об'ємну продуктивність. Це означає, що для перекачування вуглеводнів знадобиться потужніший компресор.

У контексті нашої майбутньої роботи, важливо досліджувати та розвивати альтернативні холодоагенти, такі як суміші вуглеводнів та інші, які поєднують ефективність і низький вплив на навколишнє середовище. Наші дослідження можуть сприяти створенню стійких та екологічно дружніх рішень для промисловості теплових насосів у майбутньому.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Biswas, A., Cremaschi, L. Performance and Capacity Comparison of Two New LGWP Refrigerants Alternative to R410A in Residential Air Conditioning Applications: proceedings of the 14th International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue (July 16-19, 2012, West Lafayette). Paper 1210. URL: <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/1210>
2. Pardo, P., Charbonnier, L., Mondot, M. Evaluation of R-410A refrigerant alternatives in a residential reversible air-to-water heat pump: proceedings of the 16th International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue (July 11-14, 2016, West Lafayette)
3. Kuepper, H.D., Chereau, L., Saab, S. Energy efficiency, Safety and Sustainability of A2L low GWP HFO based refrigerant solutions in Heat Pump Applications: proceedings of the 2nd IIR Conference on HFOs and Low GWP blends (June 16-18, 2021, Osaka)
4. Kim S., Low R., Seeton C. Evaluation of low GWP refrigerants for unitary air-conditioning and heat pump applications: proceedings of the 26th IIR International Congress of Refrigeration (August 21-25, 2023, Paris). URL: <https://doi.org/10.18462/iir.icr.2023.0626>



ЗАГАЛЬНА ПРАКТИКА РОЗРАХУНКУ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ  
ДЛЯ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ HFC

Козаченко І. С., інженер ТОВ «НІО «Холод», e-mail: [ilya.s.kozachenko@gmail.com](mailto:ilya.s.kozachenko@gmail.com)

Желіба Ю. О., к.т.н., доц., e-mail: [yuriy@nio-holod.com.ua](mailto:yuriy@nio-holod.com.ua)

Книш С. В., Одеський національний технологічний університет,

Желіба Т. О., НУ «Одеська політехніка»

**Актуальність дослідження.** 12 грудня 2019 року Верховна Рада України прийняла Закон про моніторинг, звітність та верифікацію (MRV) в рамках імплементації європейських стандартів моніторингу викидів парникових газів (GHG / ПГ) [1], який набрав чинності 1 січня 2021 року. Цей Закон є передумовою для запровадження Європейської системи торгівлі викидами (ETS).

Очікується, що заходи, запроваджені Законом про MRV, стосуватимуться викидів ПГ у ключових видах діяльності, зазначених у Директиві 2003/87/ЄС (13 жовтня 2003 р.), яка встановила схему торгівлі квотами на викиди ПГ у Європейському Співтоваристві. Ці види діяльності включають енергетику (спалювання палива, нафтопереробку), виробництво та обробку чорних металів (виплавлення металевих руд, виробництво чавуну та сталі) та мінеральну промисловість (виробництво цементу, скляних та керамічних виробів) і т.д.

**Основні матеріали досліджень.** Ключові види діяльності, зазначені в Постанові Уряду №880 [2], предмети моніторингу ПГ не включають холодильні системи та СКП, але ініціатива «GHG Protocol», ISO/TR 14069:2013, ISO 14064-1:2018, містить чіткі шаблони для розрахунку викидів HFC і PFC від виробництва, встановлення, експлуатації та утилізації холодильного обладнання та обладнання для кондиціонування повітря. Крім того, кількість парникових газів, яка описана в процедурі моніторингу та звітності про викиди, може бути досягнута промисловими хладагентами системами охолодження. Питання часу, коли профільні організації в Україні включити HFC та PFC холодильні системи до сфери застосування документів MRV. Тому холодильна галузь повинна бути готова оцінити та знайти спосіб скорочення власних викидів ПГ. Метою цієї доповіді є порівняння двох широко використовуваних холодоагентів і використання методології «GHG Protocol», який є «золотим стандартом» оцінки викидів ПГ.

«GHG Protocol» про парникові гази - це багатостороннє партнерство компаній, неурядових організацій (NGOs / НУО), урядів та інших осіб, скликане Інститутом світових ресурсів (WRI) і Всесвітньою діловою радою зі сталого розвитку (WBCSD).

У цій ініціативі два окремих стандарти:

- *Стандарт кількісної оцінки GHG (посібник, спрямований на кількісну оцінку скорочень від проєктів зі зменшення викидів парникових газів);*
- *Корпоративний стандарт бухгалтерського обліку та звітності (корпоративний стандарт протоколу GHG).*

Щоб кількісно визначити викиди парникових газів і звітувати про них, Корпоративний стандарт бухгалтерського обліку та звітності GHG Protocol містить покроковий посібник, який класифікує викиди за категоріями:

- score 1, який стосується прямих викидів із джерел, що контролюються;
- score 2 викидів, тобто непрямих викидів від виробництва придбаної енергії;
- score 3 викидів, включаючи всі непрямі викиди, які не включені до обсягу score 2.

Факторів, включених до score 1 і score 2, достатньо для оцінки викидів парникових газів холодильними системами та СКП. Оцінка прямих викидів гідрофторвуглецю (HFC/ГФУ) і перфторвуглецю (PFC/ПФУ) парникових газів у результаті виробництва, обслуговування та утилізації холодильного обладнання та обладнання для кондиціонування повітря, за що відповідає Score 1, була виконана відповідно до інструменту HFC протоколу GHG (версія 1.0) [3] і вказівок Посібника з розрахункових таблиць (січень 2005) [4].

Оскільки метою оцінки є дослідження об'єкта, а дані щодо конкретної організації недоступні, то в якості підходу було обрано лист 3 документу: «Викиди ГФУ та ПФУ від холодильного обладнання: метод скринінгу на основі підходу на основі коефіцієнта викидів».

Підхід розрахунку складається з трьох етапів:

*Крок 1:* річні викиди HFC і PFC від встановлення холодильного обладнання;

*Крок 2:* річні викиди HFC і PFC від роботи холодильного обладнання;

*Крок 3:* річні викиди HFC і PFC від утилізації холодильного обладнання;

*Крок 4:* Сума перших 3 кроків.

Score 2 надає рекомендації щодо викидів CO<sub>2</sub> в еквіваленті від споживання електроенергії холодильними системами. За відкритими даними [5, 6] кількість викидів CO<sub>2</sub> на одиницю енергії в Україні оцінюється як 0,22 кгCO<sub>2</sub>eq /кВт-год.

Викиди CO<sub>2</sub>eq можна узагальнити так:

$$E = EC \times OE/CF,$$

де: E – викиди від холодильного обладнання/кондиціонера в тоннах еквівалента двоокису вуглецю, тCO<sub>2</sub>екв / рік;

EC – річне споживання електроенергії, кВт\*год;

EF – еквівалентний коефіцієнт викидів CO<sub>2</sub> для України, 0,22 кгCO<sub>2</sub>екв /кВт-год [5, 6];

CF - коефіцієнт перерахунку тонн із кілограмів = 1 тонна/1000 кг.

Загальні річні еквівалентні викиди CO<sub>2</sub> від холодильної системи визначаються як сума річних чистих викидів HFC і PFC та річних еквівалентних викидів CO<sub>2</sub> від споживання електроенергії:

$$ET = E + EN,$$

де: ET – загальні річні еквівалентні викиди CO<sub>2</sub> від системи охолодження, тCO<sub>2</sub>екв;

E – викиди від холодильного обладнання/кондиціонера в тоннах еквівалента двоокису вуглецю, тCO<sub>2</sub>екв / рік ;

EN – річні чисті викиди ГФУ та ПФУ.

**Висновок.** За висвітленою методикою проведено розрахунки викидів ПГ робочих речовин холодильних систем та СКП різної потужності, результати яких подані в доповіді.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Закон України «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів» Документ 377-IX від 12.12.2019

2. Постанова Кабінету Міністрів України від 23 вересня 2020 р. № 880 «Про затвердження переліку видів діяльності, викиди парникових газів в результаті провадження яких підлягають моніторингу, звітності та верифікації»

3. GHG Protocol HFC Tool (Version 1.0). Calculating HFC and PFC Emissions from the Manufacturing, Installation, Operation and Disposal of Refrigeration & Air-conditioning Equipment (Version 1.0) Guide to calculation worksheets (January 2005);

4. Calculating HFC and PFC Emissions from the Manufacturing, Servicing, and/or Disposal of Refrigeration and Air-Conditioning Equipment Calculation Worksheets (Version 1.0) Worksheet 3- Screening Method for HFC and PFC Emissions from Refrigeration/AC Equipment: Emission Factor Based Approach;

5. Our World in Data. Ukraine: Carbon intensity: how much carbon does it emit per unit of energy. <https://ourworldindata.org/co2/country/ukraine?country=UKR#carbon-intensity-how-much-carbon-does-it-emit-per-unit-of-energy> .

6. Electricity Maps <https://app.electricitymaps.com/map>.

7. Kozachenko I.S, Zheliba Yu.O., Knysh S.V. Common practices of calculation of greenhouse gases emissions for HFC and NH<sub>3</sub> refrigeration systems // Збірник тез доповідей XIV Всеукраїнської науково-технічної конференції. Сучасні проблеми холодильної техніки та технології 21-22 вересня 2023 року Одеса: ОНТУ, 2023. С.103- 106.

## УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ КАБЕЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ

Козловський О. А., к.т.н., доц., e-mail: [kozlovskyioa@gmail.com](mailto:kozlovskyioa@gmail.com)

Телюта Р. В., к.т.н., доц., e-mail: [teliutarv@gmail.com](mailto:teliutarv@gmail.com)

Центральноукраїнський національний технічний університет

Телюта А. В., викл., e-mail: [annateliuta@gmail.com](mailto:annateliuta@gmail.com)

Кропивницький аграрний фаховий коледж

**Актуальність дослідження.** Регулярне пошкодження та руйнування агресором об'єктів критичної інфраструктури паливно-енергетичного сектору України, зокрема ТЕЦ, ТЕС районних котелень спонукає до перегляду підходів щодо теплозабезпечення житлово-комунального сектору. У найбільш складному становищі знаходяться мікрорайони з негазифікованими житловими будинками. Оскільки для відновлення зруйнованих об'єктів критичної інфраструктури потрібні значний час і дефіцитне обладнання.

Можливими шляхами вирішення цієї проблеми є такі: установка біля будинків теплових насосів, спорудження автономних електрокотелень і обладнання квартир кабельними системами опалення з теплоаккумуляцією [1]. Установка теплових насосів потребує значних капіталовкладень, доопрацювання прибудинкової території. Більш прийнятним є спорудження прибудинкових автономних електрокотелень, які врізаються в існуючу тепломагістраль будинку. Однак, вони потребують прокладання від трансформаторної підстанції нової кабельної лінії та спорудження потужного теплоаккумулятора, крім того, залишаються невирішеними питання точного обліку кількості спожитої теплової енергії конкретною квартирою. З урахуванням наявності в негазифікованих будинках електромереж для електроплит доцільним є улаштування в них електричних кабельних систем опалення з теплоаккумуляцією. Таке рішення дає широкі можливості щодо раціонального й економічного керування режимами опалення. Крім того, наявність теплоаккумулятора дає змогу використовувати електроенергію в нічні години коли є її певний надлишок в енергосистемі. Таким чином, удосконалення електричних кабельних систем опалення є актуальним.

**Мета дослідження.** Покращення експлуатаційних характеристик електричних кабельних систем опалення житлових і комунальних будівель.

**Основні матеріали досліджень.** Концепція електричних кабельних системи опалення за час їх існування переглядалася декілька разів. Початково перевагу надавали тришаровій системі, де перший шар утворювали теплоізоляційні панелі, другий – цементна стяжка, що фіксувала нагрівальний кабель і вирівнювала температурне поле по зовнішній поверхні нагрівального шару, третій – лицьова панель. Згодом був здійснений перехід до електротеплоаккумуляційних технологій і в якості теплоаккумулятора електричної кабельної системи опалення було запропоновано використовувати окремих теплоаккумуляційний шар з важкого бетону [2]. Таке удосконалення електричних кабельних систем опалення дозволило перевести їх у режим споживання електроенергії вночі з багатотарифним обліком електроенергії, що значно підвищило їх енергоефективність. Однак, ці системи опалення все ще мали низькі експлуатаційні характеристики – низьку механічну міцність підлоги, високу трудомісткість її улаштування, відсутність гідроізоляції та демпферного шару між цементно-піщаною стяжкою та стінами приміщення.

Наступним етапом розвитку електричних кабельних систем опалення стало додавання в бетонну стяжку наповнювачів з високою теплопровідністю (фіробетон), в т.ч. і металевих труб [3, 4]. У [3] було запропоновано теплу підлогу, що складалася з наступних послідовних горизонтальних шарів: чорнової стяжки, теплоізоляційного, алюмінієвої фольги, оцинкованих труб, керамзитобетону, нагрівального кабелю, цементно-піщаної стяжки, еластично-клейового розчину та фінального покриття. Головними її недоліками є недостатня міцність цементно-піщаної стяжки з нагрівальним кабелем внаслідок відсутності її армування, використання металевих труб.

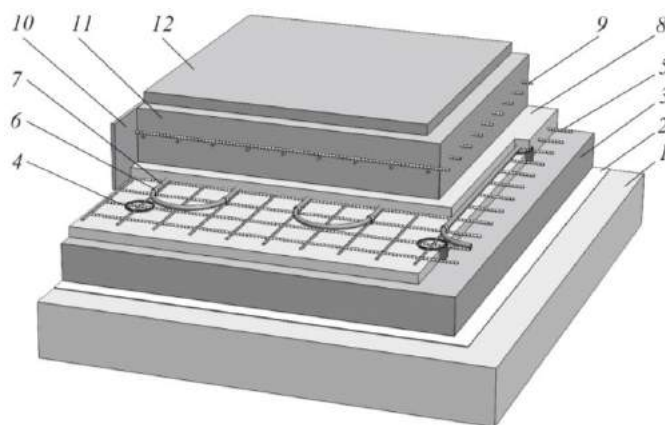


Рисунок 1 – 3D-модель ділянки електричної кабельної системи опалення

З метою усунення недоліків відомих систем електричного кабельного опалення запропоновано систему, будова якої представлена на рис. 1. Вона складається з шару гідроізоляції 2, що наноситься на огорожувальну конструкцію приміщення 1. На шар гідроізоляції укладається шар теплоізоляції 3. Впритул до шару теплоізоляції по периметру огорожувальної конструкції прокладається демпферний шар 10. Над шаром теплоізоляції на фіксаторах 4 укладається армувальна сітка 5, на якій за допомогою кріпильних елементів 6 фіксується нагрівальний кабель 7. На змонтований нагрівальний кабель укладається бетон, що містить дисперсійні волокна високої теплопровідності. Після затвердіння стяжки 8 на її поверхні формується теплоакumuлюючий шар 11, поверх якого влаштовується фінішне покриття підлоги 12. У стяжку теплоакumuлюючого шару закладається армувальна сітка 9.

Застосування фібробетону забезпечує високу теплопровідність нагрівального шару 8. Для виготовлення теплоакumuляційного шару слід використовувати бетон з заповнювачем, що здатний нагріватися та ефективно віддавати тепло. В якості таких заповнювачів може бути використаний важкий камінь гнейс, базальт і т.п.

Найбільшої ефективності кабельної системи опалення, з точки зору акумуляції тепла можливо досягти, якщо фінішне покриття підлоги виконати із матеріалу, що має підвищені теплоізоляційні властивості, наприклад деревинноволокнистих плит.

У запропонованій електричній кабельній системі опалення з теплоакumuляцією нагрівальний кабель розміщується на висоті рівній двом діаметрам нагрівального кабелю над шаром теплоізоляції, що покращує його теплообмін з теплоакumuлюючим шаром і виключає можливість локального перегріву зі сторони шару теплоізоляції. Використання фібробетону, дає змогу підвищити теплопровідність стяжки з нагрівальним кабелем, посилити її механічну міцність, знизити ризик появи мікротріщин при роботі системи опалення.

**Висновок.** Запропоновано конструкцію електричної кабельної системи опалення з теплоакumuляцією, що має покращені експлуатаційними характеристики: рівномірний теплорозподіл тепла по поверхні, підвищену стійкість стяжок до тріщиноутворення, знижені теплові втрати в основу огорожувальної конструкції приміщення.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДБН В.2.5-24:2012 Електрична кабельна система опалення. На заміну ДБН В.2.5-24:2003; чинні 01.10.2012 р. Вид офіц. К.: Мінрегіонбуд України, 2012. 83 с.
2. Енергоощадна технологія електротеплоакumuляційного обігріву в житлово-комунальному та аграрно-промисловому комплексах України. Відповідальний редактор к.т.н. Д. Й. Розинський. К.: Видавництво Купріянова О. О. 2007. 272 с.
3. Спосіб укладання теплої підлоги : пат. Україна 143841 : F24D 13/02, F24D 3/12, F24D 3/14. u 2020 02007, заявл. 23.03.2020; опубл. 10.08.2020, Бюл. № 15.
4. Спосіб монтажу електричної кабельної системи прямої дії: пат. Україна 151302: F24D 13/02. № u 2022 00515; заявл. 08.02.2022; опубл. 29.06.2022, Бюл. № 26.

## НАГРІВАННЯ ПОРОШКІВ ДЛЯ ТЕХНІЧНОЇ КЕРАМІКИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕНЕРГІЇ МІКРОХВИЛЬОВОГО ПОЛЯ

Кравченко Є. О., аспірант, e-mail: [odessaevgeniy@gmail.com](mailto:odessaevgeniy@gmail.com)

Бошкова І. Л., д.т.н., проф, e-mail: [boshkova.irina@gmail.com](mailto:boshkova.irina@gmail.com)

Одеський національний технологічний університет

**Актуальність дослідження.** Одна з розвинених областей застосування мікрохвильового випромінювання – спікання керамічних матеріалів [1]. Зазначається [2], що висока швидкість нагріву в мікрохвильовому полі дозволяє отримувати керамічні та композиційні матеріали з тонкою та однорідною мікроструктурою, що мають, як наслідок, підвищену міцність, твердість, тріщиностійкість. Технічна кераміка поєднує матеріали, що застосовуються в різних галузях сучасної техніки [3]. Технічна кераміка – це порівняно новий вид матеріалів, проте темпи зростання її випуску (від 15 до 25% щорічно) набагато перевищують відповідні показники для сталі, алюмінію та інших металів. Спікання кераміки як один з найважливіших фізико-хімічних процесів вимагає створення умов для активації дифузії та розчинення фаз, покращення структурних та міцнісних властивостей, і в цьому відношенні перспективним є метод мікрохвильового нагріву, застосування якого також здатне призвести до суттєвих знижень енергетичних витрат у порівнянні з традиційними методиками [4].

**Метою досліджень** є вивчення особливостей процесів, що протікають при мікрохвильовому нагріванні порошоків карбиду кремнію, та оцінка енергоефективності перетворення енергії мікрохвильового поля у внутрішню енергію шару матеріалу.

**Основні матеріали досліджень.** Для отримання даних за тепловим ККД мікрохвильової камери досліджувалось нагрівання пластини з пресованого порошкового карбиду кремнію товщиною  $\delta=1,0$  см, дисперсність (фракція) частинок 125 мкм. Сполучною речовиною служив полівініловий спирт. Маса зразка складала 0,165 кг. Вихідна потужність магнетрону  $P=800$  Вт. Вимірювання проводилися на поверхні зразка та на його дні. Визначено, що дно зразка, ізольоване від навколишнього середовища під час нагрівання, нагрівається інтенсивніше.

Таблиця 1 - Результати теплових розрахунків нагріву порошка карбиду кремнію

| №  | $\tau$ , с | $t_{\text{пов}}$ , °С | $(\Delta t/\tau)_{\text{пов}}$ , К/с | $t_{\text{дно}}$ , °С | $(\Delta t/\tau)_{\text{дно}}$ , К/с | КПД камери, % |
|----|------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|---------------|
|    | 1          | 2                     | 3                                    | 4                     | 5                                    | 6             |
| 1  | 0          | 20                    | -                                    | 20                    | -                                    | -             |
| 2  | 20         | 27,3                  | 0,4                                  | 33,2                  | 0,7                                  | 11,1          |
| 3  | 40         | 34,2                  | 0,35                                 | 49,1                  | 0,8                                  | 7,8           |
| 4  | 60         | 45,6                  | 0,55                                 | 58,3                  | 0,45                                 | 4,6           |
| 5  | 80         | 58,5                  | 0,65                                 | 72,2                  | 0,7                                  | 6,9           |
| 5  | 100        | 71,2                  | 0,65                                 | 94,4                  | 1,1                                  | 11            |
| 6  | 120        | 95,1                  | 1,2                                  | 109,1                 | 0,75                                 | 7,3           |
| 7  | 140        | 115,3                 | 1,0                                  | 128,5                 | 0,95                                 | 9,4           |
| 8  | 160        | 138,2                 | 1,25                                 | 154,7                 | 1,3                                  | 13            |
| 9  | 180        | 156,6                 | 0,9                                  | 169,4                 | 0,75                                 | 7,3           |
| 10 | 200        | 181,4                 | 1,25                                 | 205,3                 | 1,95                                 | 17,7          |
| 11 | 220        | 198,8                 | 0,85                                 | 217,2                 | 0,6                                  | 5,9           |
| 12 | 240        | 204,3                 | 0,3                                  | 246,3                 | 1,45                                 | 14,4          |
| 13 | 260        | 215,7                 | 0,55                                 | 269,4                 | 1,15                                 | 11,6          |
| 14 | 280        | 248,5                 | 1,65                                 | 320,3                 | 2,55                                 | 25,2          |

Також було помічено, що, починаючи з певного температурного рівня (для даного зразка – при температурі близько 220 °С), темп нагрівання посилювався, що можна пояснити збільшенням значення діелектричної проникності карбіду кремнію. Результати теплових розрахунків наведені у табл. 1.

Значення ККД камери показують, що енергія мікрохвильового випромінювання лише частково перетворюється на внутрішню енергію матеріалу, що пов'язано з малим завантаженням камери. Збільшення маси завантаження в 5 разів призвело до збільшення ККД до 84 %. На наступному етапі роботи досліджувалось МХ нагрівання різних фракцій порошку карбіду кремнію (рис. 1).



Рисунок 1 – Фракції порошку карбіду кремнію

Після проведення досліджень виконані теплові розрахунки, результати представлені в табл. 2.

Таблиця 2 – Теплові характеристики нагрівання різних фракцій порошку карбіду кремнію

| Фракція  | F100  | F240  | F600  | F1200 |
|--|-------|-------|-------|-------|
| Кінцева температура, °С                        | 85    | 71    | 75    | 46    |
| Маса, г  | 4,87  | 4,84  | 4,85  | 4,87  |
| Кількість теплоти, витрачена на нагрівання, Дж | 197,9 | 171,3 | 171,7 | 87,7  |
| Тривалість нагріву, с                          | 110   | 110   | 110   | 110   |
| Середня потужність нагріву, Вт                 | 1,79  | 1,55  | 1,56  | 0,79  |

Отримано, що, якщо рівномірність нагріву підвищується зі збільшенням дисперсності, ефективність перетворення мікрохвильової енергії знижується.

**Висновок.** Нагрівання порошоків карбіду кремнію різної дисперсності для фракцій F100, F240, F600, F1200 у мікрохвильовому полі довело, що зменшення розміру частинок призводить до зниження величини поглинання мікрохвильової енергії. Так, через 170 с нагрівання в мікрохвильовій камері температура зразка F100 становила 82 °С, F240 – 73 °С, F1200 – 65 °С. Збільшення дисперсності порошоків сприяє зниженню температурної нерівномірності за об'ємом зразків.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Microwave heating controlled reactive melt infiltration for graphite-Si-SiC ceramics manufacturing / L. Cornolti et al. Journal of the American Ceramic Society. 2018. URL: <https://doi.org/10.1111/jace.16124>.
2. The Use of Microwave Drying Process to the Granular Materials / F. I. Hathazi et al. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2019. Vol. 10, no. 11. URL: <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2019.0101104>.
3. Advanced Technical Ceramics. Elsevier, 1989. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-654630-9.x5001-3>.
4. Rhee S. Mikrowellenprozeßtechnik für keramische Werkstoffe der Mikrosystemtechnik / S. Rhee. 2002. URL: <http://d-nb.info/1198219343/34>.

## ОПТИМАЛЬНИЙ ВИБІР ПРИРОДНОГО ХОЛОДАГЕНТУ ДЛЯ СИСТЕМ ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ

Марченко В. О., аспірант, e-mail: [postvlad1995@gmail.com](mailto:postvlad1995@gmail.com)

Хмельнюк М. Г., д.т.н., проф., e-mail: [hmel\\_m@ukr.net](mailto:hmel_m@ukr.net)

Одеський національний технологічний університет

**Актуальність дослідження.** Різноманітність холодоагентів та систем холодопостачання надмірна. На фазі реалізації інновацій при проектуванні системи, щодо зменшення часу на розробку HVAC&R систем, коли існує чітка тенденція до використання природних холодоагентів, що регламентовано нормативно-правовою базою, з дослідження виявлено, що наукові пропозиції, гіпотези відрізняються один від одного щодо зручності використання HVAC&R систем. Виявлено, що порівняння між різними системами в комерційній і технічній документації відображає інтерес особи або компанії, яка готує оцінку. Такий тип порівняння не є оптимальним, через пряме використання комерційних інтересів або внаслідок ненавмисної упередженості.

**Мета дослідження.** Знайти оптимальний природний холодоагент або суміш природних холодоагентів для систем холодопостачання.

**Основні матеріали досліджень.** Природні холодоагенти є екологічно чистою альтернативою звичайним синтетичним холодоагентам. Вуглеводні, такі як пропан і бутан, набирають популярності через низький ПГП та енергоефективність. Аміак (NH<sub>3</sub>) широко використовується в промисловості через його чудові властивості теплопередачі, але його токсичність вимагає обережного поводження та міркувань безпеки. Вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>) є ще одним природним варіантом з низьким ПГП, який підходить як для середніх, так і для високих температур. Кожен холодоагент має свої переваги та обмеження, і вибір залежить від таких факторів, як застосування, правила безпеки та системні вимоги.

У прагненні до стійких та екологічно відповідальних систем охолодження та вентиляції та кондиціонування повітря вибір холодоагентів став визначальним фактором. Природні холодоагенти, які включають вуглеводні, аміак і вуглекислий газ, привернули значну увагу через їх низький вплив на навколишнє середовище та сприятливі термодинамічні властивості. У цьому розділі розглядаються природні холодоагенти, досліджуються їхні характеристики, переваги, обмеження та застосування в контексті холодильних систем і технологій HVAC.

**Вуглеводні:** вуглеводні, включаючи пропан (R290) та ізобутан (R600a), набули популярності як природні холодоагенти завдяки їх низькому потенціалу глобального потепління (GWP) і потенціалу руйнування озонового шару (ODP). Їх відмінні термодинамічні властивості роблять їх придатними для різних застосувань, починаючи від домашніх холодильників і закінчуючи комерційними холодильними установками. Однак їхня займистість вимагає обережного поводження та міркувань безпеки, вимагаючи дотримання суворих норм і стандартів.

**Аміак (NH<sub>3</sub>):** Аміак є давнім природним холодоагентом з винятковими термодинамічними властивостями, що робить його кращим вибором для промислових холодильних систем і великомасштабних установок HVAC & R систем. Його високий коефіцієнт теплопередачі та енергоефективність сприяють його популярності в таких сферах застосування, як холодильні камери, ковзанки та підприємства харчової промисловості. Тим не менш, токсична природа аміаку вимагає дотримання суворих протоколів безпеки при його зберіганні, поводженні та застосуванні.

**Вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>):** вуглекислий газ, також відомий як R744, набув значної популярності як екологічно чистий холодоагент завдяки своєму незначному GWP і нетоксичній природі. CO<sub>2</sub> ефективно працює при більш високому тиску, що робить його

придатним як для середніх, так і для високих температур. Він знаходить застосування в транскритичних і субкритичних системах, зокрема в комерційних холодильних установках і деяких системах HVAC & R систем. Незважаючи на те, що його унікальні характеристики викликають інженерні проблеми, прогрес у технології призвів до інноваційних систем, які використовують потенціал CO<sub>2</sub>.

Природні холодоагенти разом мають декілька переваг перед звичайними синтетичними холодоагентами, головним чином через їх менший вплив на навколишнє середовище. Їхній низький ПГП зменшує внесок у глобальне потепління та зміну клімату. Крім того, багато природних холодоагентів мають відмінні термодинамічні властивості, які підвищують ефективність і продуктивність системи. Однак їх прийняття не обходиться без проблем. Питання безпеки, займистість (у випадку вуглеводнів), токсичність (для аміаку) і потреба в спеціалізованому обладнанні створюють обмеження, які необхідно враховувати під час проектування та впровадження системи.

Використання природних холодоагентів поширюється на широкий спектр застосувань, починаючи від побутових холодильних установок і закінчуючи промисловими холодильними установками. У міру того, як законодавчі органи потребують поступової відмови від синтетичних холодоагентів із високим ПГП, природні холодоагенти все частіше застосовуються, особливо в комерційних холодильних установках, харчовій промисловості та великомасштабних системах HVAC & R систем. Тенденція до екологічних методів і охорони навколишнього середовища ще більше підштовхнула дослідження інноваційних технологій і проектів систем, які використовують потенціал природних холодоагентів.

Сфера природних холодоагентів насичена постійними дослідженнями та інноваціями. Інженери та дослідники продовжують досліджувати шляхи підвищення їх сумісності з різними програмами, пом'якшити проблеми з безпекою та оптимізувати ефективність системи. Нові конструкції теплообмінників, удосконалена архітектура систем і розширені стратегії керування – лише деякі приклади інноваційних рішень, які формують майбутнє використання природного холодоагенту.

**Висновок.** Природні холодоагенти є ключом у прагненні до стійких систем охолодження та кондиціонування. У міру того як промисловість повертається до екологічно свідомих рішень, до вибору та застосування природних холодоагентів необхідно підходити з повним розумінням їхніх властивостей, переваг і проблем. Орієнтуючись на нюанси вуглеводнів, аміаку та вуглекислого газу, проектувальники систем та інженери можуть скеровувати траєкторію пошуку оптимального холодильного обладнання та технологій HVAC & R систем у бік екологічно чистішого та екологічно відповідального майбутнього.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ciconkov R. Холодоагенти: досі немає бачення стійких рішень. *International Journal of Refrigeration*. 2018. Т. 86. С. 441–448.
2. Refrigerant CO<sub>2</sub>. Startseite. URL: <https://www.konvekta.de/en/research/refrigerant-co2.html> (date of access: 01.11.2023).
3. Альфа Лаваль публікує технічний документ про екологічні холодоагенти. теплообмінники, сепаратори, декантери | Alfa Laval. URL: <https://www.alfalaval.ua/media/news/2021/alfa-laval-publishes-white-paper-on-sustainable-refrigerants/> (дата звернення: 01.11.2023).
4. Падилькес И. Властивість холодильних агентів. Київ : Харч. пром-сть, 1981. 325 с.
5. Товажнянський Л., Готлінська А., Лещенко В. Процеси та апарати хімічної технології. Харків : НТУ «ХПІ», 2007. 540 с.



## ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН

Мольський О. С., Ph.D, докторант, e-mail: [molskiyalex@gmail.com](mailto:molskiyalex@gmail.com)

Потапов В. О. д.т.н., проф., e-mail: [potapov@bigmir.net](mailto:potapov@bigmir.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність даної теми** обумовлена необхідністю підвищення холодопродуктивності та енергоефективності компресорів та холодильних машин.

Сьогодні енергоефективність стала однією з найважливіших характеристик будь-якого проекту. Енергозберігаючій техніці та технологіям присвячуються цілі глави техніко-комерційних пропозицій, а в проектній документації енергозберігаючим рішенням відводять окремий розділ із докладними описами та розрахунками. Промислові холодильні системи на великих підприємствах, які використовують десятки та сотні кілограм холодоагенту, можуть працювати ще краще. Таке обладнання часто експлуатується на харчових та фармацевтичних виробництвах, і завдяки експертизі та консультаціям фахівців можуть значно підвищити свою енергоефективність. Це, своєю чергою, призведе до значного зниження експлуатаційних витрат.

Згідно з директивами Комісії Євросоюзу з енергетики та транспорту ЄС (92/75/CEE, 94/2/Є, 95/12/Є, 2003/66/Є) у всіх холодильників, як і у більшості побутових товарів, має бути етикетка енергоефективності ЄС, що показує основні споживчі властивості товару. Як відомо ефективність у використанні приладами енергії позначається класами-символами від «А», до «G». Аналогічні вимоги сформульовані у відомому європейському стандарті [1].

Відомо [2], що енергоспоживання холодильних машин залежить від ефективності роботи його підсистем, до яких відносяться компресор, конденсатор, випарник, вентилятори випарників, вентилятори конденсатора та ін.

### **Мета досліджень.**

Теоретичне обґрунтування шляхів підвищення холодопродуктивності та енергоефективності. Основним напрямом досліджень на базі сертифікованого програмного забезпечення виробників холодильного обладнання, проаналізувати вплив зміни температур конденсації, випаровування та переохолодження рідини холодоагенту R507 (GVP 3985).

Нами досліджуються питання зміни енергоспоживання та холодопродуктивності холодильників за рахунок оптимізації роботи компресора холодильного агрегату та раціонального управління його роботою.

На основі досліджень ми формуємо основні фактори які зможуть підвищити продуктивність та енергоефективність холодильних машин

1. Зниження конденсації на  $1^{\circ}$  збільшує продуктивність компресора в середньому на 3%
2. Підвищення випаровування на  $1^{\circ}$  збільшує продуктивність компресора в середньому на 5,5%
3. Підвищення переохолодження на  $1^{\circ}$  збільшує продуктивність в середньому на 2%. Попередні фактори стосувалися підвищення холодопродуктивності. Економія електроенергії досягається за наступної умови:
4. Зниження перепаду температур випаровуванням і конденсацією на  $1^{\circ}$  знижує енергоспоживання компресора в середньому на 3,5%
5. Збільшення переохолодження на  $1^{\circ}$  зменшує споживання енергії компресором в середньому на 2%.

Таблиця 1 – Підвищення продуктивності компресора при різних температурах випаровування при зміні параметрів конденсації, випаровування або переохолодження на 1К (R507)

| Температура випаровування | 0    |      |      | -10  |      |      | -20  |      |      | -30  |      |      |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Змінний параметр на 1К    | 1    | 2    | 3    | 1    | 2    | 3    | 1    | 2    | 3    | 1    | 2    | 3    |
| % Зміни                   | 2,46 | 4,58 | 1,76 | 2,75 | 5,05 | 1,97 | 3,14 | 5,80 | 2,09 | 3,70 | 6,88 | 2,12 |

1 – конденсація  
2 – випаровування  
3 – переохолодження

Таблиця 2 – Середній COP R507 при переохолодженні змінюється

| Температура випаровування        | 0    | -10  | -20  | -30  |  | -40  |
|----------------------------------|------|------|------|------|--|------|
| Зміна 20 К при переохолодженні % | 35,2 | 37,9 | 40,4 | 44,0 |  | 47,1 |
| 1 К зміна при переохолодженні %  | 1,8  | 1,9  | 2,06 | 2,27 |  | 2,38 |

### Висновки.

Зміна зниження конденсації, підвищення температури випаровування, переохолодження рідини позитивно впливають на холодопродуктивність та енергоефективність. Це відкриває перспективу для подальшого дослідження найбільш ефективних чинників які впливають на ці фактори.

Слід зазначити, що збільшення продуктивності та ефективності компресора або іншого елемента ТІЛЬКИ не змінює пропорційно продуктивність всієї системи. Непропорційне збільшення продуктивності одного з елементів по відношенню до інших може негативно позначитися на роботі всієї холодильної системи. Будь які якісні зміни в окремих вузлах системи повинні відбуватися пропорційно з корекцією продуктивності і з урахуванням роботи інших елементів.

Додавання додаткових елементів в холодильну систему призводить до зміни загальної вартості та умов монтажу та експлуатації обладнання (габарити, пускові струми, пікові навантаження, енергетичні обмеження, час доставки та монтажу, уніфікація, зручність обслуговування, гарантії тощо). Всі додаткові впровадження які змінюють холодильну систему повинні мати реальні терміни окупності.

Використання цих правил дозволить підвищити холодопродуктивність та енергоефективність компресорів та холодильних машин в цілому.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ISO 50001:2011 «Energy management systems – Requirements with guidance for use».
2. Вейнберг Б.С. Бытовые компрессионные холодильники / Б.С. Вейн-берг, Л.Н. Вайн. – М.: Пищевая промышленность, 1974. – 272 с.
3. Доссат Р.Дж. Основи холодильної техніки / Principles of Refrigeration / Рой Дж. Доссат, Томас Дж. Хоран.

## ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ

Мольський С. М., експерт, e-mail: [kriofor69@gmail.com](mailto:kriofor69@gmail.com),

Холодильна асоціація України

**Актуальність дослідження.** За даними МЕА, у 2019 році загальносвітовий обсяг викидів парникових газів (ПГ) від спалювання палива становив 34,2 Гт в еквіваленті CO<sub>2</sub>.

Викопні види палива — вугілля, нафта та газ — роблять найбільший внесок у глобальну зміну клімату: на їхню частку припадає понад 75 відсотків глобальних викидів парникових газів та майже 90 відсотків усіх викидів вуглекислого газу.

Середньосвітовий показник вуглецевої місткості електроенергії у 2018 році становив близько 0,479 кг CO<sub>2</sub> /кВт\*год, а середньорічний показник майже кожної країни менший 0,800 кг CO<sub>2</sub>/кВт\*год. З активізацією успішних зусиль з декарбонізації електроенергії середній показник CO<sub>2</sub> /кВт · год у світі знизився з 0,537 кг у 2000 році до 0,479 кг у 2018 році. Більшість відновлюваних джерел енергії мають переривчастий характер і не здатні забезпечити постійну подачу електроенергії до мережі; так, сонячні та вітрові установки можуть забезпечувати електропостачання тільки за умови наявності достатньої кількості сонячної та вітрової енергії відповідно. На даний час ці джерела не мають суттєвого впливу на світову електрогенерацію. [1]

**Мета дослідження:** розкрити потенціал оптимізації холодильних систем з холодоагентами з високим GWP для зниження шкоди зовнішньому середовищу у вигляді аварійних витоків і зменшення енергоспоживання для зниження обсягів викидів вуглекислого газу тепловими електростанціями.

**Основні матеріали досліджень:** розрахунки викидів CO<sub>2</sub> електростанціями що працюють на природному газі, аналіз чинників що впливають на енергоспоживання холодильного обладнання, аналіз чинників, що впливають на обсяги заправки холодоагенту в холодильній системі.

Розрахуємо кількість CO<sub>2</sub>, який безпосередньо викидає електростанція, що працює на природному газі, тобто об'єм CO<sub>2</sub>, який виділяється в результаті спалювання природного газу.

Повне згоряння одного кубічного метра природного газу виділяє:

$$3.841 \times 10^7 \text{ Дж/м}^3 / 3.6 \times 10^6 \text{ Дж/ кВт-год} = 10,67 \text{ кВт-год (теплових) / 1 м}^3.$$

Щільність газу становить приблизно: 0,800 кг/м<sup>3</sup>.

За повного спалювання одного кілограма природного газу буде виділено:

$$10,67 \text{ кВт-год/ м}^3 / 0,8 \text{ кг/м}^3 = 13,34 \text{ кВт-год (теплових)}$$

Середня продуктивність діючих установок з комбінованим циклом природний газ становить близько 50%. Тобто 50% енергії, що вивільняється за рахунок спалювання природного газу, в результаті перетворюється на електроенергію, а решта 50% витрачаються на опалення та інші види втрати енергії.

Електрична продуктивність на один кілограм природного газу:

$$13,34 \text{ (теплових) кВт-год} \times 0,50 = 6,67 \text{ (електричних) кВт-год /кг (природного газу).}$$

Кілограми природного газу на одну кВт-год електрики:

$$1/6,67 = 0,150 \text{ кг/ кВт-год (електроенергії)}$$

Природний газ у середньому на 73,4% складається з вуглецю (за масою).

Електростанція на природному газі при виробництві 1кВт електричної енергії виділить вуглецю:

$$0,15 \text{ кг природного газу /кВт-год електрики} \times 0,734 \text{ кг вуглецю на кг природного газу} = 0,110 \text{ кг вуглецю на кВт-год електроенергії}$$

При спалюванні вуглецю додаткова маса кисню означає, що кожен кілограм вуглецю, що виділяється, дорівнює 3,67 кілограма вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>).

Електростанція на природному газі за 1 кВт-годину генерованої електрики викидає:

0,11 кг вуглецю /кВт-год (електрики) x 3,67 кг CO<sub>2</sub>/кг (вуглецю) = 0,404 кг CO<sub>2</sub>/ кВт-год (електроенергії). [2]

Дані розрахунки не враховують додаткові непрямі викиди вуглекислого газу, пов'язані зі здобиччю та транспортування цього виду палива, а також з будівництвом електростанції.

Якщо порівняти світовий показник - 0,479 кг/кВт з розрахунками що до електростанції, яка працює на природному газі - 0,404 кг/кВт, можна зробити висновок, що в енергетиці поки що домінує системи електрогенерації, що використовують природне паливо.

Кожен кВт електроенергії, який можна зекономити - це можливість зменшення викидів CO<sub>2</sub>

Холодильні системи мають великий потенціал енергозбереження. Застосування ефективних моторів, оптимізація процесів регулювання продуктивності і розморожування випарників, мінімізація втрат місцевих і магістральних, додаткове переохолодження рідини, зменшення градієнтів температур на теплообмінниках, утилізація викидного тепла і т.і.

З іншого боку оптимізація, яка буде направлена на зменшення обсягів холодоагенту в системі з метою зниження шкоди екології в разі аварійного витоку холодоагенту.

Для прикладу візьмемо низькотемпературну систему холодопродуктивністю 25кВт. Об'єм холодоагенту R507a (GWP3985) - 55 кг. Енергоспоживання компресору, вентиляторів конденсатора та повітроохолоджувачів такої системи приблизно дорівнює 119 000 кВт/рік (для низькотемпературної системи при коефіцієнті робочого часу 0,7).

Електростанція на природному газі, щоб виробити таку кількість електричної енергії, викине в атмосферу:

$$11900\text{кВт} \cdot 0,404 \text{ кг/кВт} = 48076 \text{ кг (CO}_2\text{)}$$

Повний викид в атмосферу холодоагенту R507a (GWP3985) у випадку серйозної аварії системи еквівалентно:

$$55 \text{ кг} \cdot 3985 \text{ т} = 219175 \text{ кг (CO}_2\text{)} [3]$$

Системна оптимізація елементів (теплообмінників, трубопроводів, арматури) при проектуванні холодильної системи доведе до суттєвого зниження заправки холодоагенту з 55 до 17кг.

Вірогідний викид 17 кг холодоагенту R507a (GWP3985) в атмосферу може бути:

$$17 \text{ кг} \cdot 3985 \text{ т} = 67745 \text{ кг (CO}_2\text{)}$$

Системна оптимізація енергетичного обладнання та енергоємних процесів холодильної системи приведе до зменшення загального енергоспоживання системи з 119 000 до 64458 кВт /рік

Електростанція на природному газі, щоб виробити таку кількість електричної енергії, викине в атмосферу:

$$64458\text{кВт} \cdot 0,404 \text{ кг/кВт} = 26041 \text{ кг (CO}_2\text{)}$$

**Висновок.** Системні оптимізації направлені на підвищення енергоефективності обладнання та на зменшення об'ємів заправки холодоагентом можуть зробити реальний вплив на екологію. В прикладі що наданий викиди CO<sub>2</sub> електростанції зменшаться майже в двічі: з 48 до 26 т/рік, а ризики нанесення шкоди у разі аварійного витоку холодоагенту зменшаться в три рази з 219 до 68 т. Щорічне зменшення викидів CO<sub>2</sub> в атмосферу за 2,62 роки перекрис ефект аварійного 100% витоку холодоагенту. Для середньотемпературних систем потенціал енергозбереження буде менший ніж для низькотемпературних систем. Основна причина цього в менших коефіцієнтах робочого часу на протязі всього року, та більш високі значення COP для компресорів. Питомі обсяги заправки системи в середньотемпературних системах будуть менші.

#### ПЕРЕІК ПОСИЛАНЬ

1. ECE /TRANS/WP.6/2022/6. ООН. Економічна і соціальна рада. Сімдесят третя сесія Женева, 15–17 червня 2022 року Заряджання електромобілів: аналіз викидів CO<sub>2</sub>. Записка секретаріату URL: <https://unece.org/sites/default/files/2022-04/ECE-TRANS-WP.6-2022-06r.pdf>

2. Інститут досліджень енергетики та навколишнього середовища. Енергетика та Безпека №38 (2007) Розрахунок викидів CO<sub>2</sub> від електростанції, що працює на природному газі.

3. Кігалійська поправка. Інформаційний листок №3. ППІ, CO<sub>2</sub> (екв.) та кошик ДФУ URL: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26866/7878FS3>

ДЕЯКІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ  
СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ  
Петренко О. В., к.т.н., доц., e-mail: [petrenkoolena23@gmail.com](mailto:petrenkoolena23@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет  
Білецький Е. В., д.т.н., проф., e-mail: [bileckyj.e@gmail.com](mailto:bileckyj.e@gmail.com)  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Актуальність дослідження.** Системи охолодження та кондиціонування (СОК) в більшості випадків є досить складними об'єктами, що вимагають знання про кількісні та якісні закономірності, які притаманні всім процесам в СОК. У зв'язку з цим набуває все більшого значення вивчення властивостей і закономірностей складних об'єктів, якими є СОК, з урахуванням методів моделювання.

Сучасним СОК притаманні наступні тенденції:

- мінливі та різноманітні умови функціонування;
- широка номенклатура основного та допоміжного холодильного обладнання, включаючи технологічне холодильне обладнання, холодильні меблі, тощо;
- еволюція приладів автоматики та контролю, підвищення рівня автоматизації СОК в цілому;
- високі вимоги щодо умов функціонування та експлуатації СОК з позицій: екологічності, економічності, енергоефективності, ресурсозбереження.

Перелічені вище тенденції зумовлюють пошук інженерних рішень СОК пов'язаних з визначенням оптимальних параметрів холодильних систем, типу схем холодопостачання, трасування трубопроводів, раціональним підбором холодильного та технологічного обладнання тощо. Все це веде до підвищення складності та трудомісткості як проектних робіт так й оптимальних умов експлуатації СОК, вирішення яких можливо за допомогою застосування методів моделювання.

**Мета досліджень.** Аналіз застосування методів моделювання при проектуванні та експлуатації СОК, що дасть змогу обрати актуальні шляхи розробки сучасних СОК з позицій: екологічності, економічності, енергоефективності, ресурсозбереження.

**Основні матеріали досліджень.** На сьогодні при проведенні досліджень в галузі холодильної та кліматичної індустрії застосовуються методи як математичного так фізичного моделювання [1, 2]. Відомо, що при фізичному моделюванні вивчення будь-якого процесу відбувається при його відтворенні у різних умовах геометричної та фізичної подоби, аналізу впливу різних фізичних особливостей [1]. При цьому експериментальні дослідження проводять завжди безпосередньо на досліджуваному фізичному процесі. Дослідні дані подають у формі залежностей безрозмірних комплексів, складених комбінацій різних фізичних величин та лінійних розмірів (критеріїв подібності  $Nu$ ,  $Re$ ,  $Pr$  та ін.). Ця безрозмірна форма дозволяє розподілити отримані залежності на групу подібних між собою явищ, що характеризуються сталістю критеріїв подібності.

При проектуванні складних енергетичних об'єктів в першу чергу використовуються математичні моделі, які відображають закономірності процесів функціонування об'єктів [2]. На відміну від фізичного моделювання, математичне моделювання дозволяє вивчати лише ті параметри, які мають математичний опис і пов'язані математичними співвідношеннями в рівняннях, що відносяться як до моделі, так і до оригіналу.

Вид обраної математичної моделі може залежати, як від природи реального об'єкта, і завдань дослідження об'єкта, так і від необхідної точності розв'язання завдань [2].

При формуванні математичного опису СОК необхідно застосовувати математичні моделі, що відображають структурні властивості об'єкта, тобто в цьому випадку доцільно використовувати структурно-системні моделі.

Моделювання холодильної системи складається з низки взаємопов'язаних етапів:

- Постановка завдання моделювання.
- Складання математичного опису.
- Алгоритмізація математичного опису.
- Проектування.
- Перевірка адекватності математичної моделі.

Постановка завдання моделювання включає наступні етапи:

- Підготовка та систематизація вихідної інформації.
- Системне представлення СОК.
- Визначення мети та критерію оптимальності.

У процесі моделювання необхідно при заданих параметрах охолоджуваних потоків, конструкції пристроїв охолодження та їх розташуванні в просторі обрати: тип холодильної системи та схеми холодопостачання, тип холодоагенту та холодоносія, кількість ізотерм кипіння з розподілом по них споживачів холоду, а також обрати таку структуру зв'язків між окремими підсистемами та елементами системи, які зможуть забезпечити умову оптимальності при фіксованих обмеженнях на структурні параметри.

**Висновки.** При створенні математичної моделі СОК модельована холодильна система виділяється як характерна підсистема підприємства. Зовнішні технологічні та економічні зв'язки замінюються їх узагальненим описом чи кількісними характеристиками. При цьому СОК розглядається як єдиний системний комплекс різних підсистем, елементів та процесів, призначений для вироблення енергії холоду. Будь-яка зміна будь-якого параметра або елемента СОК впливає на параметри та характеристики всієї системи. Цей вплив для кожного елемента системи передається через сукупність його граничних фізичних, термодинамічних та витратних параметрів. Термодинамічні та витратні параметри визначають спрямованість та характер перебігу процесів в окремих підсистемах та елементах обладнання. Сукупність значень вказаних параметрів визначає режимний стан холодильної системи загалом. Кожен елемент СОК призначений для реалізації конкретного технологічного процесу. Як елементи можуть розглядатися компресори, насоси, теплообмінники та інше холодильне обладнання.

При проведенні моделювання можна допустити наступні припущення – всі процеси протікають у системі безперервно та відповідають необхідному стаціонарному або змінному тепловому навантаженню.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Виклюк Я. І. Моделювання складних систем: посібник / Я. І. Виклюк, Р.М. Камінський, В.В. Пасічник – Львів: Видавництво «Новий Світ – 2000», 2020. 404 с.
2. Павленко П. М. Математичне моделювання систем і процесів: навч. посіб. / П. М. Павленко, С. Ф. Філоненко, О. М. Чередніков, В.В. Трейтяк. К. : НАУ, 2017. 392 с.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПАРОКОМПРЕСІЙНОГО ТЕПЛОГО НАСОСУ НА ПРИРОДНИХ РОБОЧИХ ТІЛАХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Плигун Е. В., магістрант, e-mail: [duba225@gmail.com](mailto:duba225@gmail.com)  
 Хмельнюк М. Г., д.т.н., проф., e-mail: [hmel\\_m@ukr.net](mailto:hmel_m@ukr.net)  
 Одеський національний технологічний університет

**Актуальність дослідження.** Теплові насоси є вискоелективною технологією використання поновлюваних джерел енергії, яка може використовувати широкий перелік джерел низькопотенційного тепла, таких як повітря, ґрунт, ґрунтові або поверхневі води, в якості джерела тепла при роботі в режимі нагріву. Аналіз ефективності теплового насоса з різними холодоагентами може виявити потенціал для застосування робочих тіл з низьким GWP і визначити можливості для підвищення термодинамічної ефективності.

**Основні матеріали досліджень.** При дослідженні парокомпресійного теплового насоса було проведено аналіз температури нагнітання при роботі на різних холодоагентах (R134a, R404a, R410A, R290, R1270, R600a).

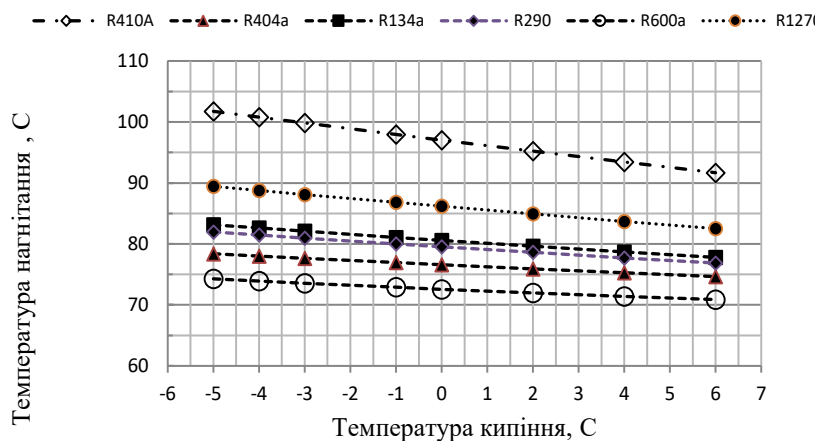


Рисунок 1 – Залежність температури нагнітання компресору від температури кипіння холодоагенту  $t_2=f(t_0)$

Температура на виході з компресора має суттєвий вплив на продуктивність теплового насоса для нагріву проміжного холодоносія (повітря, води або охолоджуючої рідини). Температура пари холодоагенту на виході з компресора визначає максимально можливу межу температури нагріву проміжного середовища при конденсації холодоагенту або відведення теплоти перегріву (пароохолоджувача). Можна відвести приблизно 10-15% тепла конденсації в пароохолоджувачі (форконденсаторі) теплового насоса. Тепловий потік в форконденсаторі дозволяє нагрівати проміжний теплоносії або воду до 60-70 °C. Максимальна температура на виході з компресора дорівнює 102 °C, який відповідає R410A, найнижча температура нагнітання відповідає R600a 74,5 °C. З точки зору температури нагнітання і оптимальної продуктивності компресора використання R600a більш переважно, ніж R410A. Проте, більш висока температура холодоагенту на виході з компресора дозволяє нагрівати проміжний теплоносії в теплообмінниках теплового насоса до більш високої температури. Температури нагнітання компресора з R290 і R134 практично рівні при однакових умовах експлуатації ( $T_k$  і  $T_o$ ).

Використання відновлюваних джерел енергії дозволяє розширити можливі режими роботи системи теплового насоса, комбіноване виробництво гарячої води при роботі в режимі кондиціонування, або опалення у випадку ґрунтового насоса та підвищити COP за рахунок зниження енергоспоживання для повітряного теплового насоса.



Рисунок 2 – Загальний вигляд системи повітряного теплового насосу в комбінації з сонячними колекторами.

На рис. 2 показано схематичне зображення повітряного теплового насосу продуктивністю 6 кВт з системою сонячних панелей, налаштованих на спільну роботу для підвищення енергоефективності. Фотоелектричні панелі підключені послідовно, загальна площа 10.5 м<sup>2</sup>.

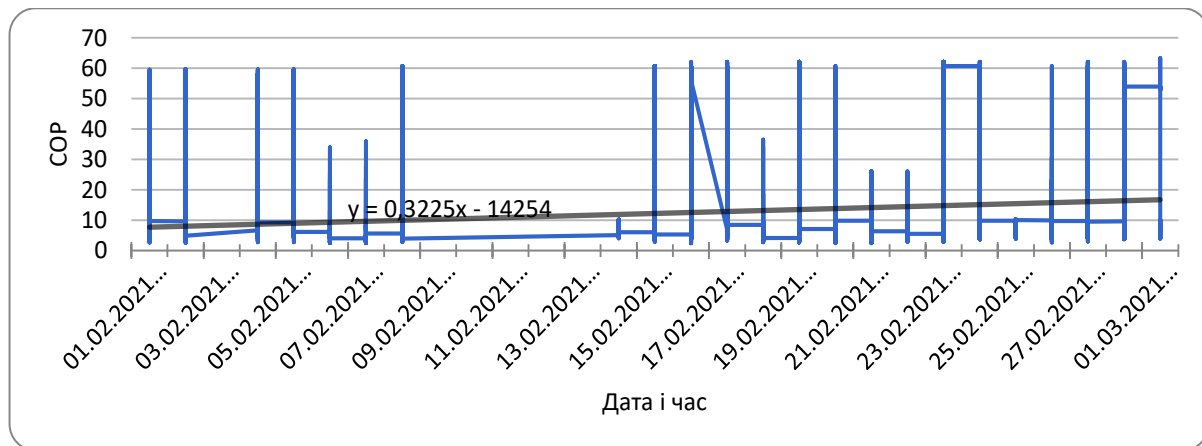


Рисунок 3 – Споживання енергії, Вт тепловим насосом: Лютий 2021.

Характер зміни COP системи опалення на базі теплового насосу можна бачити на рис. 8.4. З графіка видно що для комбінованої системи COP має значення від 4,6 до 18,2 в залежності від температури навколишнього середовища. Лінія тренду вказує на збільшення COP з поступовим збільшенням температури навколишнього середовища.

**Висновки.** Проведене дослідження характеристик теплових насосів дозволило проаналізувати ефективність геотермального теплового насоса на екологічно безпечних холодоагентах. Характеристики теплового насоса на природних холодоагентах вказують на високу продуктивність з низьким впливом на навколишнє середовище (ODP = 0, GWP <2). Аналіз температури на виході показує переваги R410 і R1270 для високотемпературних застосувань (виробництво гарячої води). Аналіз вибору холодоагентів був заснований на їх доступності на ринку і перспектив довгострокового використання, тому природні холодоагенти R290, R600a, R1270 мають перевагу.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Rotchana N. Prapainop, K. Suen O. Effects of refrigerant properties on refrigerant performance comparison: A review / *Int. J. of Engineering Research and Applications (IJERA)*// Vol. 2, Issue 4, July-August 2012, pp.486-493
2. O. Ostapenko, P. Stoyanov, O. Yakovleva, M. Khmelniuk. Heat pump technology – potential impact on energy efficiency problem and climate action goals within ukrainian energy sector. *Refrigeration engineering and technology*. 2015 (51), Vol. 6, 38-44.



ПЕРСПЕКТИВИ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРІГАННЯ ПЛОДІВ  
У РЕГУЛЬОВАНОМУ ГАЗОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Потапов В. О., д.т.н., проф., [potapov@bigmir.net](mailto:potapov@bigmir.net)  
Бакуменко І. К., магістрант, [bakum550@gmail.com](mailto:bakum550@gmail.com)  
Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** На теперішній час найбільш перспективною технологією тривалого зберігання зібраного врожаю фруктів з мінімальними втратами є сучасні системи зберігання із регульованому газовому середовищі.

Регульована газове середовище (РГС) – спосіб зберігання, при якому в камерах холодильників здійснюється контроль і регулювання температурно-вологісних і газових параметрів середовища, утворених за рахунок штучної підтримки та життєдіяльності продукції. Основу газових сумішей становить азот, вміст якого в складі суміші може містити від 79 до 97% [1].

Ця технологія дозволяє зберігати плоди в атмосфері зі зниженою концентрацією кисню і більш високою концентрацією вуглекислого газу. При цьому створюється газовий режим, який встановлює оптимальний дихальний газообмін і правильне співвідношення між температурою і фізичним станом плодів. Таким чином, зберігання плодів у регульованому газовому середовищі дозволяє знизити метаболізм. Зменшення концентрації кисню і підвищення концентрації вуглецю допомагають сповільнити процес газовиділення в два-три рази і зменшують теплоту дихання до 3-4%. Таким чином знижується виділення етилену, зупиняється втрата хлорофілу і затримується гідроліз пектину, який забезпечує жорсткість тіла соковитої рослинної сировини [2].

**Основні матеріали досліджень.** Існує кілька основних видів зберігання продукції з використанням регульованого газового середовища [3]:

1) Технологія зберігання з ультранизким вмістом кисню. Вміст кисню в цьому випадку знаходиться в межах від 0,5 до 1,5%, вуглекислого газу менше 1-2%. Продукція може зберігатися до 18 місяців. Для створення регульованої атмосфери використовуються генератор азоту, адсорбер  $\text{CO}_2$ .

2) Традиційна технологія зберігання РГС. У такій атмосфері плоди можуть зберігатися протягом 6-8 місяців. Необхідна підтримання середовища: 3% –  $\text{CO}_2$  і 2...3% –  $\text{O}_2$  та температури зберігання в межах від 0 до +3,5°C.

3) Зберігання в динамічному газовому середовищі, за якої за допомогою датчиків, постійно контролюється фізіологічний стан плодів і на основі цієї інформації забезпечується підтримання в камері мінімально допустимої концентрації кисню, 0,4-0,6%.

5) Технологія зниження рівню етилену, яка передбачає захист від передчасного дозрівання бананів і цитрусових та паталогофізіологічного впливу етилену на фрукти. Зниження рівня етилену досягається за допомогою каталітичних конвертерів і адсорберів етилену.

6) Зберігання в поліетиленових контейнерах з дифузійними вставками. Спочатку концентрація  $\text{CO}_2$  досить швидко піднімається до 15-18%, а  $\text{O}_2$  - знижується до 3-6%. За рахунок вмонтованих в стінки контейнерів газодифузійних вставок рівні  $\text{CO}_2$  поступово зменшують до 5-6%, а  $\text{O}_2$  встановлюються в діапазоні 4-5%.

Під час штучного створення і підтримки газових середовищ в герметичних камерах з огорожами найбільш часто використовують спеціальні системи генерування газових середовищ або генератори азоту та скруббери вуглекислого газу. Отримані в них газові суміші являють собою продукти згоряння вуглеводневого палива.

Наявні літературні дані дозволяють зробити висновок про економічну ефективність технології зберігання плодів у регульованому газовому середовищі. Питомі витрати на одиницю місткості при будівництві нового холодильника залежать від технічного рівня системи охолодження і регульованої атмосфери, розмірів і кількості камер, наявності залу товарної обробки, експедиції, відвантажувальних шлюзів. Цей показник може становити від 40 до 70 євроцентів на 1 кг продукції, що зберігається [4]. В таблиці наведено показники економічної ефективності проекту будівництва фруктосховища з РГС.

#### Аналіз показників економічної ефективності проекту будівництва фруктосховища з РГС

| Показники                                   | Значення показників |
|---|---------------------|
| Об'єм інвестицій, \$                        | 2 265 000           |
| Термін окупності                            | 3,74 року           |
| Вартість створюваного бізнесу, \$           | 341 279             |
| Внутрішня норма прибутковості               | 17,6 %              |
| Обсяг продажів з наростаючим підсумком, \$  | 9 036 027           |
| Чистий прибуток з наростаючим підсумком, \$ | 1 485 293           |

**Висновки.** Напрямок подальших досліджень за даним напрямком є розробка проекту холодильника з регульованим газовим середовищем для зберігання найбільш затребуваних на ринку фруктів.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Петров Е. Т., Круглов А. А., Опалихин А. Ф. Особенности экспериментального и предпроектного исследования камер фруктоовощехранилищ с регулируемой газовой средой. Вестник Международной академии холода. 2016. № 3. С. 62–67.
2. Регульоване газове середовище: веб-сайт. URL: <https://holodprom.com.ua/ua/reguliruemaya-gazovaya-sreda>.
3. Системи зберігання в регульованому середовищі: веб-сайт. URL: <https://primeholod.com.ua/uk/poslugi/sistemi-zberigannya-v-regulovanomu-seredovishchi>
4. Технології зберігання яблук в промислових масштабах у регульованому газовому середовищі: веб-сайт. URL: <https://analitic.ub.ua/36492-tehnologiyi-zberigannya-yabluk-v-promislovih-masshtabah-u-regulovanomu-gazovomu-seredovishchi.html>.
5. VanAmerongen. Dealer course. New Technical Developments. 2009. С 9-10.

## ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ В УКРАЇНІ

Семенюк Д. П., к.т.н., доц., e-mail: [dmitriy.semeniuk@gmail.com](mailto:dmitriy.semeniuk@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** В умовах дефіциту, що загострюється, і зростання цін на енергоносії, внаслідок війни з боку Росії, проблема енергозбереження для економіки України в цілому і для її житлово-комунального сектору зокрема стає дуже актуальною.

Відомо, що житлово-комунальне господарство (ЖКГ) є найважливішою соціальною галуззю, де функціонують тисячі підприємств та організацій, експлуатується майже 25% основних фондів країни, зайнято близько 7% працездатного населення та використовується близько 26% паливно-енергетичних ресурсів України. У той же час ця галузь економіки є найбільш технічно відсталою з цілою низкою проблем, що все загострюються. Середня витрата теплової енергії, що використовується для опалення житлового фонду, перевищує 600 кВт•год/рік на 1 м<sup>3</sup>, що у 4-5 разів вище, ніж аналогічні показники для таких «холодних» країн як Норвегія, Швеція та Фінляндія.

**Мета досліджень.** Альтернативною енергозатратним теплогенераторам, що традиційно використовуються для забезпечення теплом децентралізованих споживачів, можуть служити теплові насоси (ТН), що є енергозберігаючим екологічно чистим технологічним обладнанням, впровадження якого дозволяє не тільки зменшити витрати органічного палива на отримання теплоти, а й суттєво знизити забруднення навколишнього середовища.

**Основні матеріали досліджень.** Для оцінки енергетичної ефективності ТН використовується коефіцієнт перетворення (COP), що представляє собою відношення теплоти, що віддається тепловому споживачеві, до витраченої роботи приводу компресора, практично перебувають у межах 1,5-6,0. Це означає, що у одиницю витраченої електричної енергії, тепловому споживачеві передається у 1,5-6 разів більше теплової енергії. Ефективність теплових насосів останніми роками значно зросла внаслідок змін, внесених у конструкцію компресорів, теплообмінників та мікропроцесорних систем управління. Застосування двоступінчастого стискування і впорскування в компресор рідкого фреону дозволяє суттєво збільшити діапазон тисків випаровування та конденсації, тим самим значно підвищуючи максимальну температуру теплоносія (аж до 70°C) при температурах навколишнього середовища до -20°C. Джерелами низькопотенційної теплоти є атмосферне повітря природних водойм, ґрунт, ґрунтові води, сонячна радіація, а також джерела теплоти, що виникли в результаті діяльності людини, такі, як вода із систем охолодження обладнання або технологічних процесів, витяжне повітря систем вентиляції, очищена вода станцій аерації та інші вторинні низькопотенційні енергоресурси (ВЕР). Теплонасосні установки є також багатофункціональними, що використовуються в тому числі в системах кондиціонування (одночасно виробляють теплоту і холод), мобільними, відносно простими у виготовленні та експлуатації.

Дослідження, виконані в деяких наукових установах базуються при оцінці енергетичної ефективності різних систем теплопостачання на понятті коефіцієнта використаної первинної енергії, показують, що при раціонально організованій системі на базі теплових насосів із середнім коефіцієнтом перетворення 3,5 витрат палива можуть бути зменшені в порівнянні з великими опалювальними котельнями в 1,2-1,8 разів, у порівнянні з дрібними котельними та індивідуальними теплогенераторами – у 2-2,6 рази та в порівнянні з електронагрівачами – у 3-3,6 рази за нинішніх тарифів на енергоносії. Враховуючи той факт, що за прогнозами вартість теплових насосів може збільшуватися не більше ніж на 2-3% на рік, а тарифи зростатимуть порівняно з рівнем інфляції (порядку 10-15% на рік), терміни окупності можуть суттєво знизитися. рекуперацією теплоти низькопотенційних скидних енергопотоків та використанням теплонасосного обладнання для кондиціонування повітря в приміщеннях у літню пору терміни окупності можуть бути менше 2-3 років.

Досвід експлуатації мільйонів теплонасосних установок у різних країнах світу підтверджує, що на сьогодні вони, без сумніву, є альтернативою енергорозтратним теплогенераторам, які традиційно використовуються в децентралізованих системах тепло- та холодопостачання житлово-комунального сектору. На жаль, якщо в розвинених країнах, що розвиваються, рахунок працюючих ТН ведеться на мільйони або сотні тисяч, в Україні працюють одиничні установки, створені в основному на елементній базі холодильного обладнання, що ввозиться з країн Західної Європи.

Аналіз ситуації в економіці та ЖКГ України показує, що є колосальні невикористані потенційні можливості заощадження дорогого органічного палива та зниження забруднення довкілля продуктами згоряння та/або технологічними скиданнями при впровадженні теплонасосних установок різного функціонального призначення в областях, де це впровадження є доцільним. Областями найбільш раціонального застосування є:

застосування ТН у житлово-комунальному секторі для гарячого водопостачання та опалення будівель;

застосування ТН у системах створення оптимального мікроклімату у великих громадських будівлях, спортивних та кіноконцертних комплексах, де поряд з проблемами термостатування та утилізації теплоти скидних повітряних та водяних потоків створюються умови, що виключають умови конденсації вологи на металевих та залізобетонних будівельних конструкціях;

застосування ТН у різних технологічних процесах промисловості та сільського господарства.

**Висновок.** Виконаний короткий аналіз проблем та можливостей використання теплонасосної технології перетворення низькопотенційної теплоти дозволяє зробити певні висновки.

Теплонасосна технологія перетворення низькопотенційної природної енергії або теплоти вторинних низькотемпературних енергоресурсів у високопотенційну теплову енергію, придатну для практичного використання, є не черговою модернізацією традиційних енергоджерел, а впровадженням щодо нового, прогресивного, високоефективного та екологічно чистого способу отримання теплоти.

На сьогоднішній день для вирішення проблем енергозбереження ТН є найперспективнішими серед джерел нетрадиційної енергетики завдяки можливості черпати відновлювану енергію з навколишнього середовища.

У світі експлуатуються мільйони теплонасосних установок різного функціонального призначення, забезпечуючи колосальну економію первинних енергоресурсів та значне зниження емісії CO<sub>2</sub> та інших шкідливих викидів в атмосферу.

Україна суттєво відстає від країн світової спільноти як з виробництва, так і щодо запровадження ТН у різні галузі економіки. В Україні немає промислового виробництва ТН, впроваджені установки виробляються, як правило, у поодиноких примірниках, але навіть за своїх не оптимальних параметрів підтверджують переваги та унікальність застосування ТН як ефективних енергозберігаючих джерел теплоти у різних галузях економіки.

Без державної підтримки, що полягає у належному фінансуванні програм створення вітчизняних ТН, конкурентоспроможних щодо імпорتنих аналогів, без запровадження спеціальних тарифів на електроенергію для користувачів ТН, без пільг та вигідних кредитів при купівлі, без зменшення ПДВ при ввезенні комплектуючих вітчизняними виробниками техніки проблеми впровадження ТН залишаться декларативними.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Теплові насоси: загальні світові тенденції застосування. Режим доступу: <https://ese-dp.com.ua/ua/trends-heat-pumps>. (дата звернення 30.10.2023). Назва з екрана.

2. Система опалення тепловими насосами. Режим доступу: [https://columbusenergy.com.ua/for\\_home/sistema-opalennja-teplovimi-nasosami](https://columbusenergy.com.ua/for_home/sistema-opalennja-teplovimi-nasosami). дата звернення 30.10.2023). Назва з екрана.

## ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ У ХОЛОДИЛЬНІЙ ІНДУСТРІЇ

Семенюк Д. П., к.т.н., доц., e-mail: [dmitriy.semeniuk@gmail.com](mailto:dmitriy.semeniuk@gmail.com)

Якушенко Є. М., к.т.н., доц., e-mail: [papelats.ey@gmail.com](mailto:papelats.ey@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Одним із основних завдань продовольчого забезпечення країни є зниження втрат харчової сировини. У сфері переробки харчової сировини таяться невикористані можливості, які б служили додатковими резервами отримання продовольства. Ці резерви пов'язані з усуненням або зменшенням таких негативних явищ, що виникають при переробці, як втрата маси, порівняно низький вихід готової продукції, зниження її біологічної цінності та ін. Однак реалізувати ці можливості на основі традиційних методів обробки надзвичайно важко, оскільки ці методи у своєму розвитку наблизилися до природної межі досконалості.

Серед найважливіших тенденцій подальшого прогресу сучасної холодильної техніки помітна роль належить зменшенню енерговитрат при отриманні штучного холоду і зниження втрат при його споживанні. Можна вважати, що традиційні напрями розв'язання цієї проблеми на сьогодні практично вичерпані. Для холодильної техніки та технології характерно порівняно повільне перебіг процесів, тепло- та масообміну, як в апаратах холодильних машин, так і при консервуванні холодом харчових продуктів. Основні напрями вирішення цієї проблеми – розробка методів та засобів, що інтенсифікують тепло- та масообмінні процеси як на стадії виробництва штучного холоду, так і на стадії його споживання; при цьому методи та засоби не повинні негативно впливати на якість холодильного консервування харчових продуктів.

**Мета досліджень.** У зв'язку з цим особливої актуальності набуває розробка систем охолодження з інтенсифікованим теплообміном, де енерговитрати на виробництво холоду значно менші. Так, зі зниженням температури кипіння холодоагенту в камерному обладнанні на 1 К через інтенсивне перетворення на поверхні теплообміну холодопродуктивність компресора зменшується приблизно на 4% при роботі його в умовах, близьких до стандартного режиму; приблизно стільки ж збільшується питома витрата електроенергії. Один з найбільш ефективних і можливих виходів із становища – застосування електротехнології.

**Основні матеріали досліджень.** Електротехнологія, як показала практика, порівняно з існуючими технологіями має низку переваг: електричне поле впливає безпосередньо на сировину біологічного походження та середовище без проміжної трансформації енергії, що дозволяє проводити тонке регулювання процесів; спрощується автоматизація у зв'язку з безінерційністю керування потоком заряджених частинок; скорочується споживання енергії; інтенсифікуються тепло- та масообмін в апаратах та технологічних процесах. Універсальність даної технології полягає в тому, що в природі немає таких середовищ і речовин, які б не піддавалися під дією електричного поля зарядці і не були носіями зарядів, тобто не піддавалися б силовому впливу поля. Силовий вплив поля на частинки може бути використаний у різних процесах, наприклад, при відділенні кедрових горіхів від дрібних домішок або пари холодоагенту від масляних включень в масловідділювачах холодильних установок. Інтерес до використання електротехнології особливо зріс останнім часом у зв'язку з настанням у низці країн енергетичної кризи та підвищенням вимог до охорони навколишнього середовища.

Використання енергетичних полів в умовах промислового виробництва – складне науково-технічне завдання, яке потребує вирішення низки питань, зокрема таких, як:

– виявлення областей виробництва, де економічно ефективно застосовувати електрофізичні методи з урахуванням раціонального поєднання їх із традиційними технологічними;

- дослідження комплексу властивостей продукту: електрофізичних, структурно-механічних, теплофізичних та інших та встановлення їх взаємозв'язків;
- дослідження процесів тепло- та масообміну в умовах використання нових концентрованих джерел енергії;
- розробка теоретичних основ розрахунку та конструювання апаратів для холодильної обробки харчових продуктів в енергетичних полях;
- комплексна оцінка якості виробів.

Одним із способів інтенсифікації тепломасообміну при холодильній обробці (охолодження, заморожування, розморожування, атмосферне та сублімаційне сушіння) є використання електроконвективного повітряного потоку.

У промисловості починають знаходити застосування морозильні апарати, які використовують сильні електричні поля для інтенсифікації процесів холодильної обробки харчових продуктів. Стає можливим використовувати електротехнологію при зберіганні заморожених продуктів.

Одним із напрямів електротехнології є електронно-іонна обробка (ЕІО). Електроантисептування харчових продуктів, один із видів ЕІО, дозволяє зберігати їх якість при холодильній обробці та зберіганні. Застосування електростимуляції дозволяє зберегти якість охолодженого м'яса, прискорити процеси його дозрівання, покращити консистенцію м'яса, уповільнити гідролітичні та окислювальні процеси у жировій тканині при заморожуванні туш у парному стані, а також знизити втрати маси при розморожуванні.

Використання мікрохвильового (надвисокочастотного, або, як його зазвичай називають, НВЧ) нагріву дозволяє значно інтенсифікувати технологічні процеси харчових виробництв, пов'язані з нагріванням продукції, наприклад такі, як розморожування та сублімація, а також розробити нові, зокрема комбінуючи НВЧ-нагрів із традиційними способами електропідведення. При НВЧ-нагріві зберігається якість продукції, а також покращуються санітарно-гігієнічні умови праці.

Перспективне застосування електротехнології в основних та допоміжних апаратах холодильних установок (конденсатори повітряного охолодження, масловідділювачі та ін.), що дозволяє підвищити ефективність їх роботи.

Утворення інею на поверхні теплообміну камерного обладнання суттєво впливає на умови його роботи: знижується інтенсивність теплообміну внаслідок появи додаткового термічного опору та погіршуються аеродинамічні характеристики апаратів. Використання електроконвективних явищ у роботі камерного обладнання дозволяє інтенсифікувати теплообмін та збільшити тривалість роботи камерного обладнання без розморожування.

До одного з видів електротехнології відноситься також кріорозподіл диспергованої сировини в електричному полі. Надалі у вітчизняній та зарубіжній практиці не припинялися роботи з використання поділу різних видів диспергованої сировини в електричному полі. Останнім часом увагу фахівців привернув кріорозподіл сировини біологічного походження в електричному полі, що дозволило розширити можливості застосування нових електрофізичних методів для скорочення втрат сировини та збереження якості харчових продуктів.

**Висновок.** Можна зауважити, що сфера застосування електротехнології швидко розширюється, і наведені напрямки є лише прикладом широких можливостей використання електрофізичних методів.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Технологічні особливості електроконтактних методів обробки харчових продуктів / О. І. Черевко, В. М. Михайлов, І. В. Бабкіна, А. О. Шевченко // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. Х.: ХДУХТ, 2010.
2. Соколенко А.І. Фізико-хімічні методи обробки сировини і харчових продуктів: підруч. для студ. ВНЗ / Соколенко А. І., Піддубний В. А., Гіджеліцький В. М та ін. К.: Кондор-Видавництво, 2015. 324 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ,  
ЯКІ ВІДБУВАЮТЬСЯ ПІД ЧАС РОБОТИ СПІРАЛЬНОГО КОМПРЕСОРА  
В УСТАНОВКАХ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

Синегубенко Л. М., викладач-методист, e-mail: [lsyniehubenko@gmail.com](mailto:lsyniehubenko@gmail.com)

Юрченко Ю. Ю., викладач, e-mail: [yyyour4enko@gmail.com](mailto:yyyour4enko@gmail.com)

Стуков Д. П., студент, e-mail: [Stukovdan@gmail.com](mailto:Stukovdan@gmail.com)

ВСП Харківський фаховий коледж харчової промисловості ДБТУ

**Актуальність дослідження.** Зниження енергопотреб системи кондиціонування повітря та доцільне використання систем управління спроможне оптимізувати та удосконалити систему охолодження холодильної машини. Запропонована концепція керування приведе до зниження енерговитрат установки шляхом забезпечення удосконаленого контролю і управління системою.

**Мета дослідження.** Дослідити роботу спірального компресора системи охолодження кондиціонера, розширювального вентиля та випаровувача за для скорочення енерговитрат установки.

**Основні матеріали досліджень.**

У наш час існує тенденція по удосконаленню холодопостачання систем кондиціонування повітря з метою розкриття невикористаних можливостей, підвищення надійності та скорочення енергопотреб.

Розглянемо роботу та роль компресора в плані енергозбереження. В нашій установці використаний спіральний компресор з температурою кипіння холодильного агенту  $T_0 = +3^{\circ}\text{C}$ , та температурою конденсації  $T_k = +40^{\circ}\text{C}$ . В якості холодильного агенту використовуємо фреон R134. Холодильна установка працює за холодильним циклом без переохолодження холодильного агенту.

*Оптимальні умови роботи спірального компресора.* Під оптимальними умовами роботи компресора обумовлюємо роботу компресора з найменшими енерговитратами і найбільшою холодопродуктивністю.

Визначимо вплив температури конденсації на оптимальну роботу компресора. Холодопродуктивність (Q) і потужність компресора (P) до температур кипіння ( $T_k$ )  $+3^{\circ}\text{C}$  та перегріву ( $T_{pr}$ )  $+10^{\circ}\text{C}$

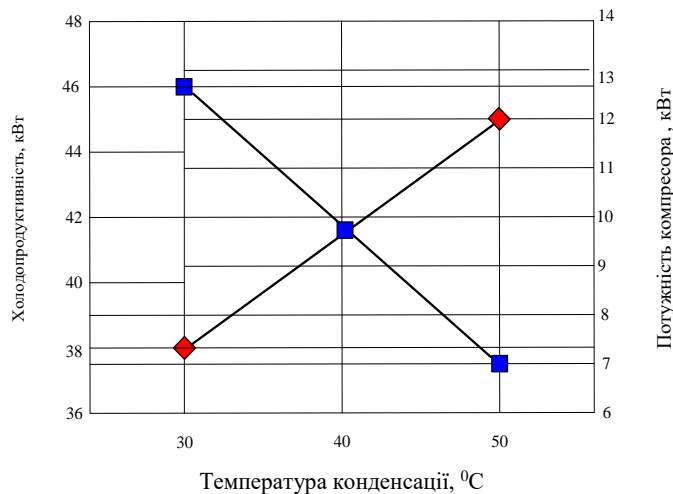


Рисунок 1 – Вплив температури конденсації на холодопродуктивність компресора

Рисунок 1 демонструє те, що при зниженні температури конденсації холодильного агенту, буде зростання холодопродуктивності (Q) і водночас зниження енерговитрат компресора (P).

Так при

$$T_k = 40^{\circ}\text{C}, Q_0 = 42 \text{ кВт}, P = 10 \text{ кВт};$$

$$T_k = 50^{\circ}\text{C}, Q_0 = 38 \text{ кВт}, P = 12 \text{ кВт};$$

$$T_k = 30^{\circ}\text{C}, Q_0 = 46 \text{ кВт}, P = 8 \text{ кВт}.$$

Це показує, що при  $T_k = 30^{\circ}\text{C}$  буде найбільша холодопродуктивність компресора при найнижчій його потужності.

Це є головним фактором в пошуку ключа до удосконалення системи в плані енергозбереження.

Визначимо вплив температури кипіння на холодопродуктивність компресора.

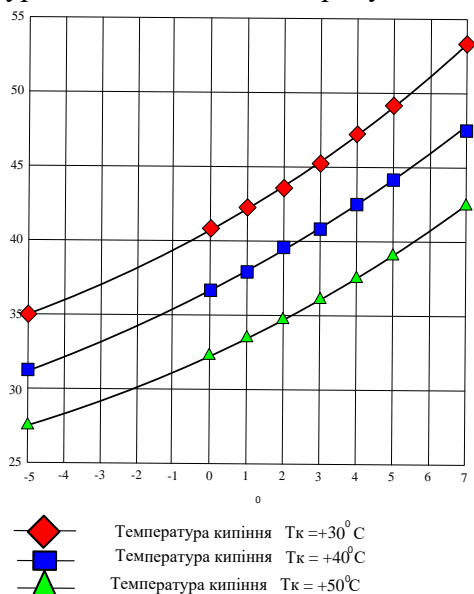


Рисунок 2 – Вплив температури кипіння холодоагенту на роботу компресора

Рисунок 2 показує, що чим вища температура кипіння холодильного агенту при певній температурі конденсації, тим значно збільшується холодопродуктивність компресора.

Так, наприклад, при температурі кипіння  $T_0 = +3^{\circ}\text{C}$  і температурі конденсації  $T_k = +30^{\circ}\text{C}$  холодопродуктивність компресора складає  $Q_0 = 46 \text{ кВт}$ , а при температурі кипіння  $T_0 = +5^{\circ}\text{C}$  і  $T_k = +30^{\circ}\text{C}$  холодопродуктивність компресора складає  $Q_0 = 49 \text{ кВт}$ .

Також рисунок 2 показує вплив температури конденсації холодильного агенту на холодопродуктивність  $Q_0$  компресора. Так ми бачимо, що при температурі кипіння  $T_0 = +3^{\circ}\text{C}$  і температурі конденсації  $T_k = +30^{\circ}\text{C}$  холодопродуктивність компресора складає  $Q_0 = 46 \text{ кВт}$ , а при температурі кипіння  $T_0 = +3^{\circ}\text{C}$  і температурі конденсації  $T_k = +40^{\circ}\text{C}$  холодопродуктивність компресора складає  $Q_0 = 42 \text{ кВт}$  і при температурі кипіння  $T_0 = +3^{\circ}\text{C}$  і температурі конденсації  $T_k = +50^{\circ}\text{C}$  холодопродуктивність компресора складає  $Q_0 = 37 \text{ кВт}$ .

**Висновок.** Таким чином ми ще раз підтверджуємо вище викладені факти про вплив температури конденсації на роботу компресора. Відповідно до цього є необхідність запуску системи при якнайвищій температурі кипіння і не допускати її зниження ні при яких обставинах. Ще ми визначили, що незначна зміна робочих параметрів холодильного агенту може дати значну економію енергії і відповідно коштів, які йдуть на забезпечення ефективної роботи холодильної установки.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Imp Klima. Технический каталог, 2009.
2. Joh. Vaillant. Remscheid: Werksunterlagen.
3. Auflage. Dusseldorf: Werner Verlag, 2016.



ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКТУ  
ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ АКУМУЛЯТОРІВ ХОЛОДУ

Смілик М. М., асп., e-mail: [smilykmm@gmail.com](mailto:smilykmm@gmail.com)

Потапов В. О., д.т.н., проф., e-mail: [potapov@bigmir.net](mailto:potapov@bigmir.net)

Кузнецов І. О., магістр, e-mail: [opholod@gmail.com](mailto:opholod@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** На сьогоднішній час у зв'язку з нестабільним електропостачанням у споживачів холоду існує потреба в обладнанні яке може працювати без зовнішнього живлення за рахунок накопиченої енергії. Для цього все частіше стали застосовувати акумулятори холоду, навіть у побутовому використанні.

**Мета дослідження.** Метою досліджень є експериментальне дослідження кінетики змінювання температури продукту при його зберіганні із застосуванням акумуляторів холоду та без них.

**Основний матеріал досліджень.** У якості термоконтейнера для зберігання продукту використали термобак Coleman Xtream cooler ємністю 26 літрів, який за своїми теплоізоляційними характеристикам забезпечує зберігання продуктів протягом 3-х днів. У якості продукту використовували газовану воду об'ємом 0,5 літрів. У якості акумуляторів було використано водно-сольові плити в пластиковій оболонці, які використовуються як найпоширеніший акумулятор холоду в побутових умовах. Для вимірювання температури використовували систему моніторинга Xweb та контролер XR60CX з трьома датчиками температури. Ця система дозволяє відстежувати у реальному часі відстежувати зміну температури у декількох точках. Перший датчик температури вимірював температуру продукту, другий датчик - температуру в термоконтейнері, третій - температуру зовнішнього середовища (рис.1). Вимірювання температури продукту проводили в діапазоні від 0°C до 8°C, так як більшість продуктів харчування при вищих температурах починають швидко псуватися.

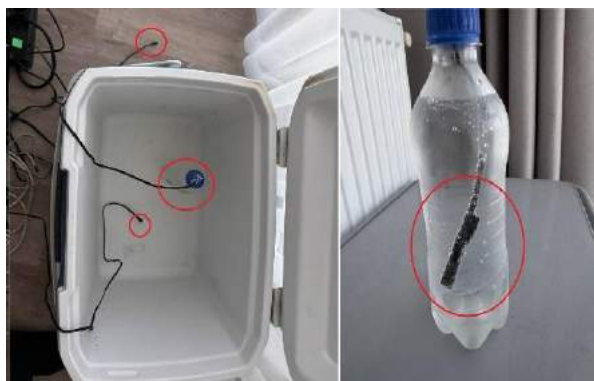


Рисунок 1 – Розміщення датчиків температури в термоконтейнері та продукті

Було проведено три експерименти. Перший експеримент полягав у вимірюванні зміни температури продукту в термоконтейнері без акумуляторів холоду. Експеримент показав, що якщо завантажити охолоджений продукт до 0°C то він нагріється до 8°C за 55 хвилин (рис. 2).

Другий експеримент проводили із застосування акумуляторів з водно-сольовим розчином. Плити з водно-сольовим розчином попередньо завантажували у морозильну камеру та охолоджували до температури – 20°C. Після цього плити завантажували у термоконтейнер з продуктом. Було використано 6 плит по 200 мл. Розташування плит

виконали по периметру термоконтейнера. Було виявлено, що температура продукту від 0°C до + 8°C змінилась за 16 годин 50 хвилин (рис.3).

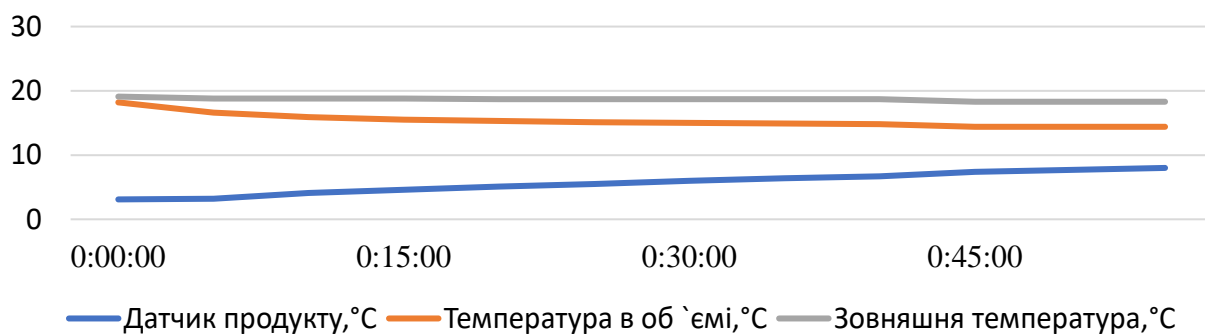


Рисунок 2 – Кінетика температури без застосування акумуляторів холоду

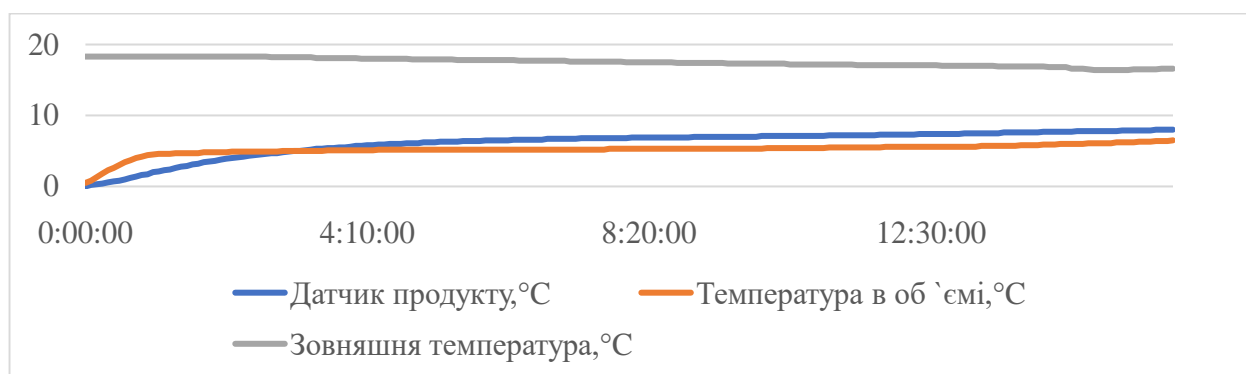


Рисунок 3 – Кінетика температури із застосуванням акумуляторів холоду з початковою температурою -20°C

Третій експеримент полягав у тому, щоб виявити скільки часу потрібно для досягнення температури продукту 8°C, якщо продукт та акумулятори холоду будуть однакової початкової температури. Для цього була використана холодильна камера з налаштуванням температури в камері, де продукт та плити попередньо охолодили до температури 0°C. В експерименті було виявлено, що підвищення температури продукту від 0°C до + 8°C відбувається за 2 години 40 хвилин (рис.4).

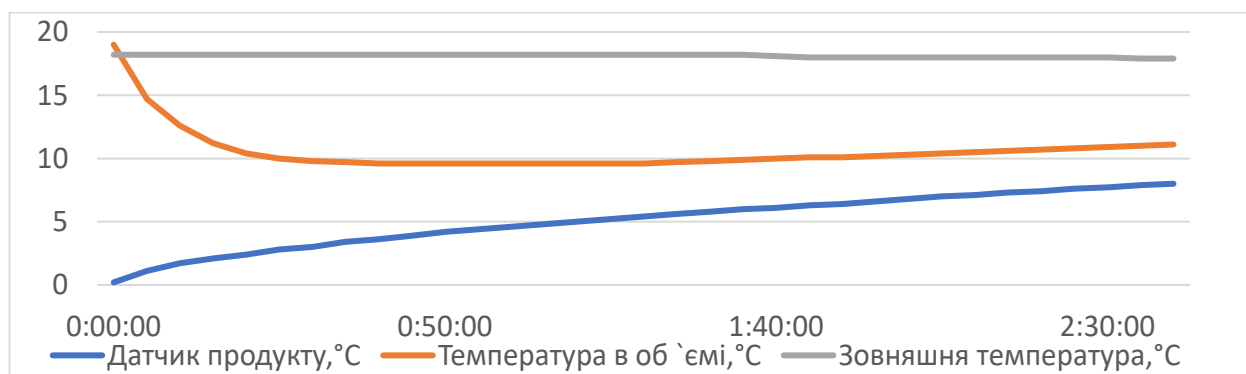


Рисунок 4 – Кінетика температури із застосуванням акумуляторів холоду з початковою температурою 0°C

**Висновок.** Виявлено, що застосування акумуляторів холоду із водно-сольових плит попередньо охолоджених до температури -20°C дозволяє протягом 16 годин підтримувати продукт у термоконтейнері в межах температур від 0°C до + 8°C.

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ  
МУЛЬТИЗОНАЛЬНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ VRF

Станицький Т. О., e-mail: [stanytskyitaras@gmail.com](mailto:stanytskyitaras@gmail.com)

Сиротюк С. В., к.т.н., доц., e-mail: [ssyr@ukr.net](mailto:ssyr@ukr.net)

Коробка С. В., к.т.н., доц., e-mail: [korobkasv@ukr.net](mailto:korobkasv@ukr.net)

Львівський національний університет природокористування

**Актуальність дослідження.** Підтримка здорового та комфортного внутрішнього середовища споживає значну кількість енергії в побудованому середовищі. Системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря можуть забезпечити теплове середовище та якість повітря в приміщенні. Системи із змінним потоком холодоагенту (VRF) використовують холодоагент для передачі тепла від джерела тепла до радіатора шляхом зміни його фази з рідини на газ та з газу на рідину. Системи із VRF стають популярними завдяки своїй гнучкості роботи, особливо в умовах динамічного теплового навантаження та погодних умов. Удосконалення системи опалення, вентиляції та кондиціонування VRF включають використання нових матеріалів і концепцій, які роблять систему міцною та динамічною, надають їй високі можливості теплопередачі, дозволяють їй мати компактну конструкцію та роблять її енергоефективною. Завдяки своїй енергоефективності, тепловому комфорту в приміщенні та якості, а також різноманітності застосувань система VRF є однією з найбільш життєздатних альтернатив звичайним системам. Було докладено значних зусиль для дослідження, розробки, тестування та застосування цих систем. Незважаючи на ці досягнення та попит на високоякісне, енергоефективне та комфортне теплове середовище в приміщенні, системи VRF все ще потребують подальшого розвитку, що є темою цього матеріалу.

**Мета дослідження.** Підвищення ефективності застосування мультizonальних холодильних систем (VRF) в технологічних процесах холодо- та теплостачання тваринницьких ферм, зокрема опалення, підігріву або стерилізації молока на підставі розроблення структурної схеми двоступінчастого нагріву, що забезпечить зменшення затрат енергоресурсів.

**Основні матеріали дослідження.** Мультizonальна система є найбільш енергоефективною холодильною системою завдяки використанню передових технологій. Скорочення "VRF" походить від "Variable Refrigerant Flow" і перекладається як "Система змінного потоку холодоагенту". Ця система складається з одного зовнішнього блоку і багатьох внутрішніх блоків.

Основна причина, яка допомагає досягти високої енергоефективності, полягає в використанні інверторних компресорів. Ці компресори можуть регулювати свою продуктивність плавно і завжди забезпечувати саме ту потужність, яка потрібна в даний момент. Коли користувач встановлює бажану температуру, система автоматично налаштовується з урахуванням різних параметрів, включаючи температуру зовнішнього повітря. Далі вона активує компресор таким чином, щоб він працював на потужність, відповідно до вимог користувача. Цей принцип дозволяє значно зменшити споживання енергії та підвищити продуктивність системи. В розроблену систему додається ще один холодильний блок, зовнішній блок автоматично визначає потреби всіх працюючих холодильних блоків і регулює роботу компресора таким чином, щоб задовольнити новий рівень попиту. Цей процес автоматично відбувається при будь-яких змінах у системі.

Існують два основних види мультizonальних систем. Перший тип забезпечує лише охолодження в один момент часу, означаючи, що всі зони одночасно охолоджуються. Другий тип системи дозволяє одночасно охолоджувати та обігрівати. Зазвичай ці два види систем позначаються як "2-трубна" і "3-трубна".

"3-трубну" систему часто називають "VRF-системою з рекуперацією тепла", оскільки тепло, яке раніше викидалося зовнішнім блоком в атмосферу, використовується для

опалення або підігріву технічної води. Цей підхід особливо корисний в сценаріях, коли потрібно одночасно охолоджувати молоко і нагрівати гарячу воду для промивання систем, а також забезпечити оптимальний мікроклімат в службових приміщеннях - влітку охолоджувати і взимку опалювати.

На об'єктах, де потрібно одночасно охолоджувати і опалювати, "3-трубні" мультизональні системи виявляються найефективнішими, забезпечуючи високий рівень енергоефективності, який не досяжний для інших видів кліматичного обладнання.

Також в даній системі можливо використовувати високотемпературні гідромодулі для стерилізації молока (рисунок).

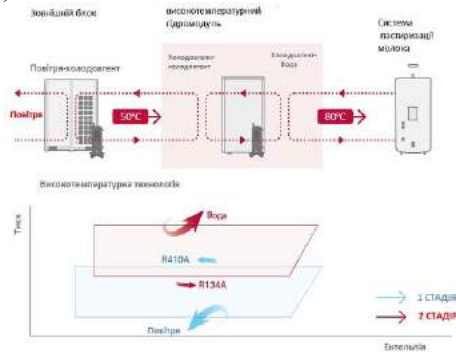


Рисунок 1 – Принципова схема двохступінчатого нагріву

Сучасні VRF-системи використовують EVI-компресори з впорскуванням гарячої пари в камеру компресора, що значно розширює діапазон їхньої роботи і покращує продуктивність. Ця технологія дозволяє розглядати мультизональні системи як основне джерело тепла на об'єкті.

Треба також відзначити простоту монтажу, особливо у порівнянні з іншими системами холодопостачання.

Управління VRF-системами легке, навіть з врахуванням складності автоматизації. Користувач може легко контролювати температуру в холодильному обладнанні, в тому числі й з використанням мобільних пристроїв.

### **Висновок.**

У цьому матеріалі обговорюються останні розробки та тенденції в розробці та застосуванні систем VRF. Популярність і застосування систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря VRF зростає в багатьох країнах, оскільки їх можна використовувати для задоволення вимог до тепла та якості повітря в приміщеннях високоенергоефективним способом завдяки їхній здатності регулюватись відповідно до вимог внутрішнього середовища та рекуперації тепла. Характерні особливості VRF HVAC систем:

- застосування стратегії інтелектуального керування може покращити тепловий комфорт у приміщенні будівлі, мінімізуючи споживання енергії;
- система з пристроями біологічної та хімічної фільтрації та обробки може використовувати рециркуляційне повітря в приміщенні на додаток до свіжого зовнішнього повітря, яке надходить у приміщення;
- використання переохолоджувача для подальшого охолодження холодоагенту нижче температури насичення різко покращує продуктивність системи VAR.

Системи VRF HVAC покладаються на свою здатність регулювати свою роботу найбільш енергоефективним способом відповідно до вимог у приміщенні. Однак різні конструкції мають різні переваги та недоліки залежно від їх призначення. Таким чином, проектування та розробка систем на основі того, як системи працюють у різних сценаріях реального світу (які відрізняються від стандартів оцінки ефективності) буде ще однією важливою сферою для дослідників та інженери-конструктори. Розробка та перевірка точної моделі для цілей моделювання може зробити значний внесок у вдосконалення систем VRF.

РОЗРОБКА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ СПОСОБІВ УПРАВЛІННЯ  
АБСОРБЦІЙНИМИ ХОЛОДИЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

Тітлов О. С., д.т.н., проф., e-mail: [titlov1959@gmail.com](mailto:titlov1959@gmail.com)

Тітлова О. О., к.т.н., доц., e-mail: [titlova@ukr.net](mailto:titlova@ukr.net)

Пономарьов К. М., аспірант, e-mail: [alic.in.mine@gmail.com](mailto:alic.in.mine@gmail.com)

Дмитренко Д. В., аспірант, e-mail: [mbilogub@gmail.com](mailto:mbilogub@gmail.com)

Одеський національний технологічний університет

**Актуальність дослідження.** Сучасні вимоги до холодильних агентів у частині озонобезпеки та мінімізації вкладу в «парниковий» ефект відкривають широкі можливості для холодильних апаратів абсорбційного типу або апаратів з абсорбційно-дифузійними холодильними апаратами (АХА), що працюють з традиційним водоаміачним розчином (ВАР).

Основний недолік АХА, що стримує їх широке поширення - низька енергетична ефективність, зумовлена фізичними особливостями холодильного циклу. Цей чинник не тільки визначає підвищені, порівняно з компресійними аналогами, вартісні витрати, а й відповідний внесок у «парниковий» ефект.

**Мета дослідження** – підвищення енергетичної ефективності АХА.

**Основні матеріали досліджень.** Аналіз результатів експериментальних досліджень дослідних та серійних моделей холодильних апаратів з АХА показали, що їх підвищений рівень енергоспоживання визначається існуючою методологією розрахунку та способом управління при експлуатації. Відповідно до існуючих вимог до побутових і торговельних холодильних апаратів, в першу чергу, необхідно забезпечити заданий температурний режим в холодильній камері в «жорсткому» режимі експлуатації, при цьому, як правило, робота АХА здійснюється в безперервному режимі ( $KPB = 1$ ), а величина енергоспоживання до уваги не береться.

Як показує ексергетичний аналіз циклу АХА, найбільший успіх в енергозбереженні можна досягти при оптимізації прямого (теплого) циклу, що реалізується в «привідний» контур АХА. Особливу увагу при цьому необхідно приділяти перекачуючий термосифон (ПТС), втрати ексергії в якому досягають 60 % від сумарних.

Аналіз основних напрямів енергозбереження показав, що найбільшого успіху при мінімумі витрат може бути досягнуто за рахунок використання оптимальних систем керування апаратами з АХА. Зокрема, за рахунок зміни величини теплопідведення на ПТС залежно від температурних режимів у характерних точках холодильної камери та АХА.

Проблеми енергозбереження в ПТС пов'язані з частковою конденсацією парів у підйомній частині. Вона вирішується за рахунок розподілу теплового навантаження, що підводиться на ПТС в залежності від температури навколишнього середовища і температури в холодильній камері. Ефект енергозбереження у своїй становить 15...16 %.

Основна увага при розробці енергозберігаючих режимів АХА приділялася генераторному вузлу. Було показано, що значною мірою енергозберігаючі режими холодильного апарату визначаються режимом проходу пари через затоплений U-подібний ректифікатор АХА.

Режими проходу пари залежать від величини теплопідведення до ПТС АХА. В енергозберігаючих режимах роботи АХА прохід пари здійснюється шляхом барботування. При збільшенні теплового навантаження на ПТС пар відтісняє рідину і у верхній частині ректифікатора утворюється паровий прошарок. Очищення пари та попереднє підігрів пари в ректифікаторі в цьому режимі мінімальні. На прикладі моделі низькотемпературної камери (НТК) Стugna-101 АМЛ-180 було показано, що робота в енергозберігаючих режимах дозволяє знизити енергоспоживання порівняно з кращими зарубіжними аналогами до 50 %.

Розвиток цього напрямку був пов'язаний із встановленням додаткового теплоізоляційного кожуха на дефлегматорі АХА. Ефект енергозбереження у цьому випадку становив: 21 % («Київ-410»); 12% («Кристал-408»); 17% ("Стугна-101" АМЛ-180). Для реалізації таких енергозберігаючих режимів необхідно здійснювати контроль температури пари на виході дефлегматора - вона не повинна перевищувати температури насичення аміаку при робочому тиску в АХА (порядку 50 С).

При розробці енергозберігаючих способів управління виходили з того, що в неробочому періоді температура елементів приводного контуру АХА (термосифона, ректифікатора, дефлегматора), за рахунок теплових втрат в навколишнє середовище, знижується.

Це супроводжується не тільки охолодженням міцного та слабкого ВАР, але й частковою конденсацією пар у дефлегматорі та конденсаторі АХА. При конденсації парів їхнє місце займає інертний газ, який до цього знаходиться в контурі природної циркуляції (КЕЦ). Очевидно, що чим більший час неробочого періоду, тим нижчою опуститься температура і тим більший об'єм у дефлегматорі АХА займе інертний газ.

При подачі теплового навантаження на ПТС інертний газ виштовхуватиметься в КЕЦ динамічним натиском парового потоку, величина якого залежатиме від кількості парової фази. У момент запуску АХА певна кількість пари, що генерується в ПТС, буде витрачатися на розігрів елементів конструкції ректифікатора, дефлегматора і конденсатора. За інших рівних умов, час проходження парового потоку до конденсатора визначатиметься ступенем охолодження елементів приводного контуру в неробочому періоді, тобто. тривалістю неробочого періоду. Це говорить про те, що відоме становище - "чим більше час неробочого періоду, тим більша економічність", не завжди застосовується для побутових та торгових абсорбційних холодильних апаратів.

Для підвищення економічності необхідно не допускати значного переохолодження елементів конструкції приводного контуру АХА.

Зменшити ступінь переохолодження транспортних елементів приводного контуру АХА можна шляхом збільшення термічного опору теплоізоляції генераторного вузла, так і частковим їх прогріванням в неробочому періоді.

Перший шлях у побутовій та торговій техніці обмежений габаритними вимогами, другий – більш перспективний.

Дещо інша ситуація в холодильних апаратах з високим термічним опором конструкцій, що захищають, наприклад, в НТК з «суперізоляцією» «Стугна-101» АМЛ-180. На відміну від однокамерних або двокамерних моделей, в яких регламентовано співвідношення температур у камерах, НТК потенційно мають великі функціональні можливості, так як можуть застосовуватися практично у всьому діапазоні температур зберігання, що використовується в побуті – від мінус 18 °С до 12 °С, тобто стати універсальним холодильним приладом.

У цьому випадку теплоізоляційні конструкції камери традиційно повинні проектуватися з урахуванням роботи АХА в «жорсткому» режимі експлуатації, тому універсальна модель буде мати значний запас холодопродуктивності при помірних низьких температурах навколишнього середовища і позитивних температурах зберігання.

**Висновок.** В результаті проведених досліджень показано, що в універсальних абсорбційних холодильних апаратах, виконаних за класом SN\*, можуть мати місце режими зберігання з мінімум або відсутністю теплоприток ( $t_K = 5...12\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{o.c.} = 10\text{ }^\circ\text{C}$ ). Час робочого періоду у разі набагато менше неробочого, тому забезпечувати постійний прогрів елементів генераторного вузла може бути недоцільно. У таких умовах експлуатації економічним може бути позиційний режим управління.

ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ПРИЛАДИ ВИМІРЮВАННЯ КРІОГЕННИХ СИСТЕМ  
ОХОЛОДЖЕННЯ ВАНТАЖІВ, ЩО ШВИДКО ПСУЮТЬСЯ

Якушенко Є. М., к.т.н., доц., e-mail: [papelats@ukr.net](mailto:papelats@ukr.net)

Семенюк Д. П., к.т.н., проф., e-mail: [dmitriy.semeniuk@gmail.com](mailto:dmitriy.semeniuk@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** В умовах підвищення вимог до економії рідкого палива в усіх галузях техніки фахівці вже давно вишуковують можливості безмашинних способів охолодження вантажів, що швидко псуються, (ШПВ). Останнім часом у зв'язку із зазначеною тенденцією знову проявляється інтерес до одного з таких способів – охолодження ШПВ рідким азотом.

Рідкоазотна система охолодження (РАСО) ШПВ, що перевозяться, має ряд переваг: відсутність спеціального енергетичного джерела, простота конструкції, наявність сприятливого газового середовища навколо ШПВ, відсутність екологічного впливу, зменшення втрати продуктів при перевезенні та зберіганні.

Водночас доцільність широкого впровадження цього способу охолодження на вагонах не є безперечною, оскільки відсутність системи опалення вагонів із РАСО знижує можливість їх експлуатації в зимовий час, необхідність заправки азотом та створення по країні мережі екіпірувальних пунктів, розширення потужностей з виробництва рідкого азоту та спеціальних криогенних ємностей.

**Основні матеріали досліджень.** Система охолодження, заснована на випаровуванні рідкого азоту, включає такі основні елементи: посудина рідкого азоту; пневматичний або електричний вентиль керування подачею рідкого азоту; що знаходиться в посудині; розпилювальний колектор форсунками для розпилення азоту у вантажному приміщенні; датчик температури в камері для вироблення сигналу регулювання подачі азоту з судини; показчик рівня рідкого азоту в посудині; запобіжні клапани для скидання підвищеного тиску в посудині; вентиль заправки судини азотом; регулятор тиску.

Принцип роботи такої системи ось у чому. Регулятор температури, налаштований на заданий температурний режим, при підвищенні температури (вимірюваної датчиком у вантажній камері) заданої верхньої межі регулювання, дає сигнал на відкриття вентиля подачі рідкого азоту, який, перебуваючи в посудині при високому тиску, надходить у колектор розпилювання, де відбувається нагрівання азоту та його інтенсивне випаровування; в процесі випаровування азоту (в колекторі та поза ним) відбувається відбір тепла від повітря та вантажу в камері. Після того, як температурний датчик зафіксує досягнення нижньої заданої межі регулювання температури камери, подається сигнал на закриття вентиля подачі. Надалі цикл регулювання температури у вантажній камері повторюється. За таким принципом працюють РАСО, що використовуються у холодильному транспорті багатьох країн.

Вперше система РАСО розроблена фірмою Linde США. Розроблена в 1961 р. система «Полярстрім» набула найбільшого поширення. Для європейських залізниць (зокрема, для вагонів «Інтерфриго») та автотранспорту серійне виробництво системи «Полярстрім» виробляла з 1965 р. англійська фірма British Oxygen Corp.

У цій системі використовується від одного до чотирьох розташованих усередині кузова (біля торцевих стін) криогенних судин з рідким азотом. Розпилювач колектор змонтований під стелею в центрі кузова. Така система (типу «206») для залізничного вагона включає запас азоту 1170 кг, що знаходиться під тиском 0,08 – 0,09 МПа в одній посудині прямокутної форми (висота судини – 2,140 м, ширина – 2,21 м, довжина – 0 69 м), розташованого горизонтально. Вага незаповненої криогенної системи – 454 кг. Максимальні втрати азоту внаслідок випаровування з судини становлять 2% на добу. Як показує досвід, температура за

обсягом вантажного приміщення за системою «Полярстрім» розподіляється помітно нерівномірно. За таким же принципом працюють американські системи «Колд Спрай» та «Кріоград» (фірми «Air Products»), а також французькі та західнонімецькі системи. Згідно з розробленою схемою «Колд Флоу», азот подається з судини в компактні оребровані теплообмінники (ТО), встановлені вздовж стін і під дахом вантажного приміщення. Після випаровування ТО газоподібний азот далі через розпилювальні патрубки виходить в об'єм камери. Застосування ТО, хоч і подорожчає, дає більш рівномірний розподіл температур.

На відміну від зазначених вище схем, що працюють за принципом безпосереднього впорскування азоту у вантажний об'єм, у системі «Колд Уолл» газоподібний азот розподіляється з двох колекторів вздовж усіх поверхонь огорож вантажного об'єму по системі каналів для азоту, що створюють сорочку, що охолоджує, з досить рівномірним розподілом температур в камері.

Розглянемо системи "Кріоград", розробленої для залізничних вагонів. Тут азот подається через невеликі отвори загальною площею 0,013 – 0,058 см<sup>2</sup> у розпилювальному трубопроводі зі швидкістю від 13,6 до 50 кг/год. на 3 м довжини камери. Особливістю цієї схеми є вентилятор для переміщення азотоповітряної суміші в камері та для обдування колекторного трубопроводу. Обертання вентилятора відбувається рахунок енергії струменя витікаючого азоту, що з судини трубопроводом надходить у ТО, де випаровується, і під тиском натікає на лопаті вентилятора. Для інтенсифікації випаровування азоту частина ТО розташована поза теплоізолюваним кузовом.

**Висновок.** На відміну від названих вище систем, де подача азоту регулюється в залежності від температури фірмою Beast Fertilizers (США) розроблена система Окситрол, в якій рідкий азот подається у вантажне приміщення в залежності від концентрації в ньому кисню. В основі цього лежить спостерігається в досвіді затримка старіння продуктів в атмосфері зі зниженим вмістом кисню. Тому заміна кисню інертним азотом призводить до більш сприятливої для або продукту так званого «регульованого газового середовища». Устаткування системи «Окситрол» додатково включає датчик концентрації кисню, що автоматично регулює впорскування необхідної кількості азоту. Зміст кисню у камері підтримується у мінімально допустимих межах (0,5—5 %), так як повна відсутність кисню в навколишньому середовищі продукту може викликати небажану ферментацію продукту.

При всьому різноманітті запропонованих систем РАСО залізничних вагонів, що охолоджуються рідким азотом, навіть у період найбільшого інтересу до цього способу охолодження в 1969 було побудовано не більше 50: з них 30 було обладнано системою «Полярстрім».

До теперішнього часу використання таких систем не сталося на стадії експлуатації дослідних зразків. За даними довідника «Janex», у парку вагонів «Інтерфріго» у 1984 р. всього 26 одиниць АЖВ, обладнаних системою «Полярстрім». Ширше застосовується РАСО на автомобільному транспорті, що експлуатується під наглядом обслуговуючого персоналу.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Холодильні установки : підручник. 6-е вид., перероб. та доп. Одеса. Пальміра, 2006. С. 552.
2. Константинов Ю. М., Гіжа О. О. Технічна механіка рідини і газу. / К.: Вища школа., 2002. 277 с.
3. Мандрус В. І. Гідравлічні та аеродинамічні машини. Л.: Магнолія 2007. 340 с.
4. Завойко Б. М., Лещій Н. П. Технічна механіка рідин і газів: основні теоретичні положення та задачі. Львів. Магнолія, 2004. 119 с.
5. Погорелов. А.І. Тепломасообмін (основи теорії і розрахунку). Львів, Новий Світ-200, 2000. – 140 с.
6. Лабай В. Й. Тепломасообмін., Львів: Тріада плюс 2004. 260 с.



КОНЦЕПТУАЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ХОЛОД  
Ялама В. В., аспірант, e-mail: [yalama9410@gmail.com](mailto:yalama9410@gmail.com)  
Хмельнюк М. Г., д.т.н., проф., e-mail: [hmel\\_m@ukr.net](mailto:hmel_m@ukr.net)  
Одеський національний технологічний університет

**Актуальність дослідження.** Надамо технічний метод, щодо диджиталізації процесів у холоді за допомогою концептуального проєктування. Зосереджуючись на компонентах підходу концептуального дизайну та розробки Knudsen, L.S. et.al., 2020 [1]. Що стосовно метамоделі та еталонної мови моделювання необхідно відмітити мету, яка є визначенням концепції та її взаємозв'язки для шаблонів, контекстів і корпоративних моделей. Щоб реалізувати підхід концептуального дизайну та розробки необхідно використати еталонну мову моделювання, щоб забезпечити мову візуального моделювання для метамоделі. Метамодель також може бути реалізована іншими мовами моделювання, що використовуються в бізнес-кейсах. Еталонна мова використовується для моделювання шаблонів, контекстів і бізнес-послуг. Підхід концептуального моделювання та розробки допомагає представити моделі бізнес-послуг, базовану на моделі специфікації фактичних бізнес-послуг, включаючи структурні, поведінкові та ресурсні аспекти. Такий підхід моделювання надає гнучкість, де бізнес-послуги можна моделювати різними способами, наприклад орієнтованими на процес: BPEL (Business Process Execution Language), Ouyang, C., et al., 2011 [2] або BPMN (Business Process Modelling and Notations) Compagnucci, Ivan, et al., 2023 [3] або орієнтованими на традиційну програмну інженерію: UML (Unified Modeling Language) призначений для об'єктно-орієнтованого аналізу та проєктування, OMG системна мова моделювання, Model Driven Architecture (MDA), Junior, Rogério, and Frutuoso Silva, 2021 [4] що дозволяє використовувати стандарти MDA в онтологічній інженерії, на основі SOA (*Service-Oriented Architecture*) до моделювання та проєктування складних розподілених систем. Надаються можливості проєктування через визначення елементів системи, яка складається з представлення бізнес-послуг у формі цілей, процесів і ресурсів. Елементи системи включають контекст і шаблони, які є невід'ємними компонентами проєктування можливостей. Операції перетворення та довідкова мова перетворення.

#### **Основні матеріали досліджень.**

***Основні елементи та властивості підходу концептуального проєктування та розробки систем:***

- функціональність через операції перетворення, які включають перехід від концептуального рішення до виконуваного рішення та інтеграцію шаблонів у еталонні процеси; - це реалізація через використання еталонної мови перетворення, що забезпечує реалізацію операцій перетворення;
- гнучкість у реалізації через мову моделювання, яка дозволяє розробити метамодель, та мета-модель може бути реалізована різними мовами моделювання, що забезпечує гнучкість на основі вимог різних бізнес-випадків;
- мови перетворення через використання можливих інших мов, крім еталонної мови перетворення, якщо вони реалізують необхідні операції перетворення;
- моделі бізнес-послуг за допомогою використання специфікацій;
- аспекти використані через охоплення структурних, поведінкових та ресурсних аспектів для детального проєктування системи;
- інтеграція шаблонів через проведення операцій перетворення, які передбачають інтеграцію шаблонів у еталонні процеси.

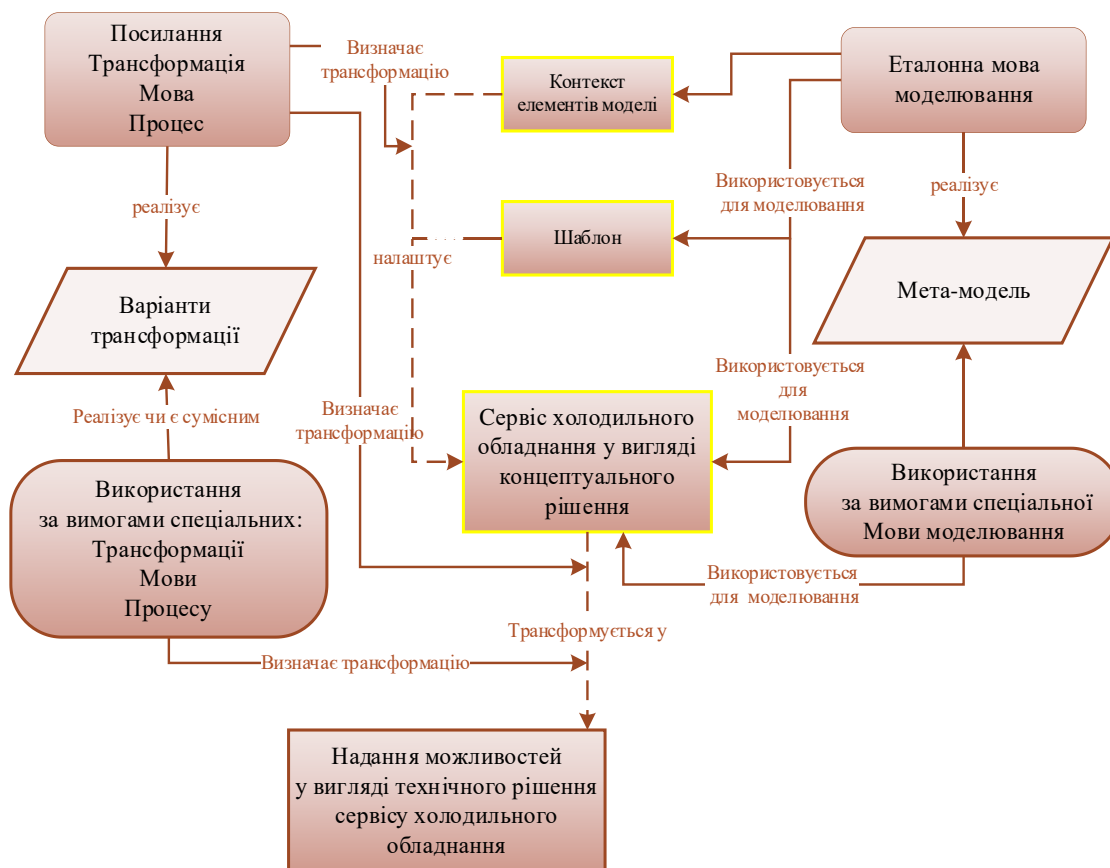


Рисунок 1 – Елементи підходу концептуального проектування:  
Елементи з жовтим кантом надають можливість проектування.

**Висновок.** Як результат, підхід концептуального проектування та розробки використовує метамоделі та еталонної мови моделювання для визначення концепцій і зв'язків, чим забезпечує гнучкість у їх реалізації. Бізнес-послуги моделюються за допомогою цих елементів, а різні мови моделювання забезпечують гнучкість, що дозволяє диджиталізацію.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Knudsen, L. S., et al. "Design Rationale in Conceptual Design: A Longitudinal Study of Professional Design Teams' Practice." *Proceedings of the Design Society DESIGN Conference*, vol. 1, 2020, pp. 1315–1324, [doi:10.1017/dsd.2020.11](https://doi.org/10.1017/dsd.2020.11).
2. Ouyang, C., et al. "Service-Oriented Processes: An Introduction to BPEL." *Semantic Web Services*, IGI Global, 2011, pp. 155–190.
3. Compagnucci, Ivan, et al. "A Study on the Usage of the BPMN Notation for Designing Process Collaboration, Choreography, and Conversation Models." *Business & Information Systems Engineering*, 2023, [doi:10.1007/s12599-023-00818-7](https://doi.org/10.1007/s12599-023-00818-7).
4. Junior, Rogério, and Frutuoso Silva. "Redefining the MDA Framework—the Pursuit of a Game Design Ontology." *Information (Basel)*, vol. 12, no. 10, 2021, p. 395, [doi:10.3390/info12100395](https://doi.org/10.3390/info12100395).

## МЕТОДОЛОГІЯ РОЗРОБКИ КЕРОВАНОЇ МОЖЛИВОСТЯМИ ТА ЇЇ КОМПОНЕНТИ

Ялама В. В., аспірант, e-mail: [yalama9410@gmail.com](mailto:yalama9410@gmail.com)

Яковлева О. Ю., к.т.н., e-mail: [osarja@gmail.com](mailto:osarja@gmail.com)

Трандафілов В. В., к.т.н., e-mail: [vlad.trandafilov@gmail.com](mailto:vlad.trandafilov@gmail.com)

Одеський національний технологічний університет

**Основні матеріали досліджень.** Розробка, керована можливостями дозволяє цифровізацію [1] проєкту в сфері холоду, зосереджується на наданні конкретних можливостей, узгоджених зі стратегічними цілями організації. Універсального стандартизованого набору компонентів для «розробки, керованої можливостями» не існує, елементи надано у Таблиці 1 використано для адаптації методології:

– **Менеджмент.** Складається за основних елементів: начало, планування, контроль, кінець. Робота планується з креативними міжфункціональними командами. Необхідно організувати міжфункціональні команди, які можуть спільно працювати над наданням повних можливостей. Це експерти з різними навичками, наприклад, розробники-проєктувальники тестувальники, дизайнери, аналітики.

– **Моделювання.** Несе в собі інтеграцію наступних моделей: цілей, процесів, акторів, правил, концептів, технічних компонентів. Інформація про енергетичний проєкт в сфері холоду модулюється та надається як мета-модель зв'язку між оговореними моделями, що дозволяє уявити деталі для удосконалення та надання нових можливостей, як компанії-виконавцю так и компанії-замовнику.

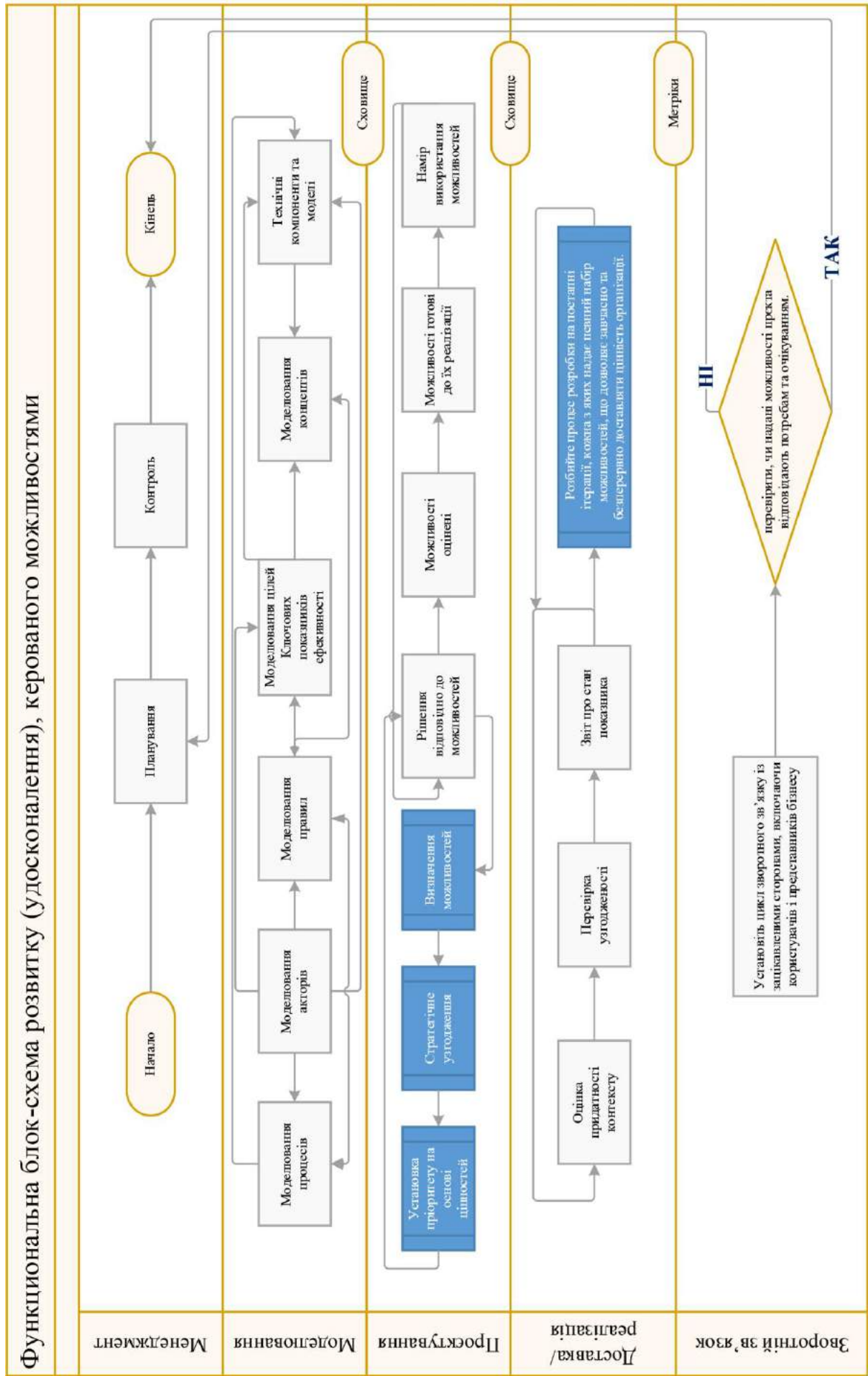
– **Проєктування.** Приймається рішення відповідно до можливостей, проводиться оцінювання можливостей з перевіркою їх готовності до адаптації та оцінюються наміри використання можливостей з супідрядними процесами (визначення, узгодження, пріоритизація). Проходить ідентифікація, де визначаються можливості або функції високого рівня, які мають вирішальне значення для досягнення стратегічних цілей організації при адаптації проєкту. При відображенні можливостей відбувається стратегічне узгодження, коли зіставляються визначені можливості проєкту зі стратегічними цілями організації, щоб гарантувати, що зусилля щодо розвитку узгоджуються із загальними бізнес-цілями. Визначається пріоритетність можливостей на основі їх сприйнятої цінності для бізнесу, що несе в собі розуміння впливу кожної можливості на досягнення стратегічних результатів. Результати етапів моделювання і проєктування зберігаються у сховищах інформації.

– **Доставка чи реалізація та зворотній зв'язок.** Проводиться оцінка придатності контексту, перевірка узгодженості та звітування про стан запропонованого показника. Можливо розробити поступову доставку проєкту в організацію при розбивці процесу розробки на поетапні випуски ітерації, кожна з яких надає певний набір можливостей. Це дозволяє завчасно та безперервно доставляти цінність організації (ми говоримо про модифікацію та удосконалення енергетичних установок з метою підвищення енергоефективності). Надається метрика за допомогою якої проводиться вимірювання результату та визначення ключових показників ефективності, пов'язаних з успіхом реалізації кожної можливості, що допомагає оцінити вплив і ефективність наданих функцій: управління залежностями, ідентифікація залежностей, адаптивність чи гнучкість, постійне вдосконалення, управління ризиками. Розвивайте культуру безперервного вдосконалення! Коли команди регулярно проводять обговорення процесів та результатів, визначають області для вдосконалення та вносять відповідні корективи – це шлях до успіху.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Yalama, Viktor, Mykhailo Khmelniuk, Olga Yakovleva, Volodymyr Trandafilov “ Efficient, controlled, and smart refrigeration for cold chain, and refrigeration transport ” REFRIGERATION SCIENCE AND TECHNOLOGY PROCEEDINGS, 26th IIR International Congress of Refrigeration, *INTERNATIONAL INSTITUTE OF REFRIGERATION*, vol. 3, Paris, France August 21-25, 2023, pp. 733–743, doi: 10.18462/iir.icr.2023.0827 [Ex-Ordo---ICR-2023---Detailed-Programme---10th-August-2023---1039.pdf \(icr2023.org\)](#) [ICR23 Programme final.pdf \(icr2023.org\)](#)

Таблиця 1 – Методологія розробки, керованої можливостями



## СПОСОБИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Яровий І. І., к.т.н., доц., e-mail: [goryarov@gmail.com](mailto:goryarov@gmail.com)

Алі В. П., аспірант, e-mail: [poem.ontu@gmail.com](mailto:poem.ontu@gmail.com)

Одеський національний університет харчових технологій

**Актуальність дослідження.** Наукова робота багатьох прикладних галузей, зокрема технологічних наук, включає значну частину експериментальних досліджень серед яких немало експериментальних задач, що пов'язані з реєстрацією зміни в часі комплексу фізичних параметрів. Як правило постановка задачі, планування експерименту та прогнозування і попередня оцінка результатів є суттю дослідницької роботи та визначається саме тематикою і областю досліджень.

Однією з суттєвих проблем, що постає перед науковцями в ході планування циклу експериментальних досліджень, є досяжна для використання база. Вирішення питання побудови вимірювального комплексу пов'язане, як правило, з підбором наявного або доступного апаратного та програмного забезпечення, погодження графіків його використання, подеколи - з отриманням достатньої для використання апаратури кваліфікації. Наявність необхідної апаратури, її потенціальні можливості, завантаженість та вартість суттєво обмежують "політ думки" багатьох дослідників. Ще гостріше дана проблематика проявляється у студентських дослідженнях.

В той же час, багато тематик експериментальних досліджень, потребують для технічного супроводу, відносно нескладних систем фіксації у реальному часі типового комплексу фізичних величин (температури, вологості, маси, швидкості, переміщення, тощо.). Для таких задач, що не потребують надскладних або вузькоспеціалізованих вимірювальних комплексів, вирішенням питання може стати побудова адаптованого до цілей та задач програмно - апаратного комплексу для супроводу експерименту на базі компонентів класу DIY (від англ. Do It Yourself — «зроби це сам»), призначенням яких є задоволення потреб аматорів сучасної технічної творчості.

**Мета дослідження.** Означений вище підхід до вирішення проблеми має свої переваги. По перше вирішення задачі організації вимірювальної системи або дослідного стенду переноситься зі сфери організаційної у сферу творчу, так як основним питанням стає не досяжність готових типових рішень, а принципова можливість отримання бажаної інформації про досліджуваний процес з наявними на ринку компонентами. По друге вартість diy-рішення може виявитись «супербюджетною» порівняно з класичними варіантами рішень. Наслідком є можливість створення індивідуальних для кожної дослідної установки, постійно діючих, та експлуатуємих без огляду на необхідність збереження цілісності компонентів апаратури. По третє, використання в якості інтегруючої компоненти демо-версій програмного забезпечення дає можливість побудувати малобюджетну (практично безкоштовну) систему моніторингу та керування експериментом з відмінними можливостями візуалізації, архівування та експорту отриманих результатів.

**Основні матеріали досліджень.** Узагальнюючи підсумки проведеної роботи зі створення комп'ютерних системи супроводу експериментальних досліджень процесів зневоднення, після випробування декількох варіантів елементної бази та програмного забезпечення пропонуємо розглянути в якості бюджетного варіанту наступну комбінацію компонентів.

В якості базового модулю керування та збору даних (багатоканальний перетворювач сигналів) – доцільно використати одну з мікропроцесорних плат diy-серій, наприклад «Arduino Uno/Nano» або «ESP-32» з комплектом сумісних датчиків. На сьогодні на ринку diy-компонентів наявні датчики (аналогові та цифрові): температури, вологості, атмосферного тиску, освітленості, кольору, напруги, струму, наближення (безконтактні), вібрації, сили (деформації), магнітного поля, положення/рівня та інші. Вартість таких

пристроїв відповідає найнижчому ціновому діапазону промислових рішень, а метрологічні характеристики цілком забезпечують усереднені вимоги до типових варіантів використання.

Програмування модулю керування та збору даних може здійснюватись як мінімум двома шляхами: використанням штатного середовища «IDE» для написання коду або редактора створення програм мовою Функціонально - Блокових Діаграм. Слід зазначити, що перший варіант потребує навичок програмування а другий дозволяє створювати алгоритми обробки інформації графічними мовами програмування.

Програмне забезпечення для моніторингу фізичних параметрів процесів об'єкту дослідження можливо використовувати різне. Найпростішим шляхом є використання термінальних програм на зразок монітору послідовного порту комп'ютера, що дозволяє виконати реєстрацію потоку значень від модулю збору даних в текстовий файл. Проте оптимальним вибором можна вважати використання програмних комплексів типу SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) — програмного забезпечення, призначеного для моніторингу та керування об'єктами та процесами в реальному часі. На ринку програм цього класу присутні понад десяток виробників які пропонують різні за масштабом, функціональністю та складністю рішення. Серед пропозицій наявні і безкоштовні (тестові) варіанти (малоканальні, з обмеженою функціональністю або часом роботи).

Подібні варіанти технічних рішень використовувались авторами для вирішення поточних задач моніторингу процесів зневоднення рослинної сировини під впливом мікрохвильового електромагнітного поля. Приклад інтерфейсу системи моніторингу приведено на рис. 1.



Рисунок 1 – Інтерфейс системи моніторингу:

- а) дослідний стенд для мікрохвильового сушіння рослинної сировини;
- б) інтерфейс системи керування та реєстрації параметрів експерименту.

**Висновок.** Запропонований варіант реалізації комп'ютерно-інтегрованої системи контролю та керування експериментом не є досконалим і вимагає додаткових знань та навичок з розробки та супроводу подібних технологій, проте саме використання дію-компонентів є реальним шляхом спрощення та інтенсифікації рутинної роботи в наукових дослідженнях.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Яровий І. І., Алі В.П. (2022). Фізичне моделювання процесу видалення вологи в мікрохвильових стрічкових сушильних апаратах. *Scientific Works*, 86(1), 84 - 90. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v86i1.2408>

## ЗМІСТ

|  |           |
|--|-----------|
| <b>СЕКЦІЯ 1. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ</b>  | <b>3</b>  |
| 1. <i>Адамчук В. В.</i><br><b>Перспективи енергозабезпечення агропромислового виробництва України.....</b>   | <b>3</b>  |
| 2. <i>Братчикова О. В., Братчиков О. С., Грицай В. А.</i><br><b>Надійність, якість, економічність електропостачання – фактори забезпечення електроенергією під час воєнного стану.....</b> | <b>5</b>  |
| 3. <i>Гладкий В. В., Левченко О. С., Якимець С. М.</i><br><b>Щодо створення джерела живлення мобільної точки зв'язку мережі eLTE в кар'єрі.....</b>  | <b>7</b>  |
| 4. <i>Дудніков С. М., Пазій В. Г.</i><br><b>Підвищення надійності функціонування об'єднаної енергетичної системи України з відновлюваними джерелами.....</b>                               | <b>9</b>  |
| 5. <i>Єрмак Д. А., Савченко О. А.</i><br><b>Аналіз сучасних технологій моніторингу утворення ожеледі на повітряних лініях електропередавання.....</b>                                      | <b>11</b> |
| 6. <i>Кімак С. С., Сагайдак О. М., Петрова К. Г.</i><br><b>Підвищення ефективності роботи розподільчих мереж 6(10) кВ за рахунок їх переведення на напругу 20 кВ.....</b>                  | <b>13</b> |
| 7. <i>Кіянчук В. М., Махотіло К. В.</i><br><b>Участь агрегаторів у керуванні попитом.....</b>  | <b>15</b> |
| 8. <i>Котиш А. І., Жупаненко В. В., Балаєнко Є. О.</i><br><b>Аналіз впливу роботи вимірювальних трансформаторів на точність системи обліку електроенергії.....</b>                         | <b>17</b> |
| 9. <i>Котиш А. І., Червоній С. С., Миронець М. Ю.</i><br><b>Підвищення надійності та ефективності роботи сільських електричних мереж.....</b>  | <b>19</b> |
| 10. <i>Осіпов О. М., Петрова К. Г.</i><br><b>Дослідження впливу частотно-регульованих електроприводів на якість електричної енергії в системі електропостачання.....</b>                   | <b>21</b> |
| 11. <i>Подольак Д. С., Петрова К. Г.</i><br><b>Дослідження методів прогнозування графіків електричних навантажень.....</b>   | <b>23</b> |
| 12. <i>Попадченко С. А., Дудніков С. М.</i><br><b>Перспектива впровадження відновлювальних джерел енергії у вітчизняному аграрному виробництві.....</b>                                    | <b>25</b> |

|  |    |
|--|----|
| 13. <i>Походенко Н. А., Герасименко В. А.</i><br><b>Підвищення енергетичної ефективності світлодіодних систем освітлення.....</b>  | 27 |
| 14. <i>Прудніков Д. К., Трунова І. М.</i><br><b>Аналіз якості технічної експлуатації розподільних мереж.....</b>   | 29 |
| 15. <i>Рибалка К. А., Тільний Д. С., Середа А. І., Дудніков С. М.</i><br><b>Регулювання потужності конденсаторних установок.....</b>   | 31 |
| 16. <i>Mykhailo Syvenko, Oleksandr Mirosnyk, Mohamed Qawaqzeh, Serhii Halko</i><br><b>Analysis and justification of the need for the development of local electricity supply systems in Ukraine.....</b> | 33 |
| 17. <i>Сидюк І. Ю., Герасименко В. А.</i><br><b>Удосконалення систем освітлення транспортних засобів із використанням світлодіодів.....</b>  | 35 |
| 18. <i>Сорочан М. М., Трунова І. М.</i><br><b>Дослідження коефіцієнту підвищення надійності за різних умов резервування.....</b>   | 37 |
| 19. <i>Трунова І. М., Пазій В. Г., Лотоцький Я. В.</i><br><b>Аналіз використання комп'ютеризованих систем керування технічним сервісом електрообладнання АПК.....</b>                                    | 39 |
| 20. <i>Юсіфов В. К., Гавриш П. А.</i><br><b>Удосконалення енерготехнічної потужності екскаватору Caterpillar.....</b>  | 41 |
| <b>СЕКЦІЯ 2. ВІДНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА</b>   |    |
|  | 43 |
| 1. <i>Борисенко С. О., Мороз О. М.</i><br><b>Шляхи підвищення ефективності роботи сонячних електростанцій для власних потреб підприємства.....</b>   | 43 |
| 2. <i>Бунько В. Я., Козирський В. В.</i><br><b>Використання елементів з ефектом пам'яті форми для створення систем генерації електроенергії.....</b>   | 45 |
| 3. <i>Волобуєв А. С., Савченко О. А.</i><br><b>Аналіз методів прогнозування продуктивності сонячних електростанцій.....</b>  | 47 |
| 4. <i>Волчок В. О., Волчок О. В.</i><br><b>Визначення фізичних властивостей палива рослинного походження.....</b>  | 49 |
| 5. <i>Галько С. В., Мірошник О. О.</i><br><b>Зарядні станції для електромобілів на сонячних когенераційних фотоелектричних модулях.....</b>  | 51 |
| 6. <i>Головко В. М., Міхалін В. І.</i><br><b>Енергія теплової енергії на вітроелектростанціях.....</b>   | 53 |



|   |    |
|---|----|
| 7. Головка В. М., Семененко Р. Ю.<br><b>Імітаційне моделювання процесів перетікання енергії між вузлами гідроакumuлюючої електроустановки із замкнутим циклом використання робочого тіла.....</b> | 55 |
| 8. Горбачов О. С.<br><b>Використання біомаси для створення біопалива.....</b>   | 57 |
| 9. Гулевський В. Б., Постол Ю. О., Мигуля В. В.<br><b>Перспективні напрямки розвитку хвильової енергетики.....</b>  | 59 |
| 10. Гунько І. О., Лежнюк П. Д., Козачук О. І.<br><b>Локальні електроенергетичні системи як балансуєчі групи.....</b>  | 61 |
| 11. Демченко Г. С., Мороз О. М.<br><b>Шляхи підвищення ефективності технологічних рішень під час проведення реконструкції електричних мереж 0,38 та 10 кВ.....</b>                                | 63 |
| 12. Дяденчук А. Ф., Галько С. В.<br><b>Оптимізація антивідбивних покриттів кремнієвих фотоперетворювачів для підвищення ефективності сонячних енергетичних систем.....</b>                        | 65 |
| 13. Дяденчук А. Ф., Галько С. В.<br><b>Дослідження фотоелектричних властивостей фотоперетворювача на основі ZnO/porous-Si/Si.....</b>   | 67 |
| 14. Комар В. О., Семенюк Ю. В., Підгорець С. В.<br><b>Оцінювання вихідних даних для прогнозування графіків генерування фотоелектричними станціями на добу наперед.....</b>                        | 69 |
| 15. Коробка С. В., Баранович С. М., Сиротюк С. В., Станицький Т. О.<br><b>Математичне моделювання фотоелектричних комірки/модулі/масиви з тегами в Matlab/Simulink.....</b>                       | 71 |
| 16. Коробка С. В., Сиротюк С. В., Стукалець І. Г., Станицький Т. О.<br><b>Комп'ютерне моделювання оперативного управління автономної фотодизельної системи електропостачання.....</b>             | 73 |
| 17. Лежнюк П. Д., Ситник А. В.<br><b>Визначення походження електроенергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії.....</b>   | 75 |
| 18. Мотайло М. С., Мороз О. М.<br><b>Переваги від використання СЕС в локальних електричних мережах.....</b>   | 77 |
| 19. Мохоцько А. О., Пазій В. Г.<br><b>Підвищення ефективності фотоелектричних систем за рахунок використання новітніх технологій та матеріалів.....</b>   | 79 |

|  |     |
|--|-----|
| 20. Немикіна О. В., Демченко Б. С., Немикіна О. С.<br><b>Оцінка вироблення електроенергії фотопанелями за умов різних типів кріплення масиву фотопанелей.....</b>  | 81  |
| 21. Оксеніч Р. В., Миргород Д. Г.<br><b>Аналіз використання LiFePO<sub>4</sub> акумуляторів в автономних сонячних електростанціях.....</b>   | 83  |
| 22. Павлов А. О., Мороз О. М., Мірошник О. О., Ганус О. І., Середа А. І.<br><b>Порівняльний аналіз прогнозованої та фактичної генерації СЕС та вплив відхилень на її техніко-економічне обґрунтування.....</b> | 85  |
| 23. Павлюк Д. О., Галько С. В.<br><b>Огляд сучасних когенераційних фотоелектричних технологій.....</b>   | 87  |
| 24. Рамш В. Ю., Потапенко М. В.<br><b>Оцінка ефективності барабанних подрібнювачів-змішувачів біогазових установок.....</b>  | 89  |
| 25. Рябка О. В., Дудніков С. М., Середа А. І., Попадченко С. А.<br><b>Перспективи використання біогазових установок у системах електропостачання споживачів АПК.....</b>                                       | 91  |
| 26. Сафаров Х. М., Мороз О. М.<br><b>Шляхи підвищення енергоефективності процесів сушки зерна на підприємствах АПВ.....</b>  | 93  |
| 27. Сиротюк С. В., Боярчук В. М., Гальчак В. П., Коробка С. В., Станицький Т. О.<br><b>Комп'ютерне моделювання фотоелектричної панелі в середовищі LabVIEW.....</b>  | 95  |
| 28. Сотнік О. В., Мороз О. М.<br><b>Аналіз накопичувачів електричної енергії для сонячних електростанцій агропромислового сектору України.....</b>   | 97  |
| 29. Тоберт М. Ю., Мороз О. М.<br><b>Дослідження впливу розосереджених джерел енергії на локальні електричні системи.....</b>   | 99  |
| 30. Харірі Ф. М., Мороз О. М.<br><b>Можливості геоінформаційних систем для реалізації концепції SMART GRID в розподільних електричних мережах.....</b>   | 101 |
| 31. Шаровкін С. В., Мороз О. М.<br><b>Вимоги до систем автоматизації управління та регулювання роботи біогазової установки.....</b>  | 103 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>СЕКЦІЯ 3. ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА ТА РОБОТОТЕХНІКА</b>   | 105 |
| 1. <i>Бабаш А. В.</i><br><b>Віддалене керування робототехнічним пристроєм ALLCODEFORMULA з використанням розробленого Android додатку.....</b>  | 105 |
| 2. <i>Бондаренко М. О., Лисиченко М. Л.</i><br><b>Зниження енергоспоживання в установках водопостачання житлових мікрорайонів.....</b>  | 107 |
| 3. <i>Борох К. С., Перекрест І. А., Вадурін К. О.</i><br><b>Аналітична модель керування розумною роботизованою платформою.....</b>  | 109 |
| 4. <i>Вовк О. Ю., Квітка С. О.</i><br><b>Ресурсозберігаюче керування асинхронних двигунів із регульованим навантаженням в умовах відхилення живлячої напруги та коливання температури навколишнього середовища.....</b> | 111 |
| 5. <i>Герасименко В. А., Шніка М. І.</i><br><b>Моделювання тягового двигуна постійного струму в Ansys RMPrt.....</b>  | 113 |
| 6. <i>Завалєєв А. І., Вадурін К. О.</i><br><b>Розробка та впровадження автоматизованої системи для моніторингу та аналізу якості повітря на основі станцій Vaisala.....</b>   | 115 |
| 7. <i>Квітка С. О., Вовк О. Ю.</i><br><b>Моделювання процесу пуску асинхронних двигунів під час обмеження швидкості зростання прикладеної напруги.....</b>  | 117 |
| 8. <i>Колесников Д. Т., Тукалов І. О.</i><br><b>Дослідження тахограм електропривода летючих ножиць за критерієм енергозбереження.....</b>   | 119 |
| 9. <i>Кучинський К. А.</i><br><b>Розрахункова оцінка нагріву елементів ротора синхронного генератора за різних умов охолодження.....</b>  | 121 |
| 10. <i>Мардєєва Д. Р., Вадурін К. О., Саньков С. В.</i><br><b>Аналітична модель керування розумним маніпулятором.....</b>   | 123 |
| 11. <i>Міленін Д. М., Лисиченко М. Л.</i><br><b>Схема керування електротехнічним комплексом лазерної обробки інкубаційних яєць.....</b>   | 125 |
| 12. <i>Осадчий С. І., Віхрова Л. Г., Мірошніченко М. С.</i><br><b>Аналіз автоматичної системи стабілізації потоку хлібної маси на вході молотарки зернозбирального комбайну.....</b>                                    | 127 |

|  |     |
|--|-----|
| 13. <i>Осичев О. В., Ткаченко А. О., Єфимович М. Є., Онищенко М. О., Члек Д. М., Даценко С. С.</i><br><b>Сучасний асинхронний електропривод у навчальному процесі, наукових дослідженнях та промисловості.....</b> | 129 |
| 14. <i>Oleksii Semikov</i><br><b>The electric drive with the nonlinearity position controller with the jerk limitation.....</b>  | 131 |
| 15. <i>Сотнік О. В.</i><br><b>Дослідження роботи асинхронних двигунів сільськогосподарського виробництва при відхиленнях якості електропостачання.....</b>   | 133 |
| 16. <i>Синявський О. Ю., Савченко В. В.</i><br><b>Вплив якості електроенергії на приводні характеристики сепараторів молока.....</b>   | 135 |
| 17. <i>Товт Ф. Ф. Сорокін М. С.</i><br><b>Аналіз можливостей машинного навчання для аналізу технічної діагностики електрообладнання.....</b>   | 137 |
| 18. <i>Хандола Ю. М., Гузенко В. В., Бабін Б. Е., Божко Д. В.</i><br><b>Застосування модульних електроприводів для робототехнічних систем.....</b>   | 139 |
| 19. <i>Хандола Ю. М., Дешко М. О., Лисиченко М. Л.</i><br><b>Організація технічного обслуговування і ремонту електроприводів в умовах птахофабрики.....</b>  | 141 |
| 20. <i>Харламов Д. Ю., Вадурін К. О., Перекрест А. Л.</i><br><b>Розробка мобільної підмережі на базі операційної системи Android з функціями керування доступом підключених пристроїв.....</b>                     | 143 |
| <b>СЕКЦІЯ 4. БІОМЕДИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ</b>  |     |
|  | 145 |
| 1. <i>Гарасимчук І. Д., Потапський П. В.</i><br><b>Дослідження системи обробки магнітокардіосигналів для підвищення діагностичності комп'ютерних магнітокардіографічних систем.....</b>                            | 145 |
| 2. <i>Гузенко В. В., Пахомов В. С.</i><br><b>Достовірність та ефективність методів маммографії.....</b>  | 147 |
| 3. <i>Думанський О. В.</i><br><b>Дослідження оптимальних біотропних параметрів інформаційного електромагнітного поля для лікування ендометриту ВРХ.....</b>  | 149 |
| 4. <i>Дьоміна Т. О., Лисиченко М. Л.</i><br><b>Застосування методу представлення знань темпоральними прецедентами під час лікування тварин.....</b>  | 151 |

|   |     |
|---|-----|
| 5. <i>Козак О. В.</i><br><b>Динаміка кавітаційного процесу під час дослідження первинної обробки вовни...</b>   | 153 |
| 6. <i>Комарова О. С., Павлов С. В., Петрушко Ю.А., Петраковський О.</i><br><b>Експериментальне оцінювання однорідності розподілу щільності потужності лазерного випромінювання на виході коротких відрізків багатомодових оптичних волокон.....</b> | 155 |
| 7. <i>Коростельов А. С., Вадурін К. О., Гученко М. І.</i><br><b>Реалізація прототипу серверу біометричної інформаційної системи.....</b>  | 157 |
| 8. <i>Ляшенко Г. А., Токар Є. Ю.</i><br><b>Особливості метрологічного забезпечення вимірювання температури у тваринницьких приміщеннях.....</b>   | 159 |
| 9. <i>Мальцев К. В., Косуліна Н. Г.</i><br><b>Сучасні прилади та апарати ветеринарної клініки.....</b>  | 161 |
| 10. <i>Павлов С. В., Вуйцік Вальдемар, Мамирбаєв Оркен, Голяка Р. Л., Тітова Н. В., Айтказіна Асель</i><br><b>Особливості проєктування теплових сенсорів потоку біомедичного та екологічного призначення.....</b>                                   | 164 |
| 11. <i>Панцир Ю. І., Потапський П. В.</i><br><b>Дослідження алгоритмічно-програмного забезпечення оцінювання психоемоційного стану людини за тета-хвилями електроенцефалографічного сигналу.....</b>  | 166 |
| 12. <i>Потапський П. В., Вусатий М. В.</i><br><b>Комп'ютерне імітаційне моделювання сфігмографічного сигналу для систем діагностики периферійного кровообігу.....</b>   | 168 |
| 13. <i>Пугач О. Ю., Косуліна Н. Г.</i><br><b>Овощесховище як невід'ємний ланцюг вирощування сільськогосподарських культур.....</b>  | 170 |
| 14. <i>Сиротенко Д. М., Косуліна Н. Г.</i><br><b>Від електромеханіки до ультразвука для підвищення якості зберігання сиру.....</b>  | 172 |
| 15. <i>Тарабан Б. І., Косуліна Н. Г.</i><br><b>Установки для фермерських господарств на основі електрофізичних методів обробки сільськогосподарської продукції.....</b>   | 174 |
| 16. <i>Тітова Наталія, Мамирбаєв Оркен, Павлов Володимир, Никифорова Лариса, Айтказіна Асель</i><br><b>Фізичний механізм просторової взаємодії лазерного випромінювання з біологічними об'єктами.....</b>   | 176 |
| 17. <i>Червінський Л. С., Луцак Я. М.</i><br><b>Вимоги до спектрального складу випромінювання в світлокультурі рослин.....</b>  | 178 |

|  |     |
|--|-----|
| 18. <i>Червінський Л. С.</i><br><b>Підвищення ефективності установок оптичного опроміювання<br/>в біотехнічних системах рослинництва.....</b>  | 179 |
| 19. <i>Чорна М. О., Сухін В. В.</i><br><b>Фізична сутність технології знезараження насіння енергією НВЧ-поля.....</b>  | 181 |
| 20. <i>Victor Shigimaga</i><br><b>Study of electrical conductivity of some animal's oocytes.....</b>   | 183 |
| 21. <i>Valerii Shchiepin, Dmitro Trushakov, Oleksandr Kozlovskyi</i><br><b>Physiotherapeutic correction of a person's psycho-emotional state.....</b>  | 185 |
| 22. <i>Щепін В. В., Трушаков Д. В., Козловський О. А.</i><br><b>Фізіотерапевтична корекція психоемоційного стану людини.....</b>   | 187 |
| <b>СЕКЦІЯ 5. ІНТЕГРОВАНІ ПРОЦЕСИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ТЕПЛО-<br/>ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ</b>   |     |
|  | 189 |
| 1. <i>Байдак Ю. В.</i><br><b>Теплова заступна схема побутового холодильника.....</b>   | 189 |
| 2. <i>Бошкова І. Л., Канауз К. О.</i><br><b>Експериментальне дослідження сушіння насіння пшениці в<br/>мікрохвильовому полі.....</b>   | 191 |
| 3. <i>Гратій Т. І., Тітлов О. С., Нікітін Д. М.</i><br><b>Розробка комбінованих абсорбційних холодильних приладів.....</b>   | 193 |
| 4. <i>Гречановський А. П.</i><br><b>Аналіз сучасного стану використання цеолітів для акумуляції<br/>теплової енергії.....</b>  | 195 |
| 5. <i>Жихарева Н. В.</i><br><b>Інноваційні технології обробки повітря в системах кондиціонування.....</b>  | 197 |
| 6. <i>Заруба Г. Г., Хмельнюк М. Г.</i><br><b>Стан та перспективи використання енергоефективних робочих речовин<br/>у теплових насосах: аналіз наукових досліджень та потенціал розвитку.....</b> | 199 |
| 7. <i>Козаченко І. С., Желіба Ю. О., Книш С. В., Желіба Т. О.</i><br><b>Загальна практика розрахунку викидів парникових газів для систем<br/>охолодження HFC.....</b>                            | 201 |
| 8. <i>Козловський О. А., Телюта Р. В., Телюта А. В.</i><br><b>Удосконалення електричної кабельної системи опалення.....</b>  | 203 |
| 9. <i>Кравченко Є. О., Бошкова І. Л.</i><br><b>Нагрівання порошків для технічної кераміки із застосуванням енергії<br/>мікрохвильового поля.....</b>   | 205 |

|  |     |
|--|-----|
| 10. <i>Марченко В. О., Хмельнюк М. Г.</i><br><b>Оптимальний вибір природного холодагенту для систем холодопостачання.....</b>  | 207 |
| 11. <i>Мольський О. С., Потапов В. О.</i><br><b>Підвищення продуктивності та енергоефективності холодильних машин.....</b>   | 209 |
| 12. <i>Мольський С. М.</i><br><b>Екологічні аспекти енергозбереження холодильних систем.....</b>   | 211 |
| 13. <i>Петренко О. В., Білецький Е. В.</i><br><b>Деякі аспекти моделювання систем охолодження та кондиціонування.....</b>  | 213 |
| 14. <i>Плигун Е. В., Хмельнюк М. Г.</i><br><b>Дослідження ефективності роботи парокомпресійного теплового насосу на природних робочих тілах із використанням відновлюваних джерел енергії.....</b>         | 215 |
| 15. <i>Потапов В. О., Бакуменко І. К.</i><br><b>Перспективи технології зберігання плодів у регульованому газовому середовищі.....</b>  | 217 |
| 16. <i>Семенюк Д. П.</i><br><b>Перспективи впровадження теплових насосів в Україні.....</b>  | 219 |
| 17. <i>Семенюк Д. П., Якушенко Є. М.</i><br><b>Застосування електрофізичних методів у холодильній індустрії.....</b>   | 221 |
| 18. <i>Синьгубенко Л. М., Юрченко Ю. Ю., Стуков Д. П.</i><br><b>Дослідження температурних параметрів, які відбуваються під час роботи спірального компресора в установках кондиціонування повітря.....</b> | 223 |
| 19. <i>Смілик М. М., Потапов В. О., Кузнецов І. О.</i><br><b>Експериментальне дослідження зберігання продукту в польових умовах із застосуванням акумуляторів холоду.....</b>                              | 225 |
| 20. <i>Станицький Т., Сиротюк С. В., Коробка С. В.</i><br><b>Перспективи застосування мультизональних холодильних систем VRF.....</b>  | 227 |
| 21. <i>Тітлов О. С., Тітлова О. О., Пономарьов К. М., Дмитренко Д. В.</i><br><b>Розробка енергозберігаючих способів управління абсорбційними холодильними апаратами.....</b>                               | 229 |
| 22. <i>Якушенко Є. М., Семенюк Д. П.</i><br><b>Теплотехнічні прилади вимірювання кріогенних систем охолодження вантажів, що швидко псуються.....</b>   | 231 |
| 23. <i>Ялама В. В., Хмельнюк М. Г.</i><br><b>Концептуальне проєктування та холод.....</b>  | 233 |
| 24. <i>Ялама В. В., Яковлева О. Ю., Трандафілов В. В.</i><br><b>Методологія розробки керованої можливостями та її компоненти.....</b>  | 235 |

25. Яровий І. І., Алі В. П.

**Способи інтенсифікації експериментальних досліджень..... 237**





Наукове електронне видання  
Можна використовувати в локальному та мережному режимах

## **ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ В АПК**

**МАТЕРІАЛИ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

9 листопада 2023 р.

Відповідальні за випуск: Ю.М.Хандола,  
О.О.Мірошник,  
О.В.Петренко,  
О.М. Жданович  
Комп'ютерна верстка: В.Пазій  
В.Гузенко  
М.Чорна  
М.Смілик  
С.Литвиненко

Державний біотехнологічний університет  
Вул. Алчевських, 44, Харків, 61002

Видавець ФОП Бровін О.В.  
Свідоцтво про внесення суб'єкта до Державного реєстру  
видавців та виготовників видавничої продукції серія ДК 3587 від 23.09.09 р.  
Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 14.53. Тир. 100 прим. Зам. 756.

Надруковано з макету замовника ФОП Бровіна І.П.  
61022, м. Харків, вул. Трінклера, 2, корп.1, к.19. Т. (066) 822-71-30

---

---

**СТИЛЬ**®  
**ИЗДАТ**  
ДРУКАРНЯ  
www.stil-izdat.com