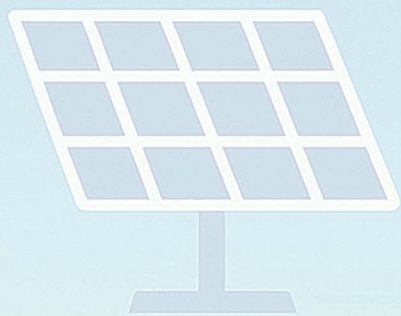


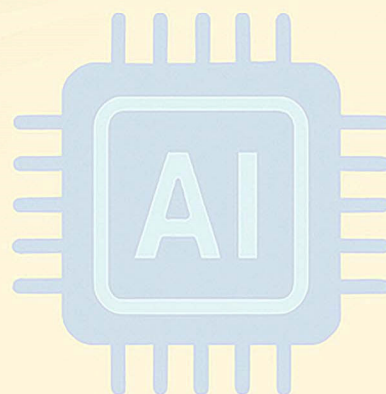


ІННОВАЦІЇ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ



МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
Тези доповідей учасників міжнародної науково-практичної
конференції

19–20 листопада 2025 р., м. Миколаїв, Україна



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ХАРКІВСЬКИЙ
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
ІМЕНІ О.М. БЕКЕТОВА
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМ. АДМІРАЛА
МАКАРОВА
ОКП «МИКОЛАЇВОБТЕПЛОЕНЕРГО»
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. ВОЛОДИМИРА
ДАЛЯ

ІННОВАЦІЇ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ
МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
Тези доповідей учасників міжнародної науково-практичної конференції
19–20 листопада 2025 р., м. Миколаїв, Україна

Миколаїв

2025

Редакційна колегія:

Головний редактор: Кунденко Микола Петрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»:

Заступники головного редактора:

Ставинський Андрій Андрійович - доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки МНАУ;

Садовий Олексій Степанович - кандидат технічних наук, доцент, декан інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету;

Кошкін Дмитро Леонідович - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки МНАУ;

Відповідальний секретар: Мартиненко Володимир Олександрович - кандидат технічних наук, доцент, заступник декана з наукової роботи інженерно-енергетичного факультету МНАУ

I-66 **Інновації в електричній інженерії** : тези доповідей учасників міжнар. наук.-
 практ. конф. (м. Миколаїв, 19–20 листопада 2025 р.). – Миколаїв : МНАУ, 2025.
 – 124 с.

Збірка містить тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Інновації в електричній інженерії» (м. Миколаїв, 19–20 листопада 2025 р.). У матеріалах узагальнено результати теоретичних і прикладних досліджень та інженерних розробок у сферах: інноваційні електроенергетичні системи й мережі (Smart Grid, інтеграція розподіленої генерації, підвищення надійності), відновлювана та автономна енергетика, електричні машини й електропривод, автоматизація та цифрові технології (PLC/SCADA/IoT, цифрові двійники, методи ШІ), енергоефективність, якість електроенергії й електробезпека, а також інженерна освіта, дуальна підготовка та STEM-ініціативи. Видання адресоване науковцям, викладачам, інженерам-практикам, аспірантам і здобувачам.

УДК 621.3:001.895

Видається мовою оригіналу в авторській редакції. Відповідальність за зміст наукової праці несе автор. Редакція може не поділяти думку авторів.

© Миколаївський національний
аграрний університет, 2025

ОРГАНІЗАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ



**МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



**КАФЕДРА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ,
ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ МНАУ**



**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ «ХАРКІВСЬКИЙ
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**



**ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О.М. БЕКЕТОВА**



**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМ. АДМІРАЛА
МАКАРОВА**



**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

ЗМІСТ

1. ІННОВАЦІЙНІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ

Роман Кравченко Трансформація енергетичного сектору України в умовах воєнних та глобальних викликів	8
Волкодав Софія Енергоефективне керування гібридним інвертором в умовах нестабільної електромережі	10
Дякону В'ячеслав Прогностичне моделювання залишкового ресурсу ізоляції силових кабелів із зшитого поліетилену	13

2. ГЕНЕРУЮЧІ АГРЕГАТИ, ВІДНОВЛЮВАНА ТА АВТОНОМНА ЕНЕРГЕТИКА АГРОСЕКТОРУ

Довгай Ілля Розвиток відновлювальної енергетики як чинник реінтеграції тимчасово окупованих територій України	17
Yuming Dong Solar electrical complex for primary grain drying	19
Портной Вячеслав Моделювання системи керування вітрогенератором на базі синхронного генератора з постійними магнітами	22
Варьонов Максим Аналіз енергетичних характеристик двороторної вітроустановки з контр-обертанням	25
Володимир Мартиненко Інтеграція біогазових та біометанових установок в енергосистему України: техніко-економічні аспекти виробництва електроенергії	28
Олексій Садовий Зменшення енерговитрат зрошуваного землеробства шляхом використання сонячних електростанцій	31

3. ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ, ЕЛЕКТРОПРИВОД ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ

Тимошенко Віталій Системи електромагнітного типу з магнітопроводами зі стрічкових секцій для трифазних трансформаторів, реакторів та дроселів	35
Тумаков Максим Дослідження конструктивних особливостей генератора імпульсних струмів для заглибних свердловинних комплексів	37
Лисоганич Олександр Оптимізація електромеханічної системи транспортерів для роздавання кормів	39
Tishchenko Dmytro Construction of the dynamic electrical drive system in the ph-ad system formathematical description of the electro-mechanical system of the belt conveyor	42
Ставинський Андрій Сучасний стан застосування та удосконалення електродвигунів з зовнішнім ротором і аксіальним зазором	45
Віталій Мардзявко Аналіз стану сучасних досліджень перетворення електромагнітних систем з використанням трансформаторів	49
Фученко Сергій Модернізація частотно-регульованого електропривода погрузного насоса FP129/5 у системі охолодження та гідротранспорту гранул поліпропілену	52
Середа Віталій Технічні рішення щодо зниження втрат в магнітопроводах і матеріаломісткості трифазного трансформаторно-реакторного обладнання	55

4. АВТОМАТИЗАЦІЯ, ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ

Ясенко Д.А. Вдосконалення способу генерації дискретної сітки частот радіотехнічних засобів	59
Кунденко О.М. Аналіз оптимізації управління високочастотними перетворювачами для генерації озону	61

Бец Олексій Розробка системи безпроводного керування рухом робота	64
Грибов Станіслав Особливості функціонування систем автоматизованого керування технологічними процесами на елеваторних підприємствах	68
Крючков Ростислав Способи керування світлодіодним освітленням	70
Соколов Юрій Дослідження амплітудно-частотних характеристик змінного електричного кола за допомогою моделювання в multisim	74
Мардзявко Олександр Дослідження параметрів змінного електричного сигналу в простому колі з активним опором за допомогою моделювання в multisim	77
Лариса Вахоніна Вигинні коливання тонкої круглої еластичної включини в необмеженому тілі під дією плоскої гармонійної хвилі	80
Ракитянський Владислав Ієрархічна структурна схема нечіткого логічного висновку для визначення стану асинхронного двигуна	82
Давіденко П. С. Цифрові двійники у холодильних процесах АПК	85
Руденко Андрій Дослідження зміни провідності іонних каналів клітини під дією електромагнітного поля на основі моделей та експериментальних вимірювань	87
Адамчук Владислав Прогностичне моделювання надійності елемента енергетичного обладнання: електричне контактне з'єднання	90
Дмитро Кошкін Застосування глибинних нейронних мереж для прогнозування електричних навантажень у розподілених енергосистемах	93
5. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ	
Касіяді М.С. Модельні дослідження енергетичних характеристик підсилювача активного фільтра	97
Володимир Рябенський Спосіб формування синхроімпульсів для системи керування багатофазним випрямлячем	101
Петухов Дмитро Створення електротехнологічної системи для електроплазмолізу бур'янів	104
Орехівський Іван Дослідження систем енергоефективного освітлення в агропромисловому комплексі	105
Dalakyan Oleksandr Use of electrotechnological installation for bactericidal treatment of elevator silos	109
Sheptytskyi V'iacheslav Development of theoretical installation for the study of electropasmolysis of cereal cultures	112
Червоний Олексій Впровадження екологічно чистих енерготехнологій в контексті кліматичної політики ЄС	114
Сітало Єлизавета Енергоефективні альтернативи систем енергозабезпечення для навчальних закладів	117
Логвиненко Кирил Енергоефективні технології сушіння деревини на основі відновлюваних і низьковуглецевих джерел енергії	120

ВСТУП

Подана збірка містить тези доповідей учасників Міжнародної науково-практичної конференції «Інновації в електричній інженерії», що відбулася 19–20 листопада 2025 р. у м. Миколаїв (Україна).

Організаторами конференції виступили Миколаївський національний аграрний університет (зокрема кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки), а також партнери з провідних закладів вищої освіти й підприємств енергетичної сфери.

Матеріали збірки узагальнюють результати теоретичних і прикладних досліджень та інженерних розробок за ключовими напрямками сучасної електричної інженерії: інноваційні електроенергетичні системи й мережі (зокрема Smart Grid, інтеграція розподіленої генерації та підвищення надійності), відновлювана й автономна енергетика, електричні машини та електропривод, автоматизація й цифрові технології (PLC/SCADA/ІoT, цифрові двійники, методи ІІІ), енергоефективність, якість електроенергії та електробезпека, а також інженерна освіта, дуальна підготовка і STEM-ініціативи.

Видання адресоване науковцям, викладачам, інженерам-практикам, аспірантам і здобувачам, які працюють над актуальними завданнями розвитку електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

Збірка видана мовою оригіналу в авторській редакції; відповідальність за зміст поданих матеріалів несуть автори, а редакція може не поділяти їхніх поглядів.

1. ІННОВАЦІЙНІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ

УДК 330.5:620.91(477)

ТРАНСФОРМАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННИХ ТА ГЛОБАЛЬНИХ ВИКЛИКІВ

Роман Кравченко

здобувач вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніки та електромеханіка

Миколаївський національний аграрний університет
м. Миколаїв, Україна

Анотація: У роботі здійснено узагальнений аналіз сучасного стану енергетичного сектору України та визначено основні напрями його трансформації в умовах воєнних дій, економічних викликів і глобальних тенденцій переходу до “зеленої” енергетики. Висвітлено структурні проблеми енергетичної системи, рівень забезпечення країни паливно-енергетичними ресурсами, наслідки збройної агресії для інфраструктури та перспективи відновлення галузі. Обґрунтовано необхідність переходу до високоефективних технологій енергозбереження, диверсифікації джерел енергії та активного залучення інвестицій у розвиток відновлюваної й атомної енергетики.

Ключові слова: енергетичний сектор, енергетична безпека, енергоефективність, відновлювана енергетика, інвестиції, стійкість, стратегія розвитку.

Енергетичний сектор України виступає базовою складовою національної економіки, забезпечуючи стабільність функціонування усіх галузей виробництва та впливаючи на рівень економічної безпеки держави. До 2022 р. Україна займала значне місце у європейському енергетичному просторі, проте широкомасштабна війна призвела до втрати частини генеруючих потужностей, руйнування інфраструктури та різкого падіння виробництва електроенергії. Унаслідок цього обсяги видобутку природного газу, нафти й вугілля скоротилися, а залежність від імпорту енергії зросла.

Попри кризу, наявний потенціал галузі дозволяє утримувати баланс між виробництвом і споживанням енергії. Проте структура енергоспоживання демонструє зміщення акцентів: частка промисловості скоротилася, натомість зросло споживання домогосподарствами. Це свідчить про загальне зниження економічної активності. Одночасно фіксується суттєве падіння експорту електроенергії та збільшення її імпорту, що вказує на ослаблення енергетичної самодостатності держави [1].

Ключовими проблемами залишаються висока енергоемність виробництва, значна залежність від викопних ресурсів і нестача інвестицій. Енергоефективність української економіки суттєво нижча, ніж у країнах ЄС: на одиницю ВВП Україна витрачає у 2–3 рази більше енергії. Основними

причинами є застаріла технічна база, домінування енергоємних галузей і низький рівень впровадження інновацій. Потенціал енергозбереження оцінюється у 30–45 % нинішнього споживання, що створює значні резерви для економії ресурсів і підвищення ефективності.

Стратегічні орієнтири розвитку енергетичного сектору мають ґрунтуватися на трьох головних засадах:

1. Підвищення енергоефективності через модернізацію виробництва, скорочення втрат і впровадження новітніх технологій енергозбереження.
2. Диверсифікація джерел енергії шляхом розвитку відновлюваної енергетики — сонячної, вітрової, біо- та гідроенергетики, а також нарощування потенціалу атомної генерації.
3. Інвестиційне забезпечення трансформації галузі, що передбачає залучення іноземних та приватних коштів, створення прозорих нормативно-правових умов і впровадження принципів ESG-інвестування.

Перспективним напрямом модернізації електроенергетики є впровадження парогазових установок, які забезпечують високий коефіцієнт корисної дії, знижують собівартість електроенергії та втрати під час її передачі. Поряд із цим зростає роль атомної енергетики, здатної стабілізувати енергобаланс країни. Повернення контролю над Запорізькою АЕС та розбудова нових енергоблоків Хмельницької АЕС розглядаються як ключові кроки відновлення енергетичних потужностей [2].

Згідно з Енергетичною стратегією України до 2050 року, передбачено суттєве нарощування відновлюваної генерації та енергетичних сховищ, однак реалізація цих планів можлива лише за умови активного залучення міжнародних інвестицій і технологічної підтримки. Держава повинна забезпечити стабільність правового середовища, спростити дозвільні процедури та гарантувати безпеку об'єктів енергетичної інфраструктури [3].

Енергетичний сектор України перебуває у фазі глибокої трансформації, зумовленої воєнними руйнуваннями, глобальними екологічними викликами та потребою у відновленні економічної стійкості. Його подальший розвиток має базуватися на системній політиці енергоефективності, диверсифікації джерел постачання та інтеграції інноваційних технологій. Перехід до сталого енергетичного розвитку відкриває можливості для модернізації промисловості, зменшення енергозалежності та підвищення конкурентоспроможності держави на світовому ринку.

Розвиток відновлюваних джерел енергії, збільшення частки атомної генерації та створення умов для притоку інвестицій мають стати фундаментом нової енергетичної моделі України — економічно ефективною, екологічно безпечною та стійкою до зовнішніх загроз.

Список використаних джерел

1. Затонацька Т. Г., Іваницький М. В. Енергетичний сектор України: сучасний стан та подальші перспективи. *Efektivna ekonomika*. 2024. № 4.
2. Chygryn O., Gavrylenko O., Shevchenko K. Smart transformation of the energy industry: basic principles and components. *Herald of economics*. 2023. No. 2. P. 204.

3. Zvarych R., Masna O. Green energy transition in the concept of post-war reconstruction of Ukraine. *Herald of economics*. 2023. No. 3. P. 170.

Abstract: *The paper provides a generalized analysis of the current state of Ukraine's energy sector and identifies the main directions of its transformation in the context of military operations, economic challenges, and global trends in the transition to "green" energy. The structural problems of the energy system, the level of the country's provision of fuel and energy resources, the consequences of armed aggression for infrastructure, and the prospects for the restoration of the industry are highlighted. The need for a transition to highly efficient energy-saving technologies, diversification of energy sources, and active investment in the development of renewable and nuclear energy is substantiated.*

Keywords: *energy sector, energy security, energy efficiency, renewable energy, investments, sustainability, development strategy.*

Науковий керівник:

Садовий О.С.

*Канд. фіз.-мат. наук, доцент
кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки
Миколаївський національний аграрний університет*

УДК 621.31

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНЕ КЕРУВАННЯ ГІБРИДНИМ ІНВЕРТОРОМ В УМОВАХ НЕСТАБІЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ

Волкодав Софія

здобувачка вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетики,
електротехніки та електромеханіки

Харківський національний університет міського господарства імені О. і М.
Бекетова

м. Харків, Україна

Анотація: *У даній роботі розглядались принципи побудови та алгоритми керування гібридним інвертором, здатним стабільно функціонувати при значних коливаннях мережевої напруги. Проведено аналіз впливу розширення діапазону вхідної напруги на ефективність перетворення енергії та надійність роботи системи. Запропоновано адаптивну схему керування, що забезпечує автоматичне перемикавання режимів живлення та оптимізацію енергоспоживання залежно від параметрів мережі. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні автономних і гібридних енергосистем для підвищення їх стійкості та енергоефективності.*

Ключові слова: *гібридні інвертори, коливання напруги, електромережа.*

У зв'язку зі складною енергетичною ситуацією в Україні та частими коливаннями напруги в побутових і промислових мережах актуальним

завданням є розроблення інверторів, здатних забезпечувати стабільне енергоживлення навіть при значних відхиленнях параметрів мережі. Стандартне відхилення напруги, відповідно до [1, 2], становить $230\text{ В} \pm 10\%$, однак у реальних умовах експлуатації напруга може змінюватися в ширшому діапазоні. Метою роботи є створення гібридного інвертора, який здатен функціонувати при коливаннях напруги в межах $230\text{ В} \pm 30\%$, зберігаючи стабільність вихідних параметрів і високу енергоефективність.

Розроблена концепція базується на інтеграції високоефективної DC–DC підсистеми типу buck–boost із силовим інверторним модулем і батарейним блоком, що дає змогу компенсувати як зниження, так і перевищення рівня напруги без втрати якості вихідної синусоїди. Пропонується модульна архітектура, у якій кожен силовий модуль реалізує комбінацію понижувального/підвищувального перетворювача та H-моста. Подібні підходи, як Y-інвертор і каскадні buck–boost рішення, демонструють високу ефективність для широкого діапазону вхідних напруг [3, 4].

Основним елементом схеми є високочастотний двонаправлений DC–DC конвертор, який працює між шиною батареї та DC-шиною інвертора. При виході напруги мережі за межі $\pm 10\%$ він автоматично активується, забезпечуючи підтримання постійного рівня живлення інвертора. Сучасні двонаправлені топології з високим коефіцієнтом підсилення (High-Gain Bi-Directional Converters) дозволяють забезпечити роботу при напрузі вхідного сигналу від 120 до 320 В [5, 6].

Алгоритм керування включає адаптивний регулятор напруги та струму, який поєднує grid-following і grid-forming режими. Завдяки прогнозним фільтрам і логіці автоматичного перемикання між режимами інвертор стабільно працює навіть при різких коливаннях або зникненні напруги в мережі. Система керування розроблена з урахуванням вимог стандартів IEC 62109, IEC 62116 та EN 50160 [1, 7, 8].

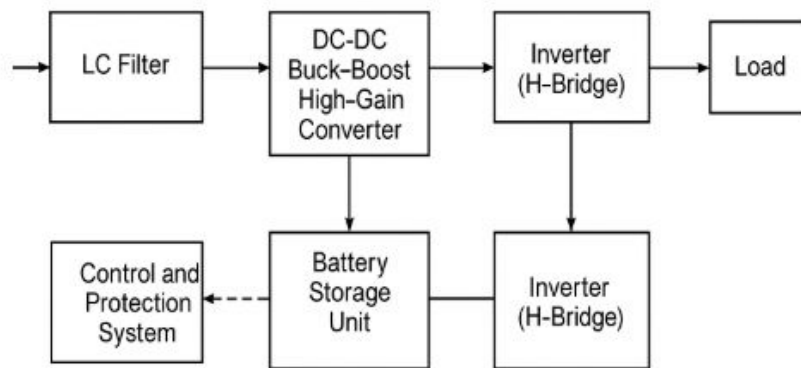


Рис. 1. – Запропонована архітектура гібридного інвертора

Таблиця 1. - Порівняльна таблиця: традиційний інвертор vs запропонована гібридна архітектура

Характеристика	Традиційний інвертор	Запропонована гібридна архітектура
Діапазон робочої вхідної напруги	Зазвичай $230\text{ В} \pm 10\%$ (207–253 В).	Розширений: 160–300 В ($230\text{ В} \pm 30\%$).
Стабілізація DC-шини	Переважно відсутня, залежить від мережевої напруги.	Є стабілізація за рахунок високоефективного двонаправленого DC–DC buck–boost перетворювача.

Можливість підвищення/пониження напруги	Лише частково (через активний PFC або AC–DC), слабка компенсація провалів.	Повноцінний режим Buck–Boost: стабільна робота навіть при глибоких просіданнях та перенапругах.
Робота при зникненні напруги мережі	Може вимикатися або переходити в аварійний режим.	Автономний режим (grid-forming) забезпечує повноцінне живлення від батареї.
Наявність батарейного блоку	У більшості класичних інверторів відсутній або використовується тільки в UPS-режимі.	Інтегрований Energy Storage Unit з двонаправленим DC–DC.
Принцип формування вихідної напруги	Робота тільки в режимі grid-following.	Два режими: grid-following і grid-forming з автоматичним перемиканням.
Стійкість до коливань мережі	Низька або середня — залежить від якості мережі.	Висока — компенсація відхилень у широкому діапазоні напруг.
Енергоефективність	85–92 % для звичайних рішень.	>94 % завдяки оптимізованому перетворювачу високої частоти.
Швидкодія реакції на зміни напруги	Обмежена, може виникати просідання виходу.	Швидка реакція за рахунок прогнозних фільтрів і адаптивних алгоритмів керування.
Топологія	Простий AC–DC + інвертор (H-bridge).	Модульна архітектура: AC–DC → DC–DC Buck–Boost → DC-шина → інвертор + батарея.
Стандарти безпеки та мережевої взаємодії	Базова відповідність EN/IEC.	Підтримка IEC 62109, IEC 62116, EN 50160 та алгоритмів антиострівного режиму.
Якість синусоїди (THD)	Середня, залежить від фільтра.	Покращена, THD < 3 % завдяки оптимізованому LC-фільтру та стабільній DC-шині.
Надійність при нестабільній мережі	Може вимикатися або працювати нестабільно.	Забезпечує безперервне живлення навіть при глибоких провалах і перенапругах.

Запропонована архітектура гібридного інвертора забезпечує розширений діапазон вхідних напруг (160–300 В) завдяки використанню високоефективного двонаправленого DC–DC buck–boost перетворювача, що стабілізує DC-шину та підвищує енергоефективність системи. Інтеграція батарейного блоку та реалізація комбінованих режимів grid-following і grid-forming забезпечують надійну роботу в умовах значних коливань або зникнення мережевої напруги. У порівнянні з традиційними інверторами запропоноване рішення демонструє вищу стійкість, ширший функціональний діапазон і відповідність сучасним стандартам електробезпеки, що підтверджує його доцільність для застосування в нестабільних електроенергетичних середовищах.

Список використаних джерел

1. IEC 60038:2019. Standard Voltages. — International Electrotechnical Commission.
2. EN 50160:2010. Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems. — CENELEC.
3. Antivachis M., Bortis D. Three-phase buck-boost Y-inverter with wide DC input voltage range. — APEC Conference Proceedings, 2023.
4. Wu W., Ji J., Blaabjerg F. Aalborg Inverter: A buck–boost type grid-connected inverter topology. — IEEE Transactions on Power Electronics, 2021.

5. Gholami Z., et al. Bidirectional wide range and high voltage gain buck–boost converter. — IET Power Electronics, 2024.
6. Divya R., Kannan P. High Gain Non-Isolated Bidirectional Converter for Renewable Integration. — Renewable Energy Journal, 2022.
7. IEC 62109:2016. Safety of power converters for use in photovoltaic power systems.
8. Дудик А. М., Гуменюк О. В. Магнітопроводи трансформаторів зі стрічкової сталі: технологічні особливості та ефективність. — Електротехніка і електромеханіка, № 4, 2021. — С. 22–27.
9. Comparison of Active Power Losses of Single-Phase Electromagnetic Static Devices by Radial Electromagnetic System / O. Sadovoy et al. 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 20–23 October 2022. 2022. URL: <https://doi.org/10.1109/mees58014.2022.10005760>

Abstract. *This paper examines the design principles and control algorithms of a hybrid inverter capable of operating stably under significant fluctuations in grid voltage. The influence of extending the input voltage range on energy conversion efficiency and system reliability was analyzed. An adaptive control scheme is proposed that enables automatic switching between power supply modes and optimizes energy consumption depending on grid parameters. The obtained results can be applied in the design of autonomous and hybrid energy systems to improve their stability and energy efficiency.*

Keywords: *Hybrid inverters, voltage fluctuations, power grid.*

Науковий керівник:

Костенко І.О.

*канд., техн. наук, доцент кафедри альтернативної електроенергетики
та електротехніки*

*Харківський національний університет міського господарства імені О. М.
Бекетова, Харків.*

УДК 621.315.2.016.2:621.315.616.9

ПРОГНОСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ІЗОЛЯЦІЇ СИЛОВИХ КАБЕЛІВ ІЗ ЗШИТОГО ПОЛІЕТИЛЕНУ

Дякону В'ячеслав

здобувач вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніки та електромеханіка

Миколаївський національний аграрний університет
м. Миколаїв, Україна

Анотація: *У роботі розглянуто питання підвищення надійності кабельних ліній електропередачі середньої напруги шляхом прогнозування залишкового*

ресурсу ізоляції кабелів із зшитого поліетилену (СПЕ, XLPE). На основі аналітичного огляду сучасних конструкцій силових кабелів, матеріалів та фізичних процесів їх старіння запропоновано підхід до математичного моделювання деградації ізоляційного шару, який дозволяє визначати строк безвідмовної роботи кабельної лінії в умовах тривалої експлуатації. Запропонована методика базується на використанні законів термоактиваційних процесів (Арреніуса) та статистичних залежностей імовірності руйнування матеріалу (Вейбулла), що дозволяє кількісно оцінити швидкість старіння ізоляції під впливом електричного поля, температури та часткових розрядів.

Ключові слова: силовий кабель, зшитий поліетилен, старіння ізоляції, часткові розряди, математичне моделювання, залишковий ресурс, Smart Grid.

Сучасні енергосистеми характеризуються підвищеними вимогами до надійності, довговічності та ресурсоощадності електричних мереж. Переважна частина відмов у кабельних лініях пов'язана зі старінням ізоляції, що призводить до коротких замикань, втрат енергії та значних фінансових витрат на аварійні ремонти. З огляду на це, надзвичайно актуальним є створення дієвих моделей, здатних прогнозувати залишковий ресурс ізоляції без необхідності її руйнування.

Вибір кабелів із зшитим поліетиленом (СПЕ) обґрунтовано їх високими електричними, механічними та термостійкими властивостями, які суттєво перевищують параметри кабелів з паперово-просоченою ізоляцією. Порівняльний аналіз показує, що СПЕ-кабелі мають у 1,4-1,5 рази більшу допустиму токову навантажувальну здатність, у 4-5 разів меншу пошкоджуваність і триваліший експлуатаційний ресурс (до 40 років). Водночас навіть такий матеріал зазнає деградації під впливом теплових, електричних і механічних навантажень [1].

Процес старіння ізоляції зумовлений взаємодією кількох факторів - підвищеної температури провідника, електричного поля високої напруги, вологості, механічних деформацій і радіаційного впливу. На мікрорівні це проявляється у виникненні часткових розрядів (ЧР) у порах і дефектах полімеру. Такі розряди поступово формують мікротріщини, дендрити та канали пробою, які з часом призводять до втрати діелектричної міцності.

Закон Арреніуса описує швидкість хімічних реакцій деструкції матеріалу залежно від температури:

$$K_t = K_0 e^{-\frac{W_a}{kT}}$$

де W_a - енергія активації, k - стала Больцмана, T - температура (К). Цей підхід дозволяє кількісно визначати швидкість старіння матеріалу та оцінювати його залишковий ресурс при змінних теплових навантаженнях.

Додатково використано розподіл Вейбулла для статистичної оцінки ймовірності пробою ізоляції:

$$f(x) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}$$

де k - коефіцієнт форми, λ - масштабний параметр.

На основі моделювання визначено, що при руйнуванні близько 35 % матеріалу ймовірність пробою становить менше 1 %, однак після перевищення 70–75 % деградації вона зростає експоненціально. Це дозволяє формувати прогнозований інтервал безпечної експлуатації кабелю [2].

На основі аналізу та математичного опису процесів старіння створено модель оцінювання залишкового ресурсу, що враховує сумарний вплив електричних і теплових факторів. Модель дозволяє визначити кількість неушкоджених молекулярних зв'язків у полімерній структурі з урахуванням зміни напруженості поля та температури в часі [3]. Розрахунки показали, що: при робочій температурі до 90 °С деградація ізоляції є повільною і рівномірною; при перевищенні 110 °С швидкість старіння зростає в 2–3 рази; часткові розряди, навіть незначної інтенсивності, прискорюють руйнування в геометричній прогресії. Запропонована методика дозволяє проводити екстраполяцію поточного стану ізоляції на прогнозований період експлуатації, що є основою для запровадження системи превентивного технічного обслуговування.

Розроблена модель може бути адаптована для створення пристроїв моніторингу технічного стану кабельних мереж. Вона може інтегруватися в автоматизовані системи диспетчерського управління (SCADA) та платформи Smart Grid, забезпечуючи контроль за фактичним станом ізоляції в режимі реального часу [4].

Отримані результати мають практичне значення для енергетичних підприємств і виробників кабельної продукції. Реалізація моделі дозволить: зменшити кількість аварійних відключень та економічні втрати; оптимізувати графіки технічного обслуговування; продовжити термін служби кабельних мереж без зниження надійності. Особливо перспективним є використання моделі у системах енергопостачання агропромислових підприємств, де стабільність електроживлення визначає ефективність виробничих процесів.

Список використаних джерел

1. A review of aging models for electrical insulation in power cables / M. Choudhary et al. *Energies*. 2022. Vol. 15, no. 9. P. 3408.
2. Estimation of remaining insulation lifetime of aged XLPE cables with step-stress method based on physical-driven model / Y. Shang et al. *Energies*. 2025. Vol. 18, no. 12. P. 3179.
3. Improving the main indicators of transformers with twisted one-piece magnetic cores by changing the technology of circular winding turns formation / O. A. Avdieieva et al. *Electrical engineering & electromechanics*. 2022. No. 3. P. 3–7.
4. Thermal aging properties of 500 kv AC and DC XLPE cable insulation materials / L. Zhang et al. *Polymers*. 2022. Vol. 14, no. 24. P. 5400.

Abstract: *The paper considers the issue of improving the reliability of medium-voltage cable power lines by predicting the remaining service life of cross-linked polyethylene (XLPE) cable insulation. Based on an analytical review of modern power cable designs, materials, and physical processes of their aging, an approach to mathematical modeling of insulation layer degradation is proposed, which allows determining the failure-free operation period of a cable line under long-term operation*

conditions. The proposed methodology is based on the use of the laws of thermoactivation processes (Arrhenius) and statistical dependencies of the probability of material destruction (Weibull), which allows for a quantitative assessment of the rate of insulation aging under the influence of an electric field, temperature, and partial discharges.

Keywords: *power cable, cross-linked polyethylene, insulation aging, partial discharges, mathematical modeling, residual life, Smart Grid.*

Науковий керівник:

Мардзявко В.А.

асистент

кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Миколаївський національний аграрний університет

2. ГЕНЕРУЮЧІ АГРЕГАТИ, ВІДНОВЛЮВАНА ТА АВТОНОМНА ЕНЕРГЕТИКА АГРОСЕКТОРУ

УДК 346.7

РОЗВИТОК ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ЯК ЧИННИК РЕІНТЕГРАЦІЇ ТИМЧАСОВО ОКУПОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ

Довгай Ілля

здобувач вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніки та електромеханіка

Миколаївський національний аграрний університет
м. Миколаїв, Україна

Анотація: Розглянуто правові, економічні та стратегічні аспекти розвитку відновлювальної енергетики України в контексті реінтеграції тимчасово окупованих територій. Підкреслено, що альтернативна енергетика здатна стати рушійною силою відбудови та економічного відновлення післявоєнних регіонів. Проаналізовано чинне законодавство у сфері відновлюваних джерел енергії, окреслено його еволюцію та сучасні проблеми реалізації. Визначено напрями правового регулювання, що сприятимуть ефективній інтеграції альтернативних джерел енергії до об'єднаної енергосистеми України та виконанню міжнародних зобов'язань щодо декарбонізації економіки.

Ключові слова: відновлювальна енергетика, альтернативні джерела енергії, правове регулювання, реінтеграція, тимчасово окуповані території, енергетична стратегія.

В умовах повномасштабної війни питання енергетичної безпеки та незалежності України набуло особливої актуальності. Руйнування об'єктів енергетичної інфраструктури на Півдні та Сході держави актуалізувало потребу у створенні стійкої, децентралізованої та екологічно безпечної енергетичної системи. Одним із пріоритетних напрямів її модернізації є розвиток відновлювальної енергетики, зокрема сонячної та вітрової, які мають значний потенціал у цих регіонах.

До початку війни саме південні області та Донбас вирізнялися найвищими показниками виробництва альтернативної енергії. Тут діяла велика кількість сонячних і вітрових електростанцій, які після звільнення можуть бути швидко інтегровані до єдиної енергетичної системи. Водночас значна частина таких об'єктів зазнала руйнувань, тому актуальним завданням державної політики стає не лише відновлення втрачених потужностей, а й створення нових енергетичних комплексів із застосуванням сучасних технологій.

Аналіз наукових досліджень засвідчує, що українське законодавство у сфері відновлювальної енергетики активно розвивається. Зокрема, закон «Про

енергозбереження» (1994 р.) уперше визначив поняття нетрадиційних джерел енергії, а закон «Про альтернативні джерела енергії» (2003 р.) запровадив терміни «альтернативні» та «відновлювальні» джерела, чітко розмежувавши їх. Подальші зміни спрямовані на формування ринкових механізмів стимулювання виробництва «чистої» енергії, серед яких – система «зеленого тарифу» та майбутні енергетичні аукціони [1].

Дослідники, зокрема І. Дороніна та Х. Григор'єва, відзначають, що «зелений тариф» ефективний лише на початковому етапі розвитку галузі. У подальшому акценти мають зміщуватися на підтримку приватних споживачів і малих господарств, які можуть інвестувати у власні сонячні станції. Таким чином, відновлювальна енергетика стає не лише елементом енергетичної безпеки, а й інструментом економічного зростання на рівні громад.

Водночас в Україні існує низка системних проблем: відсутність практичних механізмів реалізації законодавчих норм, недосконалість системи підключення нових об'єктів до енергомереж, а також слабка інтеграція альтернативних джерел у загальну енергетичну систему. Ці виклики особливо відчутні у контексті реінтеграції деокупованих територій, де значна частина інфраструктури зруйнована [2].

Вирішення зазначених проблем потребує внесення змін до державних програм відбудови та розвитку, які повинні містити правові положення про будівництво об'єктів відновлювальної енергетики. Це сприятиме виконанню Україною зобов'язань перед Європейським Союзом та Енергетичним Співтовариством у сфері декарбонізації. Водночас доцільно передбачити податкові пільги для бізнесу та приватних домогосподарств, що інвестуватимуть у цей сектор, зокрема на територіях Донбасу, Херсонщини та Запорізької області.

Суттєву роль у правовому забезпеченні розвитку галузі відіграють стратегічні документи держави. Енергетична стратегія України до 2035 року визначає, що відновлювальні джерела мають покривати щонайменше 25% потреб енергосистеми. Водночас у Стратегії енергетичної безпеки (2021 р.) наголошено на проблемі низької гнучкості енергосистеми, що ускладнює балансування ринку при зростанні частки «зеленої» енергії. Отже, подальший розвиток цієї сфери потребує модернізації інфраструктури та впровадження господарсько-правових стимулів, зокрема грантів і пільгових кредитів для інвесторів.

Окремої уваги заслуговує питання земельного законодавства, адже будівництво об'єктів альтернативної енергетики неможливе без визначення придатних ділянок. Для уникнення конфліктів необхідно формувати експертні комісії, що здійснюватимуть екологічну оцінку територій, та розробляти місцеві програми сталого енергетичного розвитку. Ефективна інформаційна політика має популяризувати переваги «чистої» енергії серед населення, стимулюючи участь громад у спільних енергетичних проєктах [3].

Проведений аналіз доводить, що розвиток відновлювальної енергетики є одним із ключових чинників успішної реінтеграції тимчасово окупованих територій України. Правова база у цій сфері поступово адаптується до європейських стандартів, однак потребує конкретизації механізмів реалізації та системного оновлення.

Список використаних джерел

1. Ярош І. С., Серебрякова Ю. О. Розвиток відновлювальної енергетики в контексті реінтеграції тимчасово окупованих територій. *Дніпровський науковий часопис публічного управління, психології, права*. 2023. № 2. С. 147–151.
2. Petlenko Y. Financing green energy for enhancing energy security in ukraine. *Financial and credit activity problems of theory and practice*. 2024. Vol. 2, no. 55. P. 161–179.
3. Renewable energy opportunities in Ukraine in the context of blackouts / E. Shahini et al. *International journal of environmental studies*. 2024. P. 1–9.

Abstract: *The legal, economic and strategic aspects of the development of renewable energy in Ukraine in the context of the reintegration of temporarily occupied territories are considered. It is emphasized that alternative energy can become a driving force for the reconstruction and economic recovery of post-war regions. The current legislation in the field of renewable energy sources is analyzed, its evolution and current implementation problems are outlined. The directions of legal regulation are identified that will contribute to the effective integration of alternative energy sources into the unified energy system of Ukraine and the fulfillment of international obligations regarding the decarbonization of the economy.*

Keywords: *renewable energy, alternative energy sources, legal regulation, reintegration, temporarily occupied territories, energy strategy.*

Науковий керівник:

Садовий О.С.

*Канд. фіз.-мат.. наук, доцент
кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки
Миколаївський національний аграрний університет*

UDC 620.91

SOLAR ELECTRICAL COMPLEX FOR PRIMARY GRAIN DRYING

Yuming Dong

postgraduate student of the Department of Thermal Engineering and Energy Efficient Technologies,
specialty G4 – thermal power engineering
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute".
Kharkiv, Ukraine

Annotation: *The work investigates the design of a solar drying plant, which will reduce energy costs, and the effectiveness of using a solar drying plant as an additional unit installed in the field for primary grain processing.*

Keywords: *renewable energy sources, solar energy potential, solar dryers, energy conservation*

The problem of inefficient energy consumption is always one of the top priorities and can be solved by using solar energy utilization technologies. Dryers with direct or indirect heating heat generators, operating on diesel fuel or natural gas, have become widely used. Energy costs for post-harvest drying of cereals can reach 30% of all production costs [1].

The cost of natural gas, diesel fuel, and electricity is volatile and prone to rising prices, and economic and political factors negatively affect the price of such fuels, so solar energy is a relatively cheap option that will always be available.

As the world faces climate change challenges, solar energy is becoming an important ally in sustainable farming practices. Integrating solar energy into agriculture not only reduces dependence on traditional energy sources, but also allows agricultural enterprises to become more self-sufficient and energy-independent.

Currently, modern grain drying methods, through the introduction of automatic means and product drying systems and the use of progressive modes, provide high productivity of drying equipment and effective product quality indicators. However, existing primary product processing systems include energy-intensive technological processes.

Renewable energy sources allow replacing energy fuels in thermal processes[2]. The most promising source may be solar energy. Cultivated areas have a much greater potential for solar energy, with an average duration of exposure to the sun of 2,000 hours.

The proposed work considers the feasibility of using a solar drying plant as an additional unit installed in the field for primary grain processing. This combination of equipment will avoid the cost of energy fuel, which makes the solar drying plant economically advantageous compared to a number of plants operating on diesel fuel, natural gas, liquefied gas, where fuel costs account for about 20% of the total costs.

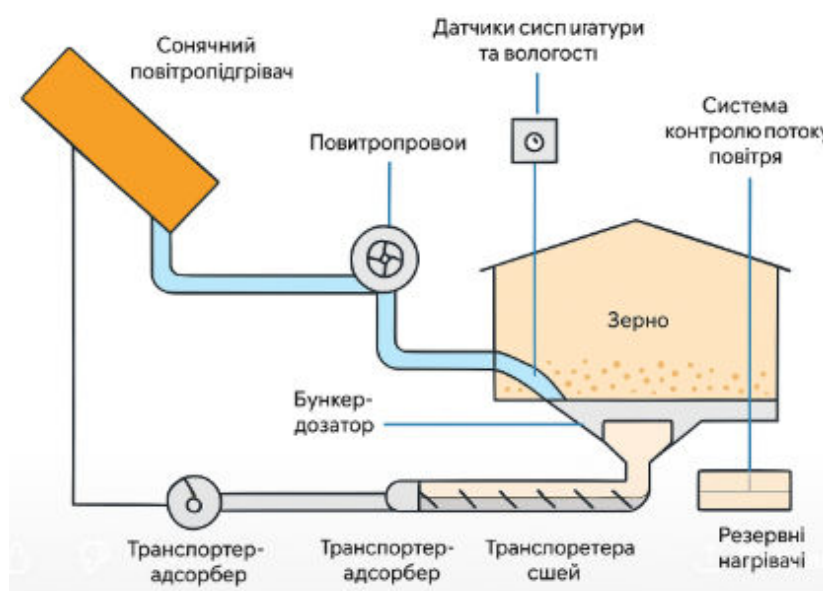


Fig. 1. – Imagetechnical components of a solar dryer

The operation of the installation on solar energy makes it environmentally friendly for the environment. It is quite reliable and practically does not require maintenance compared to existing drying units, in which maintenance costs reach 11%

of the total. The greatest effect in this unit is a simplified process that does not take much time to prepare grain for long-term storage, this allows the transfer of grain from the field to a long-term storage warehouse with minimal losses, significantly reducing grain losses during the harvest period. At the same time, the quality of the grain increases significantly, which leads to an increase in the price of this type of product. Combined systems based on solar heating blocks allow to increase the energy efficiency of the drying process by 1.2–1.3 times. The solar dryer under consideration is a complex of devices, which includes: a hopper-doser, a conveyor-adsorber, a solar air heater. Photoelectric converters can be used to power the fan and conveyor drive.

Table 1. – Functionalitytechnical components of a solar dryer

Component / Parameter	Description / Function	Additional Features / Notes
Air ducts	Supply clean air from the solar air heater to the dryer	Can be insulated to reduce heat loss; provides even air distribution
Temperature and humidity sensors	Measure air temperature and grain moisture level	Provides automatic adjustment of drying mode; allows maintaining optimal conditions for different crops
Airflow control system	Regulates the speed of air circulation through the grain	Possibility to increase or decrease the drying speed depending on the type of grain and moisture level
Solar air heater	Heats the air using solar energy	Can operate in parallel with backup energy sources (gas or electric heaters)
Backup heaters	Gas or electric heaters	Used in case of insufficient solar insolation; ensure process stability
Hopper-doser	Uniform grain feeding into the dryer	Provides a constant flow of grain for efficient drying
Transporter-adsorber	Moves grain and removes moist air	Ensures a continuous drying process and prevents moisture condensation
Adjusting the temperature and drying speed	Automatic or manual parameter setting	Allows you to adapt the mode to different grain crops (wheat, corn, barley, etc.)
Photoelectric converters	Provide power for the fan and conveyor	Use solar energy for autonomous operation of the installation

The solar dryer works in the following way. Clean air is sucked in by a fan at a height of approximately 2 m and fed into an air solar panel, where it is heated by solar radiation to a temperature of 50-55 ° C, at such a temperature the grain will not lose its properties. Then the heated air passes into the dryer, where, flowing through the grates, it circulates in the upper part of the dryer, taking moisture from the grain and preventing it from condensing due to secondary heating from solar radiation and a tubular coil. The air saturated with moisture is removed from an opening located near the dosing hopper.

The work considers the design and operation of a solar electrotechnical complex for primary grain drying. The proposed solar dryer allows to significantly reduce energy costs, increase the energy efficiency of the process and ensure the environmental safety of production. Installation of the unit in field conditions contributes to the rapid preparation of grain for long-term storage with minimal losses and an increase in its quality. The use of solar energy in combination with backup gas

or electric heaters makes the drying complex reliable and autonomous. The proposed complex is a promising solution for increasing energy independence and economic efficiency of agricultural enterprises.

List of sources used

1. Технологія сушіння зернових культур та олійного насіння. / Бандура, В., Фіалковська, Л., Пахомська, О. (2023). // *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*, 12(2). <https://doi.org/10.31388/sbtsatu.v12i2.323>.

2. Комбіновані сонячно-електричні системи теплозабезпечення / М. П. Кунденко, В. В. Старіков, О. Ю. Єгорова, Т. М. Пугачова, О. В. Кошельнік, Д. Ю. Білоус // *Інтегровані технології та енергозбереження*. – 2024. – № 4. – С. 13-21.

Анотація: У роботі проведені дослідження конструкції сонячної сушильної установки, яка дозволить знизити витрати на енергетичне паливо, та ефективність застосування сонячної сушильної установки як додатковий агрегат, що встановлюється в польових умовах для первинної обробки зерна

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, сонячний потенціал енергії, сонячні сушарки, енергозбереження

Науковий керівник:

Кунденко М.П.

д.т.н., професор

завідувач кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»

УДК 621.548:62-50:004.942

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРОМ НА БАЗІ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ

Портной Вячеслав

здобувач вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніки та електромеханіка

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

Анотація: Наведено результати моделювання та аналізу системи керування вітроенергетичною установкою на базі синхронного генератора з постійними магнітами у середовищі MATLAB/Simulink. Представлено аеродинамічну модель турбіни, електромеханічну модель PMSG, силову електроніку та контури керування струмами з використанням ПІ-регуляторів і спостерігача крутного моменту. Для дослідження застосовано параметри: радіус ротора $R=38$ м, густина повітря $\rho=1,205-1,22$ кг/м³, максимальний коефіцієнт потужності $C_{p\ max}=0,4421$, номінальна швидкість вітру $V_{rate}=11,8$ м/с; для генератора - номінальна потужність 2 МВт, номінальна частота

обертання $\omega_{r_rate}=2,18$ рад/с, напруга 4 кВ, номер активної пари полюсів $p=11$, потокозчеплення $\lambda=136$ Вб, індуктивності $L_d=0,334$ Гн і $L_q=0,217$ Гн, опір статора $R_s=0,08$ Ом, коефіцієнт тертя $B=0,01$. Імітаційні дослідження підтвердили досягнення генератором граничної потужності 2 МВт у ділянці вище номінальної швидкості; кут атаки зменшується до 0° при $V \rightarrow 11,8$ м/с.

Ключові слова: вітроенергетична установка, PMSG, MATLAB/Simulink, ПІ-регулятор, спостерігач крутного моменту, кут атаки, коефіцієнт потужності.

Зростання частки вітроенергетики у світовому енергобалансі супроводжується підвищенням вимог до якості моделювання та керування генераторними агрегатами. У магістерській роботі виконано повний цикл дослідження системи керування вітрогенератором: від постановки задачі та огляду варіантів керування (фіксована/змінна швидкість і кут атаки) — до побудови інтегрованої моделі в MATLAB/Simulink і аналізу імітаційних результатів. У контексті ринку відзначено, що у 2020 році глобальний приріст вітрових потужностей перевищив 90 ГВт; при цьому Азійсько-Тихоокеанський регіон зберіг лідерство, а частка окремих країн перевищує 70% сукупного обсягу нових установок. Ця галузева довідка використана як мотиваційна, але подальший акцент зроблено на технічному моделюванні.

Метою є дослідження системи керування вітрогенератором з PMSG і виконання імітацій у MATLAB/Simulink з урахуванням аеродинаміки, електромеханіки та контурів керування. Об'єкт - вітротурбіна зі змінною швидкістю та регулюванням кута атаки, електромеханічно з'єднана з PMSG і силовим перетворювачем; предмет - алгоритми ПІ-керування струмами і спостерігач крутного моменту.

Потужність повітряного потоку, що перетворюється турбіною, описано співвідношенням

$$P_m = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V^3 C_p(\lambda, \beta)$$

де λ - відношення швидкостей (tip-speed ratio), β — кут атаки лопатей. У роботі прийнято $R=38$ м, $\rho=1,205-1,22$ кг/м³, $C_{p_max}=0,4421$, номінальну швидкість вітру $V_{rate}=11,8$ м/с. Це дозволило сформувані залежності вихідної потужності та оптимального кута атаки для різних ділянок вітрових швидкостей, включно з переходом до обмеження потужності у надномінальних режимах.

Для генератора наведено: $P_{rated}=2$ МВт, $U_{rated}=4$ кВ, $\omega_{r_rate}=2,18$ рад/с, $p=11$, $\lambda=136$ Вб, $L_d=0,334$ Гн, $L_q=0,217$ Гн, $R_s=0,08$ Ом, $B=0,01$. У моделі застосовано канонічне представлення в (d)–(q) осях для розв'язання задач регулювання струмів статора та формування моменту.

Контур регулювання струмів реалізовано на основі ПІ-регуляторів, що формують задання інвертору з урахуванням розв'язання задачі декуплінгу в (d)–(q) каналах. Для оцінювання аеродинамічного крутного моменту застосовано спостерігач; спостережувана величина використовується у зворотному зв'язку для уточнення керувальних дій. Модель інтегровано в середовищі MATLAB/Simulink, де організовано послідовність підсистем «вітротурбіна - генератор — перетворювач — контролери — спостерігач».

У ході моделювання відтворено перехідні процеси за зміни швидкості вітру в околі та вище $V_{rate}=11,8$ м/с. Показано, що за наближення до номінальної швидкості кут атаки зменшується до 0° , а електромеханічна потужність зростає до граничного значення 2 МВт; у ділянці вище номінальної швидкості потужність утримується на рівні 2 МВт згідно з обмеженням. Спостерігач крутного моменту працює коректно у надномінальній ділянці, забезпечуючи адекватну оцінку моменту для формування керувальних впливів; водночас за нижчих швидкостей спостерігається уповільнення відгуку, що

Побудована в MATLAB/Simulink інтегрована модель вітрогенератора з PMSG і контурами ПІ-регулювання струмів та спостерігачем крутного моменту демонструє очікувану поведінку у номінальному та надномінальному діапазонах швидкостей: досягнення граничної потужності 2 МВт і нульового кута атаки при $V \rightarrow 11,8$ м/с, а також коректну роботу спостерігача у швидкісній ділянці вище номінальної. Для підвищення швидкодії та робастності системи на ділянці нижчих швидкостей доцільні подальші експерименти з налаштуваннями регуляторів і спостерігача, а також нормалізація параметрів і позначень в усіх розділах.

Список використаних джерел

1. Control approaches of power electronic converter interfacing grid-tied PMSG-VSWT system: a comprehensive review / H. Shutari et al. *Heliyon*. 2024. P. e32032.
2. Мардзявко В., Руденко А., Чурило Р. Генеруючі агрегати і станції: конспект лекції. Миколаїв, 2024. 60 с.
3. A review on popular control applications in wind energy conversion system based on permanent magnet generator PMSG / B. Majout et al. *Energies*. 2022.
4. Torque control for pmsg-based wind-power system using stationary abc-reference frame / I. D. L. da Costa et al. *Energies*. 2022. Vol. 15, no. 21. P. 8060.
5. Calculation of Optimal Geometric Parameters Electrical Apparatus for Controlling the Irrigation System / O. Sadovoy et al. 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 27–30 September 2023. 2023. URL: <https://doi.org/10.1109/mees61502.2023.10402456>

Abstract: *The results of modeling and analysis of a wind power plant control system based on a synchronous generator with permanent magnets in the MATLAB/Simulink environment are presented. An aerodynamic model of the turbine, an electromechanical model of the PMSG, power electronics, and current control loops using PI controllers and a torque observer are presented. The following parameters were used for the study: rotor radius $R=38$ m, air density $\rho=1.205-1.22$ kg/m³, maximum power coefficient $C_p \max=0.4421$, nominal wind speed $V_{rate}=11.8$ m/s; for the generator - rated power 2 MW, rated rotation frequency $\omega_{r_rate}=2.18$ rad/s, voltage 4 kV, number of active pole pairs $p=11$, flux linkage $\lambda=136$ Vb, inductances $L_d=0.334$ H and $L_q=0.217$ H, stator resistance $R_s=0.08$ Ohm, friction coefficient $B=0.01$. Simulation studies confirmed that the generator reached a maximum power of 2 MW in the range above the rated speed; the angle of attack decreases to 0° at $V \rightarrow 11.8$ m/s.*

Keywords: *wind power plant, PMSG, MATLAB/Simulink, PI controller, torque observer, angle of attack, power factor.*

Науковий керівник:

Мартиненко В.О.

канд. тех. наук, доцент

кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Миколаївський національний аграрний університет

УДК 621.311.24:621.548:004.94

АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВОРОТОРНОЇ ВІТРОУСТАНОВКИ З КОНТР-ОБЕРТАННЯМ

Варьонов Максим

здобувач вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніки та електромеханіка

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

Анотація: *Робота присвячена підвищенню ефективності перетворення енергії вітру шляхом застосування двороторної вітроенергетичної установки (ВЕУ) з контр-обертанням лопатей. Проведено комп'ютерне моделювання однороторної та двороторної конфігурацій у середовищі CAE системи на основі твердотільної 3D-геометрії, підготовленої у SolidWorks та експортованої у форматі parasolid. Досліджено розподіли швидкостей і характер течії за роторами, визначено аеродинамічні сили та моменти, розраховано коефіцієнт використання енергії вітру (KIEB) для діапазону швидкостей 3–7 м/с. Показано, що за однакових діаметрів обох коліс внесок другого ротора у KIEB становить $\approx 13,1$ в.п. (при 3 м/с), що підтверджує перевагу контр-обертання у низькошвидкісному вітровому режимі. Теоретичні оцінки за підходами ідеального та реального вітряка (Г.Х. Сабінін) узгоджуються з отриманими CFD-результатами (внесок 4,8 та 12,4 в.п. відповідно).*

Ключові слова: *двороторна вітроустановка; контр-обертання; KIEB; крутний момент; CAE системи; SolidWorks.*

Підвищення енергоефективності ВЕУ у зоні помірних та низьких швидкостей вітру є ключовою умовою розширення децентралізованої генерації. Традиційна однороторна ВЕУ використовує лише частку кінетичної енергії потоку: значна її частина проходить крізь ротор, формуючи турбулентний слід. Двороторна схема з контр-обертанням покликана рекуперувати частину енергії зі сліду першого ротора та узгодити напрямки моментів, що потенційно підвищує сумарний KIEB та покращує пуско-регулювальні властивості на «низьких» швидкостях.

Методом дослідження була кількісна оцінка ефекта контр-обертання у двороторній ВЕУ відносно однороторної схеми за показниками КІЕВ, потужності та крутного моменту. Об'єктом дослідження було ВЕУ з одним і двома коаксіальними роторами; у двороторній конфігурації друге колесо обертається у протилежний бік. Розглянуто два конструктивні варіанти: Однакові діаметри обох коліс; Різні діаметри (приклад з роботи: $D_1 = 1,5 \text{ м}$, $D_2 = 2,2 \text{ м}$). Завданням було: (i) створити 3D-геометрію ротора, гондоли та мачти; (ii) виконати розрахунок обтікання та визначити аеродинамічні сили/моменти; (iii) зіставити енергетичні показники схем; (iv) співвіднести чисельні результати з аналітичними оцінками для ідеального/реального вітряка [1].

3D-геометрію сформовано у SolidWorks з наступним експортом моделі у parasolid для імпорту в САЕ систему. Розрахунки виконано у САЕ системі (стаціонарна постановка); оброблення результатів — у CFD-Post. У роботі наведено функціональні можливості САЕ системи щодо моделювання обертальних машин (рухомі області, моделі турбулентності, постпроцес), а також демонстровано побудову розрахункових схем для однороторної та двороторної ВЕУ. Час розрахунку одного встановленого режиму обтікання (фіксована швидкість, конфігурація ротора) у стаціонарній постановці становив приблизно 30 год.

Для енергетичної інтерпретації застосовано стандартні співвідношення з роботи: потужність ВЕУ

$$P = \frac{\pi R^2 \rho v^3}{2} \xi \eta_m \eta_g$$

де ξ - КІЕВ; $\eta_m \eta_g$ - ККД механічної частини та генератора. Частота обертання ротора в безредукторній схемі пов'язана з швидкісним відношенням Z , як

$$n = \frac{30vZ}{\pi R}$$

Усі позначення наведені у тексті дисертації й використані для порівняння однороторної та двороторної конфігурацій.

Аналітичні розрахунки за підходами ідеального та реального вітряка (Г.Х. Сабінін), здійснені у роботі, дають такі узагальнені оцінки КІЕВ: Для однороторної ВЕУ: 68,7% (ідеальний), 49,0% (реальний); Для двороторної (контр-обертання): 73,5% (ідеальний), 61,4% (реальний).

Відповідно внесок другого ротора у КІЕВ становить +4,8 в.п. (за ідеальним підходом) та +12,4 в.п. (за реальним). Сумарний КІЕВ двороторної схеми за реальним підходом дорівнює 0,614 (тобто 61,4%). Ці значення використовуються як орієнтири для валідації CFD-моделювання [2].

Моделювання проведено для трьох швидкостей вітру: 3, 5 та 7 м/с. Для кожного режиму обчислено розподіли швидкості/тиску, крутні моменти та механічну потужність. За результатами моделювання: за однакових діаметрів двороторна схема демонструє приріст КІЕВ $\approx +13,1$ в.п. при 3 м/с (52,2 – 39,1), а також стабільний виграв у всьому дослідженому діапазоні швидкостей ($\approx +13,1 \dots +13,1$ в.п. у наведених режимах). Варіант з різними діаметрами теж покращує КІЕВ відносно однороторної схеми, але вже помірно: +2,0...+2,5 в.п. залежно від швидкості (41,1–44,5% проти 39,1–42,0%).

Для двороторної конфігурації з контр-обертанням другий ротор працює у зміненому (частково відновленому) потоці за першим і генерує додатковий корисний момент. Узгодження напрямків моментів і зменшення втрат у турбулентному сліді зумовлює помітніше зростання КІЕВ саме для варіанта з однаковими діаметрами, тоді як при $D_1 < D_2$ ефект зберігається, але є відчутно меншим.

Отримані CFD-дані якісно узгоджуються з теоретичними оцінками Сабініна: реальний приріст за реальною моделлю ($\sim +12,4$ в.п.) близький до приросту, зафіксованого чисельно для низьких швидкостей ($\approx +13,1$ в.п. при 3 м/с). Це свідчить про коректність фізичної картини та обраної компоновки контр-обертання.

З погляду застосувань, у висновках дисертації підкреслено, що двороторна модель з контр-обертанням ефективно працює саме при низьких швидкостях вітру, а отже є придатною для децентралізованого електропостачання віддалених споживачів (домогосподарств, фермерських господарств), у т.ч. у місцевостях, віддалених від високовольтних ліній електропередач [3].

У роботі створено та промодельовано коаксіальну двороторну БЕУ з контр-обертанням у середовищі CAE на основі CAD-моделей SolidWorks. Чисельно підтверджено приріст КІЕВ для двороторної конфігурації з однаковими діаметрами коліс - $\approx +13,1$ в.п. при 3 м/с і стабільний виграш у діапазоні 3–7 м/с; для варіанта з різними діаметрами приріст $+2,0 \dots +2,5$ в.п.. Аналітичні оцінки (ідеальний/реальний вітряк за Сабініним) дають внесок другої ступені $+4,8$ та $+12,4$ в.п., результат для реального вітряка (КІЕВ $\approx 61,4\%$) узгоджується з тенденціями CFD-розрахунків. Підтверджено перспективність контр-обертання для підвищення ефективності у низькошвидкісному режимі та для задач децентралізованої генерації.

Список використаних джерел

1. A comparative performance analysis of four wind turbines with counter-rotating electric generators / M. Neagoe et al. *Applied sciences*. 2022. Vol. 12, no. 9. P. 4233.
2. Development and performance investigation of a unique dual-rotor savonius-type counter-rotating wind turbine / D. H. Didane et al. *International journal of integrated engineering*. 2021. Vol. 13, no. 6. P. 89–98.
3. Prospects of biogas for high-temperature heat-technological complexes in glass industry / O. Koshelnik et al. *IEEE 5th international conference on modern electrical and energy system*. 2023. P. 15–24.
4. Calculation of Optimal Geometric Parameters Electrical Apparatus for Controlling the Irrigation System / O. Sadovoy et al. 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 27–30 September 2023. URL: <https://doi.org/10.1109/mees61502.2023.10402456>

Abstract: The work is devoted to improving the efficiency of wind energy conversion by using a two-rotor wind turbine (WT) with counter-rotating blades. Computer modeling of single-rotor and twin-rotor configurations was performed in a CAE system environment based on solid 3D geometry prepared in SolidWorks and

exported in parasolid format. The velocity distributions and flow characteristics behind the rotors were investigated, aerodynamic forces and moments were determined, and the wind energy utilization coefficient (WEUC) was calculated for a velocity range of 3–7 m/s. It was shown that for the same diameters of both wheels, the contribution of the second rotor to the WEER is ≈ 13.1 v.p. (at 3 m/s), which confirms the advantage of counter-rotation in low-speed wind conditions. Theoretical estimates based on the ideal and real wind turbine approaches (G.H. Sabinin) are consistent with the CFD results obtained (contributions of 4.8 and 12.4 v.p., respectively).

Keywords: *twin-rotor wind turbine; counter-rotation; KIEV; torque; CAE systems; SolidWorks.*

Науковий керівник:

Мартиненко В.О.

Канд. тех. наук, доцент

кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Миколаївський національний аграрний університет

УДК 621.311.22:620.92:633.8

ІНТЕГРАЦІЯ БІОГАЗОВИХ ТА БІОМЕТАНОВИХ УСТАНОВОК В ЕНЕРГОСИСТЕМУ УКРАЇНИ: ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Володимир Мартиненко

канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Миколаївський національний аграрний університет.

м. Миколаїв, Україна

Анотація. *У статті узагальнено сучасні підходи до виробництва електроенергії з біогазу та біометану в Україні. Розглянуто технології анаеробного зброджування, основні методи очищення біогазу до якості біометану та варіанти його використання у когенераційних установках, газових турбінах і двигунах внутрішнього згоряння. Показано вплив вибору технології на енергоефективність, екологічні та економічні показники. Окреслено можливості інтеграції біоенергетичних установок в енергосистему України та їхній внесок у підвищення енергетичної безпеки й зменшення залежності від імпортного газу.*

Ключові слова: *енергетична безпека, біогаз, біометан, когенераційні установки, газові турбіни, двигуни внутрішнього згоряння.*

Для України, яка функціонує в умовах зростання енергетичних загроз і часткового руйнування паливно-енергетичної інфраструктури, одним із ключових завдань є зменшення залежності від імпортованого природного газу та поступовий перехід до використання власних відновлюваних ресурсів. Значні

обсяги органічних відходів аграрного виробництва, підприємств переробної промисловості й житлово-комунального господарства створюють суттєвий потенціал для розвитку біоенергетики, зокрема для одержання біогазу й біометану з їх подальшим застосуванням в електрогенерації.

Метою цього дослідження є теоретичний огляд сучасних технологій виробництва електроенергії з біогазу та біометану, порівняння їх енергоефективності, екологічних та економічних показників, а також оцінювання можливостей інтеграції біоенергетичних установок в енергосистему України з позицій посилення енергетичної незалежності держави.

Методика дослідження базується на аналізі наукових публікацій і технічної документації, що стосується процесів анаеробного зброджування, методів очищення біогазу та схем використання його енергетичного потенціалу. Розглянуто специфіку роботи біореакторів у мезофільному (30–40 °C) та термофільному (50–60 °C) діапазонах температур, вплив вологості сировини (приблизно 80–90 %), реакції середовища (pH 6,5–8,0), мікробіологічного складу інокуляту та попередньої підготовки органічних відходів на вихід біогазу. Окрему увагу приділено мембранним, абсорбційним, кріогенним, адсорбційним і біологічним методам вилучення H_2S , CO_2 , NH_3 та водяної пари до рівнів, необхідних для одержання біометану, придатного для подачі в газорозподільні мережі.

Результати аналізу свідчать, що найповніше використання енергетичного потенціалу біогазу забезпечують когенераційні установки, у яких поєднується виробництво електричної та теплової енергії. Сумарний ККД таких систем досягає орієнтовно 80–90 %, що робить їх особливо привабливими для аграрних підприємств, промислових споживачів та об'єктів комунальної енергетики з постійною потребою в теплі. Газові турбіни мають нижчий електричний ККД (близько 30–40 %), проте відзначаються високою надійністю та придатністю для реалізації великомасштабних енергетичних проєктів. Двигуни внутрішнього згоряння, за ефективності на рівні приблизно 25–45 %, доцільно використовувати в малих і середніх біогазових комплексах за умови впровадження заходів зі зниження викидів забруднювальних речовин.

Порівняльний аналіз технологій очищення біогазу показав, що кріогенні методи забезпечують найглибше вилучення домішок, але потребують значних енергетичних витрат і складного обладнання. Мембранні системи дозволяють отримувати високий вміст метану (до 95–98 %) за відносно помірних експлуатаційних витрат, що робить їх одним із найперспективніших напрямів промислового використання. Абсорбційні та адсорбційні підходи є добре відпрацьованими з інженерної точки зору, однак під час очищення великих потоків газу можуть мати обмеження щодо ефективності та вартості. Біологічні методи забезпечують середній ступінь очищення, але приваблюють екологічністю та потенційною можливістю зниження собівартості за рахунок використання природних сорбентів і спеціалізованих мікроорганізмів.

Біогаз, доведений за показниками якості до рівня біометану, може спрямовуватися до існуючої газотранспортної інфраструктури, використовуватися як паливо для когенераційних модулів, газових турбін і двигунів внутрішнього згоряння, а також накопичуватися в спеціалізованих

сховищах для покриття пікових навантажень і підтримки роботи енергосистеми в аварійних режимах. Формування ефективного ланцюга «органічні відходи – біогаз – біометан – електроенергія» потребує не лише оптимізації технологічних параметрів на всіх стадіях, а й модернізації мережевої інфраструктури, а також запровадження адресних механізмів державного стимулювання. Важливою умовою розвитку ринку біометану є удосконалення законодавства у сфері поводження з відходами, запровадження інструментів підтримки виробників біометану та гармонізація національних стандартів якості з вимогами країн ЄС.

Нарощування масштабів упровадження біогазових і біометанових технологій в аграрному секторі та харчовій промисловості України, застосування вискоелективних когенераційних рішень і сучасних систем очищення, а також створення інфраструктури для транспортування та зберігання біометану є одним із ключових напрямів реального зміцнення енергетичної незалежності держави. Перспективними напрямками подальших досліджень визначено вдосконалення комбінованих схем очищення біогазу, інтеграцію біоенергетичних установок із системами накопичення енергії та розроблення економічних механізмів стимулювання інвестицій у біоенергетичні проекти.

Список використаних джерел

1. Sadovoy O., Koshkin D., Martynenko V., Sokolik V. Electricity generation from biogas: Modern technologies and prospects for Ukraine's energy independence. *Machinery & Energetics*. 2025. Vol. 16, No. 1. P. 173–185. doi:10.31548/machinery/1.2025.173.
2. Danylyshyn V., Koval M. Analysis of biogas production and prospects for the development of biogas technologies in Ukraine. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2023. Vol. 27, No. 3. P. 90–102. doi:10.56407/bs.agrarian/3.2023.90.
3. Kucher O., Hutsol T., Glowacki S., et al. Energy potential of biogas production in Ukraine. *Energies*. 2022. Vol. 15, No. 5. Article 1710. doi:10.3390/en15051710.
4. Prospects of biogas for high-temperature heat-technological complexes in glass industry / O. Koshelnik et al. 2023 IEEE 5th international conference on modern electrical and energy system (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 27–30 September 2023. 2023. URL: <https://doi.org/10.1109/mees61502.2023.10402452>.

Abstract. *The article summarizes modern approaches to electricity production from biogas and biomethane in Ukraine. Anaerobic digestion technologies, basic methods of biogas purification to biomethane quality and options for its use in cogeneration plants, gas turbines and internal combustion engines are considered. The impact of the choice of technology on energy efficiency, environmental and economic indicators is shown. The possibilities of integrating bioenergy plants into the energy system of Ukraine and their contribution to increasing energy security and reducing dependence on imported gas are outlined.*

Keywords: *energy security, biogas, biomethane, cogeneration plants, gas turbines, internal combustion engines.*

ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ЗРОШУВАНОВОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Олексій Садовий

канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

Анотація: У статті систематизовано результати економічного аналізу впровадження фотогальванічних (PV) систем для забезпечення енергопостачання зрошуваних аграрних підприємств. Показано, що використання сонячних електростанцій для живлення насосних станцій дає змогу знизити питомі витрати на електроенергію до 0,05–0,12 дол. США/кВт·год порівняно з 0,20–0,35 дол. США/кВт·год для дизельних генераторів і 0,10–0,30 дол. США/кВт·год при централізованому електропостачанні. Встановлено, що середній період окупності PV-систем у зрошуваному землеробстві становить 5–8 років, тоді як експлуатація дизельних агрегатів у довгостроковій перспективі є економічно невиправданою через значні поточні витрати. Обґрунтовано, що поєднання сучасних PV-установок з енергоощадними насосами та інтелектуальними системами керування дає змогу скоротити енерговитрати зрошувальних комплексів на 20–30 % і зменшити викиди CO₂ на 60–80 % порівняно з традиційними джерелами енергії. На підставі порівняльного аналізу вартості різних варіантів енергозабезпечення сформульовано рекомендації щодо оптимізації інвестицій та використання інструментів державної підтримки для прискорення впровадження сонячної енергетики у зрошуваному землеробстві.

Ключові слова: відновлювана енергетика; фотогальванічні системи; зрошуване землеробство; енергоефективність; окупність інвестицій; енергетична самодостатність.

Зростання вартості традиційних енергоносіїв і нестабільність тарифів в умовах енергетичної кризи загострюють проблему енергетичної незалежності аграрного сектору. Особливо це стосується зрошуваного землеробства, де витрати на роботу насосних станцій формують суттєву частку собівартості продукції. За таких умов інтеграція фотогальванічних систем у структуру енергопостачання зрошувальних комплексів розглядається як один з ключових інструментів зниження витрат на електроенергію, підвищення автономності господарств та зменшення негативного впливу на довкілля.

Метою дослідження є всебічна техніко-економічна оцінка доцільності впровадження PV-систем у зрошуваному землеробстві з урахуванням енергетичних, фінансових та екологічних результатів, а також аналіз впливу фінансово-регуляторних механізмів підтримки «зеленої» генерації. Для досягнення поставленої мети використано економічне зіставлення варіантів

енергопостачання (централізоване електроживлення, дизельні генератори, PV-системи), проведено порівняльний аналіз структури капітальних і експлуатаційних витрат, а також техніко-економічне моделювання схем живлення насосних станцій з урахуванням рівня інсоляції, встановленої потужності панелей, необхідності в системах накопичення енергії та режимів роботи зрошувальних установок.

Дослідження характеристик насосного обладнання показало значну варіативність питомих енерговитрат залежно від типу системи зрошення: для поверхневих відцентрових насосів вони становлять у середньому 0,5–5,0 кВт·год/м³, для глибинних свердловинних насосів – до 10 кВт·год/м³, тоді як краплинне зрошення завдяки використанню низьконапірних насосів є найменш енергоємним. Це підтверджує, що коректний вибір типу насоса та технології подачі води є базовою умовою зменшення енергоспоживання й підвищення ефективності застосування PV-систем у зрошувальному землеробстві.

Порівняльний економічний аналіз варіантів енергозабезпечення зрошувальних систем засвідчив, що централізоване електропостачання потребує значних стартових витрат на приєднання до мережі (5–20 тис. дол. США) і зумовлює залежність від тарифної політики. Дизельні генератори, попри відносно невеликі капітальні витрати (10–20 тис. дол. США), характеризуються високими щорічними експлуатаційними витратами (паливо, технічне обслуговування, ремонти), що робить їх малопривабливими у довгостроковому періоді. Натомість PV-системи потребують більших початкових інвестицій (24–36 тис. дол. США для електростанції потужністю близько 30 кВт), однак завдяки низьким експлуатаційним витратам, які зводяться переважно до обслуговування інверторів і панелей, забезпечують середній строк окупності близько 6–7 років і стабільне зниження собівартості електроенергії до 0,05–0,12 дол. США/кВт·год.

У роботі уточнено показники економічної результативності інноваційних технічних рішень для енергозабезпечення зрошення. Встановлено, що базові наземні PV-системи на зрошуваних площах потребують 1,2–2,5 тис. дол. США/га інвестицій і забезпечують скорочення енерговитрат на 40–60 % та зменшення витрат на водопостачання на 20–35 % при строку окупності 5–8 років. Застосування біфасіальних монокристалічних панелей, хоч і підвищує початкові витрати до 1,5–3,0 тис. дол. США/га, завдяки використанню прямої та відбитої сонячної радіації дозволяє знизити приведену вартість електроенергії до 0,0158–0,030 дол. США/кВт·год і збільшити виробіток електроенергії на 10–20 %. Перспективним напрямом є також розміщення плаваючих PV-систем на поверхні водних дзеркал зрошувальних резервуарів, що поєднує генерацію електроенергії, зменшення випаровування води та покращення температурного режиму роботи панелей.

Показано, що найвищий інтегральний ефект досягається при сумісному застосуванні PV-систем, цифрових платформ керування енергоспоживанням та автоматизованих систем поливу, побудованих на основі IoT-технологій і моделей штучного інтелекту. Використання сенсорів вологості ґрунту, температури й метеоданих, хмарних сервісів зберігання й обробки інформації та прогнозних моделей водоспоживання дає змогу зменшити енерговитрати на 70–

85 % і витрати на водопостачання на 40–60 % порівняно з традиційними режимами керування, скорочуючи строк окупності таких систем до 4–7 років.

Результати фінансово-регуляторного аналізу підтверджують визначальну роль державної та міжнародної підтримки у прискоренні впровадження сонячної енергетики в аграрному секторі. Європейські програми, зокрема Європейський сільськогосподарський фонд розвитку сільських територій, можуть компенсувати до 75 % капітальних витрат на встановлення PV-систем у сільському господарстві; програма Rural Energy for America у США – до 50 %, а в Китаї функціонує система субсидій і податкових стимулів із компенсацією до 60 % вартості проєктів. Національні інструменти «зеленого» тарифу, Net Metering, пільгового кредитування та «зелених» облігацій здатні істотно скоротити строк окупності PV-установок для зрошуваного землеробства за умови спрощення процедур приєднання до мережі та зменшення адміністративних бар'єрів.

Зроблено висновок, що застосування PV-систем для живлення зрошувальних комплексів є економічно обґрунтованим і екологічно доцільним за наявності достатньої інсоляції, раціонального вибору насосного обладнання та впровадження інтелектуальних систем керування енергоспоживанням. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку моделей довгострокового прогнозування генерації та споживання електроенергії в інтегрованих системах «сонячна електростанція – насосна станція – зрошувальний комплекс» з урахуванням кліматичних змін, а також на оцінювання надійності та деградації PV-панелей у регіонах з високим рівнем інсоляції та вираженою сезонністю водоспоживання.

Список використаних джерел

1. Sadovoy O., Hruban V., Fedorchuk M., Fedorchuk V. Economic efficiency of solar panel implementation in irrigated agriculture: Cost assessment, comparative cost analysis and economic justification / O. Sadovoy, V. Hruban, M. Fedorchuk, V. Fedorchuk // Scientific Bulletin of Mukachevo State University. Series «Economics». – 2025. – Vol. 12, No. 2. – P. 147–162. – doi: 10.52566/msu-econ2.2025.147.
2. International Renewable Energy Agency. Renewable Power Generation Costs in 2023. – Abu Dhabi: IRENA, 2024. – 124 p.
3. International Energy Agency. World Energy Outlook 2024. – Paris: IEA, 2024. – 476 p.
4. Kalinichenko A., Havrysh V. Feasibility study of biogas project development: Technology maturity, feedstock, and utilization pathway / A. Kalinichenko, V. Havrysh // Archives of Environmental Protection. – 2019. – Vol. 45, No. 1. – P. 68–83. – doi: 10.24425/aep.2019.126423.
5. Calculation of optimal geometric parameters electrical apparatus for controlling the irrigation system / O. Sadovoy et al. 2023 *IEEE 5th international conference on modern electrical and energy system (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine, 27–30 September 2023. URL: <https://doi.org/10.1109/mees61502.2023.10402456>.
6. Electricity generation from biogas: Modern technologies and prospects for Ukraine's energy independence / O. Sadovoy et al. Machinery and energetics. 2025. Vol. 16, no. 1. P. 173–185. URL: <https://doi.org/10.31548/machinery/1.2025.173>

Abstract. The thesis presents a concise economic assessment of photovoltaic (PV) systems for powering irrigation facilities in agriculture. The study compares centralised grid supply, diesel generators and PV systems in terms of capital expenditure, operating costs, electricity price and payback period. The results show that PV systems can reduce electricity costs for pumping stations to 0.05–0.12 USD/kWh, while diesel generation and grid supply typically range from 0.20–0.35 and 0.10–0.30 USD/kWh, respectively, with an average payback period of 5–8 years for PV installations. The integration of modern PV plants with energy-efficient pumps and automated control based on IoT and AI models allows a 20–30 % reduction in energy consumption and a 60–80 % decrease in CO₂ emissions compared to conventional energy sources. The paper highlights the importance of public financial support, Net Metering and concessional loans for accelerating PV deployment in irrigated agriculture and formulates practical recommendations for optimising investment decisions and energy management in irrigation systems.

Keywords: renewable energy sources; photovoltaic systems; irrigated agriculture; energy efficiency; payback period; energy independence.

3. ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ, ЕЛЕКТРОПРИВОД ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ

УДК 621.313:621.3.072

СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ТИПУ З МАГНІТОПРОВОДАМИ ЗІ СТІЧКОВИХ СЕКЦІЙ ДЛЯ ТРИФАЗНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ, РЕАКТОРІВ ТА ДРОСЕЛІВ

Віталій Тимошенко

здобувачка вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетики,
електротехніки та електромеханіки

Миколаївський національний аграрний університет
м. Миколаїв, Україна

Анотація: У даній роботі розглядались особливості проектування та технології виготовлення магнітопроводу просторового електромагніта ELMS смугових профілів електротехнічної сталі: при використанні безперервних профілів, які забезпечують мінімальні втрати в з'єднаннях та кутах налаштування тяжін бернера загострюються, що робить намотувальний верстат складовіше у випадку, якщо ELMS вимагає спеціальні взірцеві накатні або обкаточні та потребують енергозатрат у сумісній або неоднаковій використанні вводять ELMS з дискретними профілями та донними стрижневими елементами, які скорочують середню довжину витка, збільшують коефіцієнт заповнення вікон котушок та частково реалізують магнітну взаємодію між витками скручених дротяних площин; використані підходи до формування триплощинних з'єднань з NBR або з комбінацією теплової та деформаційної обробленої та смуг змінної ширини: $k_{ко} = 0,25... 0,85$, причому 0,85 є найкомпактнішим, і `ELMS.expand.isTrue`, що ELMS з прями́ні́ми та клинообрушенням будуть мати найменш коефіцієнт.

Ключові слова: просторові електромагнітні системи (ПЕМС), магнітопровід, стрічкові секції, електротехнічна сталь, безперервні та розрізні секції, трьохплощинний стик, коефіцієнт заповнення, компактність, трансформатори, дроселі, реактори.

Як відомо [1–3], найбільш технологічними є магнітопроводи, виготовлені методом навивки зі стрічки рулону електротехнічної сталі ЕТС. Максимальні властивості анізотропної стрічкової сталі реалізують у магнітопроводах з безперервних нерозрізних секцій. У таких конструкціях виключаються додаткові втрати в місцях стиків і суттєво знижуються втрати в кутах [2, 3]. Проте застосування подібних магнітопроводів обмежене, адже встановлення обмотки такої конструкції, яка вмотується безпосередньо на стрижні при спеціалізованому верстатному обладнанні, важкі маніпуляції [2]. За [1] для спрощення технології виготовлення стрічкові магнітопроводи з магнітонепов'язаних секцій для статичних індукційних пристроїв малих і

середніх потужностей прийняття виготовляти у вигляді розрізних з'єднаних секцій, на кожен етап як різьблять лише один стик.

Специфічні відмінності просторових електропневматичних систем є знижуваний жодонасичувач контурів котушок сталі стрижнів та підвищене середнє значення довжини витка обмотки, а також відсутність магнітної взаємодійності між намотуваннями. На практиці цю задачу зниження середнього значення довжини виток і підвищення жодонасичувача в обмежених внутрішніх контурах котушок досягається шляхом наступного залізу частинні стрижня сусідніх сегментів. Сучасний багатотемний клейовий вміст перед самим складанням опада гарним феромагнітний опад, збредений між остітькими контурами стінки ґрунтування. В точку якості кождоденної сегмент здійснюють з іншими категоріями залишковими дітою. Інший варіант складання полягає в застосуванні стрічок ЕТС змінної ширини, що набираються з відхиленням звідсилань виткасти, що додає плоскість юнку. [2, 3].

Збільшення відстані між геометричними центрами перетинів стрижнів і низький коефіцієнт контурного об'єму секціями ПЕМС $k_{\text{ко}} = 0,25 \dots 0,35$, видн. або малий б. п. внутрішнього контуру котушки сталлю або необхідність використання спеціальних верстатів для вмотування обмоток. [4] Покращення індикаторів компактності та зменшення габаритів ПЕМС з секціональними магнітопроводами і стиками у прилеглі стіни можна досягти шляхом зменшення вмо за рахунок висчитування паралельності обмоткових і стрижневих площадок вікон магнітопроводів варіант. Нагадаємо, що варіанти магнітопроводу можуть утворюватися або зі стрічкових секцій прямокутного перерізу, вписаного в трикутники, або мають безперервні секції зі стрічок клиноподібної форми. Такі конструкції підвищують індикатор компактності до $k_{\text{ко}} = 0,65 \dots 0,85$.

Список використаних джерел

1. Improving the main indicators of transformers with twisted one-piece magnetic cores by changing the technology of circular winding turns formation / O. A. Avdieieva et al. *Electrical engineering & electromechanics*. 2022. No. 3. P. 3–7.
2. Koteras D., Tomczuk B. Three-Dimensional numerical field analysis in transformers to identify losses in tape wound cores. *Sensors*. 2024. Vol. 24, no. 10. P. 3228.
3. Numerical modeling of magnetic cores with combined electrical steel grades / O.-A. Dabaj et al. *COMPEL - The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering*. 2024.
4. Technical solutions to reduce losses in magnetic cores and material consumption of three-phase transformer and reactor equipment / A. A. Stavynskyi et al. *Electrical engineering & electromechanics*. 2024. P. 3–9.
5. Comparison of Active Power Losses of Single-Phase Electromagnetic Static Devices by Radial Electromagnetic System / O. Sadovoy et al. 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 20–23 October 2022. 2022. URL: <https://doi.org/10.1109/mees58014.2022.10005760>

Abstract. *This work considered the features of the design and manufacturing technology of the magnetic core of the spatial electromagnet ELMS of strip profiles of electrical steel: when using continuous profiles that provide minimal losses in the joints and angles, the burner rods are sharpened, which makes the winding machine more complex in the case when ELMS requires special rolling or rolling patterns and requires energy costs in combined or unequal use, ELMS with discrete profiles and bottom rod elements are introduced, which reduce the average length of the turn, increase the fill factor of the coil windows and partially implement the magnetic interaction between the turns of twisted wire planes; The approaches used to form three-plane joints with NBR or with a combination of heat and deformation treatment and strips of variable width: $k_{ko} = 0.25 \dots 0.85$, with 0.85 being the most compact, and ELMS.expand.isTrue that ELMS with straight and wedge-shaped joints will have the least coefficient.*

Keywords: *spatial electromagnetic systems (SEMS), magnetic core, strip sections, electrical steel, continuous and cut sections, three-plane joint, fill factor, compactness, transformers, chokes, reactors.*

Науковий керівник:

Вахоніна Л.В.,

канд., фіз-мат наук, доцент

кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Миколаївський національний аграрний університет

УДК 621.313.333:622.24

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГЕНЕРАТОРА ІМПУЛЬСНИХ СТРУМІВ ДЛЯ ЗАГЛИБНИХ СВЕРДЛОВИННИХ КОМПЛЕКСІВ

Тумаков Максим

здобувач вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетики,
електротехніки та електромеханіки

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

Анотація: *У тезисі представлено результати аналізу конструкції генератора імпульсних струмів (ГІС), призначеного для обробки артезіанських свердловин. На основі математичного моделювання та експериментальних досліджень визначено основні енергетичні параметри ГІС, що забезпечують високу ефективність очищення водоносних горизонтів: робоча напруга ємнісного накопичувача 30–40 кВ, енергія імпульсу 1–1,5 кДж, частота розрядів 0,2–0,3 Гц. Розглянуто конструктивні особливості наземної та заглибної частин обладнання, принципи їх взаємодії та використання високочастотних перетворювачів для зменшення масогабаритних характеристик. Запропоноване технічне рішення дозволяє підвищити технологічну результативність і*

надійність електророзрядних систем, що застосовуються у свердловинних комплексах.

Ключові слова: генератор імпульсних струмів, артезіанська свердловина, електророзрядна технологія, ємнісний накопичувач, високочастотний перетворювач, наземний модуль, заглибний модуль, розрядник, електродна система.

Провідним світовим центром з розробки електророзрядного обладнання для обробки артезіанських свердловин є **Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України (м. Миколаїв)**. На основі математичного моделювання та результатів експериментальних випробувань визначено ключові енергетичні параметри генераторів імпульсних струмів (ГІС) [1], що забезпечують високу ефективність очищення свердловин:

- робоча напруга ємнісного накопичувача – **30–40 кВ**;
- енергія розрядного імпульсу – **1–1,5 кДж**;
- частота розрядів – **0,2–0,3 Гц**.

Для зниження втрат у передавальному кабелі, що з'єднує наземний (НЧ) та заглибний (ЗЧ) модулі ГІС, застосовується постійна напруга. Як сполучний вантажний кабель рекомендовано використовувати **каротажний геофізичний семижильний кабель** (наприклад, типу КГ7-68-90), довжина якого повинна перевищувати глибину водоносного горизонту (приблизно 1 км).

Наземна частина ГІС конструктивно являє собою джерело живлення, що підключається до мережі **220 В, 50 Гц**. Частотний перетворювач або автономний інвертор, виконаний за мостовою схемою на IGBT-транзисторах, включає вихідний трансформатор, фільтр, комутуючі конденсатори, вхідний і вихідний випрямлячі, а також блок керування, захисту та пуску. Вихідні характеристики: напруга – **800 В**, потужність – близько **1,5 кВт** [2].

У заглибній частині постійна напруга перетворюється зарядним блоком у змінну високої частоти (**18 кГц**) за допомогою IGBT-перетворювача (наприклад, IRG4PH50UD, 1200 В, 45 А). Використання підвищеної частоти дозволяє зменшити масогабаритні показники й досягти питомої потужності близько **250 Вт/дм³**.

Далі ця напруга трансформується, випрямляється і подається на ємнісний накопичувач (до трьох конденсаторів по 2,4 мкФ, номінальною напругою 30 кВ). Після досягнення рівня **30 кВ** спрацьовує розрядник, і накопичена енергія вивільняється через електродну систему [3].

Заглибна частина ГІС складається з послідовно з'єднаних модульних блоків у циліндричних металевих корпусах діаметром **102 мм**. Основним елементом є накопичувальний конденсатор, до якого кріпляться модуль зарядного блоку та газонаповнений розрядник. Розрядник з'єднаний з електродною системою, що забезпечує робочий імпульсний розряд у середовищі свердловини.

Список використаних джерел

1. Experimental investigation on high voltage electric pulse rock breaking under drilling mud conditions / X. Zhu et al. *Geoenergy science and engineering*. 2024. P. 213274.

2. Weight analysis and experimental study on influencing factors of high-voltage electro-pulse boring / C. Li et al. *Journal of petroleum science and engineering*. 2021. Vol. 205. P. 108807.

3. Електротехнологічні установки та системи: курс лекцій / В. Бржезицький та ін. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 136 с.

4. Comparison of Active Power Losses of Single-Phase Electromagnetic Static Devices by Radial Electromagnetic System / O. Sadovoy et al. 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 20–23 October 2022. 2022. URL: <https://doi.org/10.1109/mees58014.2022.10005760>

Abstract. *The thesis presents the results of the analysis of the design of a pulse current generator (GIS) intended for the treatment of artesian wells. Based on mathematical modeling and experimental studies, the main energy parameters of the GIS were determined, which ensure high efficiency of cleaning aquifers: the operating voltage of the capacitive accumulator is 30–40 kV, the pulse energy is 1–1.5 kJ, the discharge frequency is 0.2–0.3 Hz. The design features of the surface and submersible parts of the equipment, the principles of their interaction and the use of high-frequency converters to reduce the mass and dimensions are considered. The proposed technical solution allows to increase the technological efficiency and reliability of electric discharge systems used in well complexes.*

Keywords: *pulse current generator, artesian well, electric discharge technology, capacitive storage, high-frequency converter, surface module, submersible module, arrester, electrode system.*

Науковий керівник:

Ставинський А.А.,

д-р тех. наук, професор

кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Миколаївський національний аграрний університет

УДК 631.365.2:621.313.333:621.316.93

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ТРАНСПОРТЕРІВ ДЛЯ РОЗДАВАННЯ КОРМІВ

Лисоганич Олександр

здобувача вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетики,
електротехніки та електромеханіки

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

Анотація: *У роботі розглянуто проблему використання застарілого електрообладнання у стаціонарних кормороздавачах, яке не відповідає сучасним*

вимогам технологічних процесів тваринництва. Проведений аналіз показав, що традиційні конструкції транспортерів мають підвищені масо-вартісні показники через застосування редукторів та масивних приводних вузлів. Запропоновано вдосконалення електромеханічної частини установки шляхом використання асинхронного двигуна із зовнішнім ротором та частотним регулюванням, що дозволяє відмовитися від редуктора і зменшити металоємність конструкції. Розроблена схема електроприводу забезпечує підвищення надійності, покращення вольт-амперних характеристик двигуна, зменшення питомої та технологічної матеріалоємності. Впровадження системи частотного керування та програмованого логічного контролера дозволяє оптимізувати роботу кормороздавача, знизити енергоспоживання на 43,8 % та підвищити ефективність системи керування технологічним процесом на 25 %.

Ключові слова: *кормороздавач, транспортер, електропривод, асинхронний двигун із зовнішнім ротором, частотне регулювання, програмований логічний контролер, енергоефективність, матеріалоємність, оптимізація системи керування.*

Актуальною проблемою сучасного сільського господарства є експлуатація застарілого електрообладнання, яке не відповідає сучасним вимогам технологічних процесів тваринництва. Стаціонарні кормороздавачі, як правило, мають подібні конструктивні рішення та відрізняються переважно типом приводного механізму і варіантами передавання руху від редуктора до приводного барабана [1]. Проведений аналіз показав, що такі роздавачі характеризуються високими масо-вартісними показниками.

Зменшення масо- та вартісних характеристик сучасних транспортерів можливе завдяки застосуванню досягнень силової електротехніки та використанню нетрадиційних конструкцій електроприводів. На основі проведеного дослідження [2] найбільш доцільним варіантом визначено застосування асинхронного двигуна з зовнішнім ротором (АДЗР) із частотним регулюванням [3]. Це дозволяє відмовитися від використання масивного редуктора та приводного вала.

Обрана схема АДЗР (рис. 1) конструктивно забезпечує зменшення впливу магнітних зубцевих гармонік, мінімальні механічні та електричні втрати, високу стабільність повітряного зазору з точки зору механічної та теплової надійності. Це сприяє зниженню додаткових втрат і забезпечує покращення вольт-амперних характеристик двигуна.

Розроблена конструкція АДЗР дозволяє зменшити питому та технологічну матеріалоємність, а також покращує механічні характеристики електроприводу [2-3].

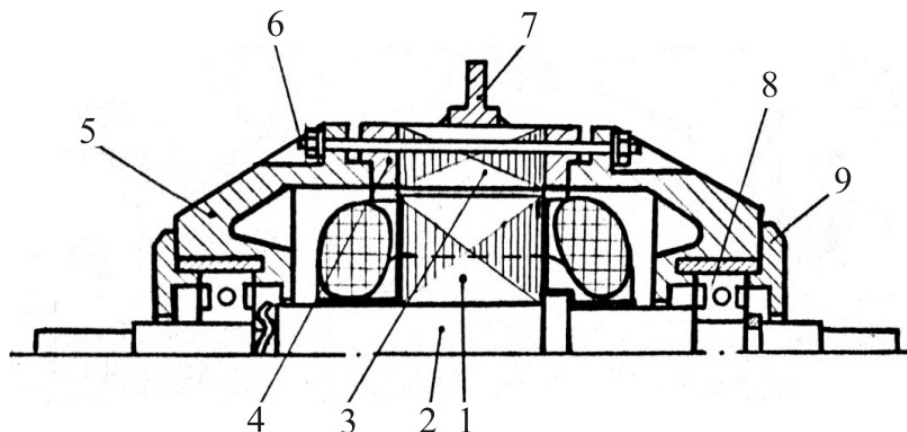


Рис. 1. Схема зверненого асинхронного двигуна з двома обертовими підшипниковими щитами:

- 1 – статора; 2 - вісь; 3 – ротор; 4 – короткозамикаюче кільце;
5 – підшипниковий щит; 6 – шпилька; 7 – фланець; 8 – підшипник;
9 – кришка.

Технічні параметри приводу, за винятком пускового моменту та перевантажувальної здатності, були істотно покращені. Для підвищення кратності пускового та максимального моментів необхідно зменшити величину x_2 за рахунок диференційного розсіювання (при $\lambda_{\text{дР}} = 5,853$), що досягається збільшенням кількості пазів ротора — наприклад, застосуванням $Z_R = 18$ або $Z_R = 30$ замість $Z_R = 16$.

Кормороздавач оснащено асинхронним двигуном, який живиться від перетворювача частоти (ПЧ) типу ATV58 компанії Schneider Electric [11]. Управління забезпечує програмований логічний контролер (ПЛК) Micro TSX-3722, який реалізує локальні та дистанційні команди пуск/стоп, обробляє сигнали з датчика моменту, обчислює коефіцієнт заповнення кормороздавача та на основі цих даних коригує швидкість обертання електродвигуна, забезпечуючи оптимальний режим роботи установки [4]. Контроль стану приводу і функціонування кормороздавача може здійснюватися дистанційно завдяки передачі інформації до контролера та ПЧ через мережу за допомогою радіо- чи GSM-модему.

Впровадження модернізованої системи дало змогу скоротити капіталовкладення за рахунок заміни основного вузла передавання крутного моменту на більш компактний та ефективний. У результаті витрати електроенергії зменшилися на 43,8 %, а ефективність системи керування технологічним процесом роздавання кормів зросла на 25 %.

Список використаних джерел

1. Aishwarya A., Sridhara B. Analysis of effect of rotor slot shape on torque ripple in induction motor using FEM. *Sustainable technology and advanced computing in electrical engineering*. 2022. P. 15–20.
2. Efficiency improvement of induction motors based on rotor slot and tooth structures. *Journal of intelligent systems and control*. 2023. Vol. 2, no. 1. P. 13–22.
3. Khalina T. M., Eremochkin S. Y., Dorokhov D. V. The development of an energy efficient electric drive for agricultural machines. *IOP conference series: materials science and engineering*. 2022. Vol. 1211, no. 1. P. 012018.

4. Malafeev S. I., Zakharov A. V., Safronenkov Y. A. A new series of asynchronous frequency-controlled motors for mining excavators. *Russian electrical engineering*. 2019. Vol. 90, no. 4. P. 299–303.

Abstract. *The paper considers the problem of using outdated electrical equipment in stationary feed dispensers, which does not meet the modern requirements of livestock production processes. The analysis showed that traditional conveyor designs have increased weight-cost indicators due to the use of gearboxes and massive drive units. It is proposed to improve the electromechanical part of the installation by using an asynchronous motor with an external rotor and frequency control, which allows you to abandon the gearbox and reduce the metal consumption of the structure. The developed electric drive circuit provides increased reliability, improved volt-ampere characteristics of the engine, and reduced specific and technological material consumption. The implementation of a frequency control system and a programmable logic controller allows you to optimize the operation of the feed dispenser, reduce energy consumption by 43.8% and increase the efficiency of the technological process control system by 25%.*

Keywords: *feed dispenser, conveyor, electric drive, asynchronous motor with external rotor, frequency control, programmable logic controller, energy efficiency, material consumption, control system optimization.*

Науковий керівник:

Мардзявко В.А.,

асистент

кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Миколаївський національний аграрний університет

UDC. 62-1

CONSTRUCTION OF THE DYNAMIC ELECTRICAL DRIVE SYSTEM IN THE PH-AD SYSTEM FORMAT MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE ELECTRO-MECHANICAL SYSTEM OF THE BELT CONVEYOR

Tishchenko Dmytro

student of higher education, specialty 141 Power engineering, electrical engineering and electromechanics

Mykolaiv National Agrarian University

Mykolaiv, Ukraine

Abstract. *The results of simulation of the dynamic system of the electric drive demonstrate indicators of transient processes that correspond to reality. The obtained results can be used for further development and modernization of control systems of electromechanical systems in industrial processes aimed at energy saving and limitation of dynamic loads.*

Keywords: *electromechanical system, belt conveyor, mathematical model, multi-mass system, electric drive, IF-AD system.*

To analyze the dynamic properties of the electromechanical system of the belt conveyor, it is necessary to mathematically describe this system. Depending on the tasks, mathematical models can have a different structure [1]. A multi-mass mathematical model can be used to limit dynamic loads in the kinematic chains of the electromechanical system of the conveyor installation. Control can have parallel or serial coordinate correction.

The basis for these models is a mathematical description of the electromechanical system of a belt conveyor with an open control system. Modern adjustable electric drives of conveyors with asynchronous motors use frequency converters with autonomous voltage or current inverters [2].

Mathematical models of frequency-regulated electric drives are complex and not very suitable for solving problems of energy saving and limiting dynamic loads. Therefore, static and energy properties of the electromechanical system of the conveyor installation are important for these tasks, however, to solve the given task, the mathematical model can be simplified, ignoring high-frequency electromagnetic oscillations.

Pconstruction and research of the dynamic system of the electric drive in the IF-AD system for the mathematical description of the electromechanical system of the belt conveyor.

Consider the dynamic structure of the IF-AD system, as a basis for the mathematical description of the control function, you can take the schematic diagram of the IF-AD system [3]:

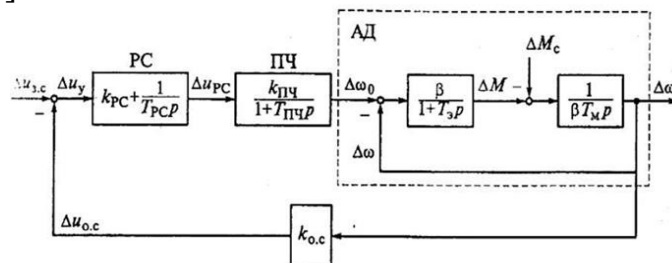


Fig. 1 – The structural diagram of the closed feedback system of the IF-AD by speed is presented: RS - speed regulator, IF - frequency converter, AD - asynchronous motor

It should be noted that fig. 1 presents a linear structural diagram of a closed loop feedback system of the IF-AD by speed. This is a structural diagram of a closed loop feedback system with PT-AD speed using the MATLAB program shown in fig. 2.

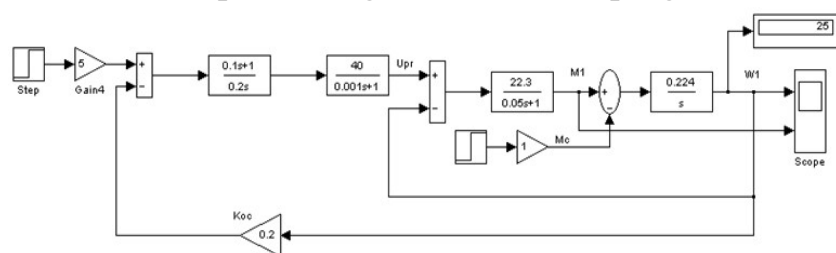


Fig. 2 – Structural diagram of the closed system of the IF-AD

For modeling, the critical value and coefficient of the closed-loop IF-AD system were selected [4].

The curves of the speed regulation process and the influence of $U(z.s.) = 1(t)$ on the moment of the closed system of the AC-AD asynchronous motor with a single lift of the control body at the system input are shown in Fig. 3 [5].

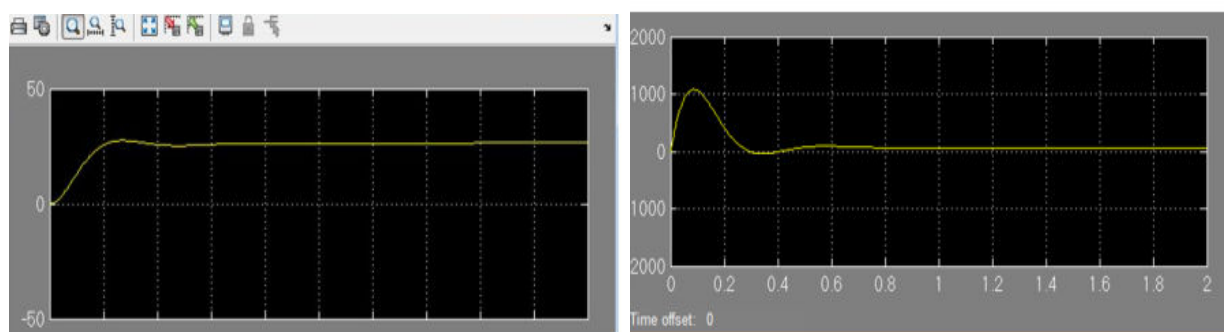


Fig. 3 – Curves of the transient process of speed and moment in the closed system of the IF-AD asynchronous motor

The upper curve of the transient process is considered to be the transient process of the speed of the induction motor, and the lower curve is considered to be the transient process of the electromagnetic torque of the motor. As shown in fig. 3, the speed adjustment is equal to 30%. The parameters on the schematic diagram are the parameters of the 4A112M4 U3 asynchronous motor.

The result of the performed work was the construction and research of the dynamic system of the electric drive in the IF-AD system on the basis mathematical description of the control function of a single-motor asynchronous motor. As a result of the simulation, we obtained indicators of transient processes of AD robot that correspond to reality. Thus, the use of this model will give us the opportunity to mathematically describe the electromechanical system of the belt conveyor, for example, for its modernization.

That is, the results of the work can be used for further development and improvement of control systems in industrial processes using electromechanical systems.

References

1. Автоматизований електропривод стрічкових конвеєрів. *4ua.co.ua*. URL: http://4ua.co.ua/manufacture/qa3ac69b5d43a88421216c27_1.html.
2. Хілов В. С. Дослідження інформаційно-аналітичних властивостей електромеханічної системи при нелінійній корекції за завданням потужності. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2014. № 4. С. 114–120.
3. Афанасьєв І. Підвищення ефективності застосування системи автоматизованого електропривода вильоту стріли порталного крана : Дипломна робота. Вінниця : Вінн. нац. аграр. ун-т, 2023. 86 с.
4. Increasing of the Elevator Noria Efficiency / I. Biliuk et al. 2022 *IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*,

5. Measurement of dielectric permeability of biological substances / M. Kundenko et al. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2018. No. 3. P. 89–93.

Анотація. *Результати моделювання динамічної системи електроприводу демонструють показники перехідних процесів, що відповідають реальності. Отримані результати можуть бути використані для подальших розробок та модернізації систем керування електромеханічними системами в промислових процесах, спрямованих на енергозбереження та обмеження динамічних навантажень.*

Ключові слова: *електромеханічна система, стрічковий конвеєр, математична модель, багатомасова система, електропривід, система ПЧ-АД.*

Supervisor:

Vakhonina L.V.,

*Ph.D. physical mate. Sciences, associate professor
department of electric power engineering, electrical engineering and
electromechanics
Mykolaiv National Agrarian University*

УДК: 621.3.042:621.313.333

СУЧАСНИЙ СТАН ЗАСТОСУВАННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ З ЗОВНІШНІМ РОТОРОМ І АКсіАЛЬНИМ ЗАЗОРОМ

Андрій Ставинський

канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Миколаївський національний аграрний університет
м. Миколаїв, Україна

Анотація. *На основі огляду інформаційних джерел визначена інтенсифікація застосування в рухомих транспортних об'єктах спеціальних асинхронних двигунів з зовнішнім ротором і аксіальним зазором. Показана можливість удосконалення таких двигунів на основі заміни плоских і спіральних циліндричних шарів сталі магнітопроводів на конусно-плоскі і конусно-циліндричні структури.*

Ключові слова: *транспортні об'єкти, спеціальні електродвигуни, зовнішній ротор, аксіальний зазор, удосконалення.*

Одним із напрямків удосконалення низки технічних об'єктів і технологічного обладнання є створення електромеханізмів при застосуванні електричних машин з підвищеною конструктивною пристосованістю до

елементів будови до таких об'єктів, як мотор-колеса, електроventильатори, центрифуги, роликові транспортери та інші. До вказаних спеціальних машин відносяться асинхронні двигуни з зовнішнім ротором (АДЗР) і аксіальним робочим зазором (ААД) [1-4]. Такі двигуни відрізняються відносно машин традиційної будови з внутрішнім циліндричним ротором підвищеною масою і металоємністю короткозамкнених роторів.

Визначення можливості удосконалення АДЗР і ААД на основі нетрадиційних конструктивно-технологічних рішень магнітопроводів.

Використання АДЗР і ААД останнім часом поширюється в транспортних засобах з гібридними (теплоелектричними) рушіями і тяговим електроприводом [5-8].

Структури активних частин АДЗР і ААД обумовлюють погіршене електромагнітне використання (знижену магнітну індукцію в зубцах) та підвищені маси, металоємність і моменти інерції роторів. Вказані особливості обумовлені збільшенням середніх розмірів зубцевих кроків магнітопроводів при зовнішньому і аксіально-паралельному положеннях активних поверхонь відносно зубцевого кроку ротора традиційного аналогу (рис. 1).

Особливістю застосування і експлуатації обортових механізмів в рухомих об'єктах є дія додаткового гіроскопічного навантаження на підшипники та інші конструктивні елементи.

При хитавиці і маневруванні відбувається коливальне повертання транспортного засобу відносно його конструктивних вісей. При подвійному обертанні рухомої конструктивної частини пересувного об'єкту у динамічному стані на ротор цієї частини і підшипники діє момент гіроскопічної реакції M_r (рис. 2) і сила P_r , що визначаються [9]:

$$P_r = M_r / l_{оп} = Y_{R\Sigma} \Omega_m \Omega / l_{оп}, \quad (1)$$

де $l_{оп}$ – відстань між опорними підшипниками; $Y_{R\Sigma}$ – підсумковий момент інерції обортової системи (махових мас); Ω_m – кутова частота повертання (коливання) механізму (транспортного засобу в просторі); Ω – частота обертання ротора.

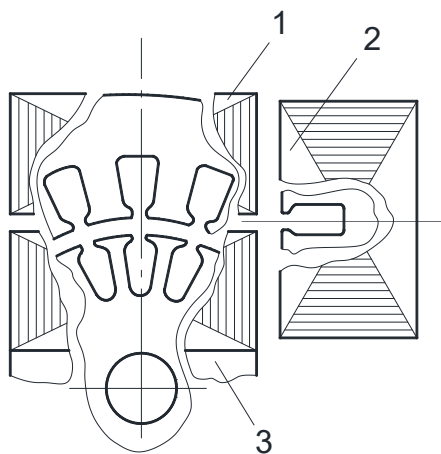


Рис. 1. Схеми магнітопроводів роторів електромагнітно-еквівалентних асинхронних

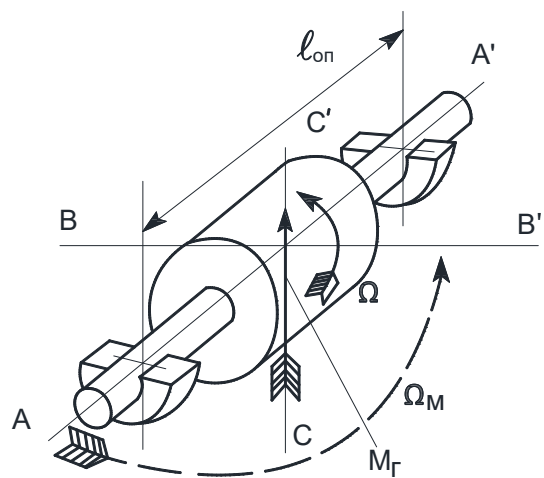


Рис. 2. Дія гіроскопічного моменту на ротаційний механізм

двигунів з традиційними
структурами магнітопроводів
роторів: 1 – з зовнішнім ротором;
2 – з аксіальним зазором; 3 – з
внутрішнім ротором.

Момент M_r намагається повернути ротор (рис. 2) навколо вісі BB' таким чином, щоби вісь AA' найкоротшим шляхом сумістилась з віссю CC' примусового переміщення рухомого об'єкту [9].

Діючи на обертові вузли транспортних механізмів гіроскопічні навантаження (1), потребують підсилення підшипників і інших конструктивних елементів та підвищення металоємності. Погіршуються масовартісні показники вузлів транспортних технічних об'єктів, зокрема тягових та допоміжних АДЗР і ААД.

Зниження мас і моментів інерції роторів та підвищення коефіцієнтів корисної дії АДЗР і ААД досягається структурними перетвореннями магнітопроводів.

Вказані перетворення (рис. 3, а, рис. 4, а) уявляються в заміні традиційних структур плоских (рис. 3, б) і спірально-циліндричних (рис. 4, б) шарів електротехнічної сталі магнітопроводів на відповідно конусно-площинні і конусно-циліндричні шари [10,11].

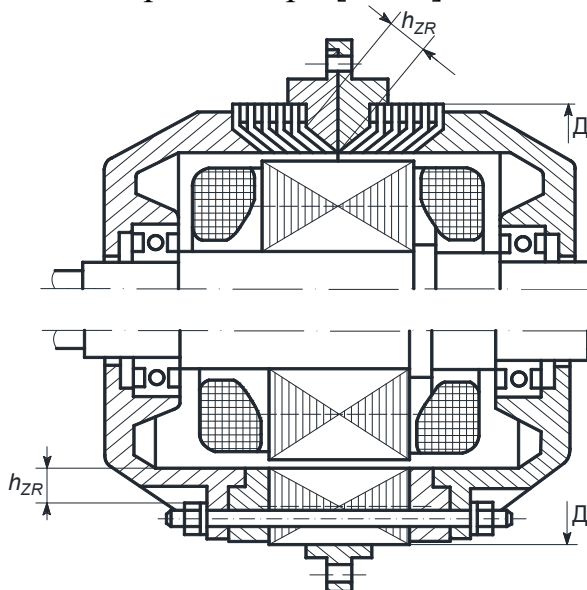


Рис.3. Варіанти конструктивної схеми оберненого асинхронного двигуна з конусно-площинними (а) і площинними (б) шарами електротехнічної сталі магнітопроводів зовнішніх роторів

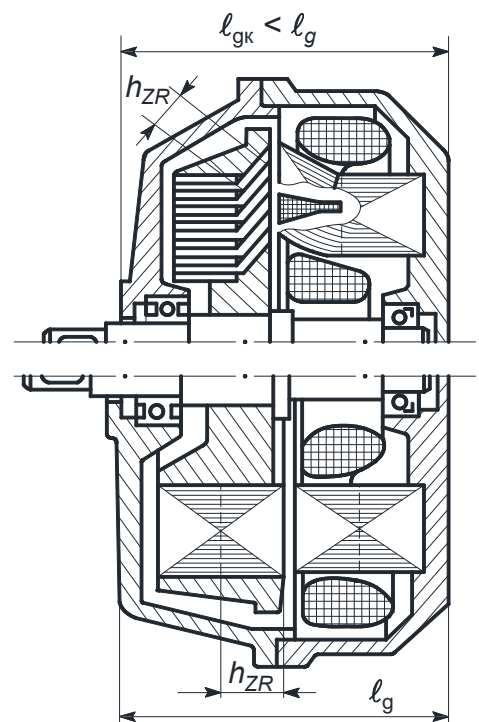


Рис.4. Варіанти конструктивної схеми аксіального асинхронного двигуна з конусно-циліндричними (а) і спірально-циліндричними (б) шарами електротехнічної сталі витих магнітопроводів роторів

Структурно-геометричні перетворення (рис. 3, рис. 4) надають можливість зниження радіусів інерції $R_{iR3(a)}$ і мас $M_{iR3(a)}$ $i=1...k$ активних та

конструктивних елементів зовнішнього і аксіального роторів, що призводить до суттєвого зниження моментів інерції роторів і гіроскопічних навантажень (1) АДЗР і ААД в приводах транспортних рухомих механізмів

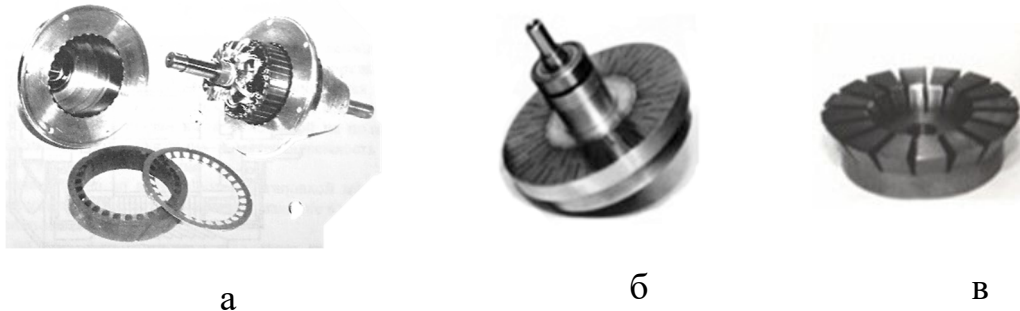
$$J_{R\Sigma} = \sum_{i=1}^{i=K} M_{iR3(a)} R^2_{iR3(a)}. \quad (2)$$

Також зменшуються середні діаметри короткозамикаючих кілець обмоток і середні діаметри ярів магнітопроводів роторів (рис. 3, а, рис. 4, а) відносно аналогічних параметрів роторів (рис. 3, б, рис. 4, б). Зменшуються втрати короткозамкнених обмоток і намагнічувальний струм. Тому просторові структури перетворених магнітопроводів покращують енергетичні характеристики вказаних спеціальних електродвигунів відносно аналогів з традиційними будовами магнітопроводів. Покращуються масовартісні показники (рис. 3, рис. 4):

$$D_{RK} < D_{RP}; l_{gk} < l_g.$$

Реальні зразки активної частини АДЗР і ротора та магнітопроводу ААД розглянутих інноваційних будов наведено на рис. 5.

Рис. 5. Зразки активної частини і магнітопроводів просторових структур



асинхронних двигунів з зовнішнім ротором (а) та аксіальним зазором (б, в)

Застосування в АДЗР і ААД просторових відповідно конусно-площинних і конусно-циліндричних магнітопроводів роторів є суттєвими засобами підвищення технічного рівня тягового електрообладнання рухомих об'єктів з динамічними режимами навантаження.

Список використаних джерел

1. Soong W. L., Kliman G. B., Johnson R. N., White R. A., and Miller J. E., Novel high-speed induction motor for a commercial centrifugal compressor. IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 36, no. 3, May–Jun. 2000, pp. 706–713.
2. Holik P., Dorrell D., Popescu M., Improvement of external-rotor split-phase induction. IEEE Trans. Magn., vol. 43, no. 6, Jun. 2007, pp. 2549–2551.
3. Zahra Nasiri-Gheidari, Hamid Lesani, A Survey on Axial Flux Induction Motors, Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), 2012, vol. 88, no. 2, pp 300-305.
4. Virlan B., Benelghali S., Simion A., Livadaru L., Outbib R., Analysis of a three phase induction motor with outer rotor for multi-speed applications. Proc. 20th Int. Conf. Elect. Mach., Marseille, France, 2012, pp. 409–415.
5. Virlan B., Benelghali S., Simion A., Livadaru L., Outbib R.. Induction Motor with Outer Rotor and Ring Stator Winding for Multispeed Applications. IEEE Transactions on ENERGY CONVERSION. 2013 Desember.

6. Chaker N., Ben Salah I., Tounsi S., Neji R. Design of axial-flux motor for Traction application. Electromagnetic Analysis & Applications, 2009, noz., pp73-83.
7. Mushid F.C., Dorrell D.G. Review of axial flux induction motor for automotive applications. IEEE Workshop on Electrical Machines Design, Control and Diagnosis. 20 April 2017. DOI:[10.1109/WEMDCD.2017.7947738](https://doi.org/10.1109/WEMDCD.2017.7947738). Corpus ID: 27556509
8. Ставинський А.А. Проблема і напрямки подальшої еволюції пристроїв електромеханіки. Електротехніка і електромеханіка. 2004, №1, с.57-61.
9. Ставинський А.А. Особливості призначення і використання спеціальних електричних машин. Електротехніка і електромеханіка. 2008, №1, с.44-48.

Abstract. *Based on a review of information sources, the intensification of the use of special asynchronous motors with an external rotor and axial clearance in mobile transport objects has been determined. The possibility of improving such motors based on replacing flat and spiral-cylindrical layers of magnetic core steel with conical-planar and conical-cylindrical structures has been shown.*

Keywords: *transport facilities, special electric motors, external rotor, axial clearance, improvement.*

УДК. 621.314

АНАЛІЗ СТАНУ СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Віталій Мардзявко

асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки
Миколаївський національний аграрний університет,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. *У роботі здійснено узагальнений аналіз сучасних підходів до перетворення електромагнітних систем із використанням трансформаторів для формування багатофазних режимів живлення. Проаналізовано обмотувальні та конструктивні методи створення фазових зсувів, встановлено їхні переваги та обмеження. Показано, що конструктивні рішення з оптимізованою просторовою організацією активної частини трансформатора забезпечують найвищу симетрію ЕРС та мінімальні гармонічні спотворення, тоді як обмотувальні схеми вирізняються технологічною доступністю та гнучкістю. Визначено актуальні проблеми, пов'язані з вищими гармоніками, тепловими режимами та низькими значеннями коефіцієнта потужності, що вказує на необхідність подальшої оптимізації систем перетворення числа фаз.*

Ключові слова: *трансформаторні перетворювачі, багатофазні системи, фазове перетворення, обмотувальні методи, конструктивні методи, електромагнітна система, гармонічні спотворення, симетрія ЕРС.*

Сучасна електроенергетика перебуває у стані активного технічного переосмислення, що пов'язано з переходом на нові принципи формування, передачі та перетворення електричної енергії. Традиційні трифазні системи, які десятиліттями забезпечували основні потреби промисловості, транспорту та енергопостачання, нині стикаються з низкою обмежень: високим рівнем гармонічних спотворень, нерівномірністю навантаження, складністю компенсації реактивної потужності та недостатньою гнучкістю при змінних робочих режимах.

Одним із напрямів вирішення цих проблем є використання багатофазних систем живлення, створених на основі спеціалізованих трансформаторів. Перетворення числа фаз за допомогою трансформаторних систем дозволяє підвищити ефективність енергопередачі, зменшити пульсації напруги та струму, покращити електромагнітну сумісність і стабільність роботи потужних електроприймачів.

Метою роботи є аналіз сучасних підходів і тенденцій у сфері перетворення електромагнітних систем на основі трансформаторів, а також оцінка ефективності різних методів формування багатофазних систем живлення з урахуванням конструктивних та електромагнітних характеристик.

У процесі аналізу сучасних підходів до побудови багатофазних електромагнітних систем на основі трансформаторів було встановлено, що основним напрямом розвитку є підвищення енергоефективності, стабільності та електромагнітної симетрії вихідних параметрів шляхом удосконалення конструкцій і схем з'єднання обмоток.

Залежно від принципу реалізації процесу перетворення електричної енергії всі розглянуті рішення можна поділити на **дві основні групи - обмотувальні та конструктивні методи**.

Обмотувальні методи перетворення фаз базуються на створенні необхідного фазового зсуву між вихідними напругами за рахунок зміни схеми з'єднання обмоток, кількості витків і напрямку намотування котушок. Такі рішення дозволяють формувати системи з непарною кількістю фаз ($3 \rightarrow 5$, $3 \rightarrow 7$) без радикальної модифікації магнітопроводу, що робить їх технологічно доступними для впровадження на базі серійних трансформаторів.

Аналіз [1-3] експериментальних і модельних досліджень показав, що застосування багатофазних трансформаторів із правильно підібраними параметрами обмоток дає змогу отримувати рівномірно розподілені фазові кути (для п'ятифазної системи — по 72°) та мінімізувати амплітуду вищих гармонік у вихідному сигналі. Зокрема, у трансформаторі типу «трифазно-п'ятифазний» зафіксовано зменшення пускового струму з 7,04 А до 4,32 А, коефіцієнт потужності системи на рівні 0,324–0,39 та стабільну форму напруг при живленні п'ятифазного асинхронного двигуна. Отримані результати підтверджують, що зміна конфігурації обмоток є ефективним способом створення багатофазних систем для середньої потужності, де важлива гнучкість і простота конструкції. Основними перевагами методу є компактність, технологічна доступність, можливість реалізації на базі серійних трансформаторів і адаптивність до змінних режимів навантаження. Водночас недоліки полягають у підвищеній

чутливості до точності намотування, нерівномірності фазових кутів при зміні температури та наявності реактивних складових у навантаженні, що знижує коефіцієнт потужності системи.

Конструктивні методи [4] формування багатофазності передбачають зміну просторової структури активної частини трансформатора з метою створення природного фазового зсуву електрорушійних сил (ЕРС). У ході дослідження було проаналізовано три базові схеми конструкцій трансформаторних перетворювачів числа фаз (ТПФ) [4]. Перша — трифазна система з обмотками на ярмах, яка забезпечує формування фазових зсувів шляхом розміщення первинних і вторинних обмоток на різних елементах магнітопроводу. Така схема дозволяє здійснювати регулювання напруги поперечним підмагнічуванням і є ефективною для зварювальних і регульованих джерел живлення. Друга — система з проміжними стрижнями, що включає додаткові магнітні елементи для формування багатофазних вихідних ЕРС (6, 9, 12 фаз) без складних схем керування. Її основна перевага полягає у високій симетрії вихідних фаз і зниженні магнітного розсіювання. Третя — осьова електромагнітна система з обертовим магнітним полем, яка є сучасним рішенням для потужних і високочастотних систем. Завдяки спеціальному розташуванню концентрованих або розподілених котушок формується природна симетрія ЕРС, що не залежить від навантаження. Такий підхід забезпечує найкращу якість електроенергії та мінімальні гармонічні спотворення.

Порівняльний аналіз трьох варіантів конструкцій показав, що найвища симетрія ЕРС досягається в осьових системах, найкраща компактність — у конструкцій з ярмовими обмотками, можливість керування напругою реалізується лише у схемах із поперечним підмагнічуванням, а найвища якість енергії характерна для систем з обертовим магнітним полем. Таким чином, ефективність перетворення трифазного живлення у багатофазне значною мірою визначається просторовою організацією активної частини трансформатора, а не лише схемою з'єднання обмоток.

Аналіз показав, що ефективне перетворення трифазного живлення у багатофазне забезпечується двома основними підходами: обмотувальним та конструктивним. Обмотувальні методи дозволяють формувати непарні системи фаз без значних змін трансформатора, забезпечуючи компактність та адаптивність до навантажень, проте чутливі до точності намотування. Конструктивні методи, шляхом зміни просторової організації активної частини, створюють природні фазові зсуви, забезпечуючи високу симетрію, мінімальні гармоніки та стабільність при змінних режимах. Найефективнішими є осьові системи з обертовим магнітним полем, тоді як схеми з ярмовими обмотками або проміжними стрижнями забезпечують компактність та можливість регулювання напруги.

Проведений аналіз також дозволив виявити низку актуальних технічних проблем. Більшість існуючих схем не враховують вплив вищих гармонік на вихідну напругу, що може призводити до перевантажень, перегрівів та зниження ефективності системи. Недостатньо досліджено теплові режими роботи багатофазних систем, особливо при високих струмових навантаженнях. Крім того, низький коефіцієнт потужності (0,32–0,39), зафіксований у більшості

експериментальних моделей, вказує на необхідність удосконалення схем компенсації реактивної енергії.

Список використаних джерел

1. Pham Ai Quoc, Pham Cong Duy. Manufacturing of a transformer for converting 3-phase to 6-phase electric power source. *Journal of Science and Technology*. 2024. Т. 72. С. 1–10.
2. Analysis and Comparative Study of Six Phase Transmission System. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2016. Т. 5. С. 1351–1361.
3. T. M. I. Bin Tuan Yacob, Z. B. Zakaria. Study of six phase transmission line using the autotransformer conversion. *2011 IEEE Student Conference on Research and Development*, м. Cyberjaya. 2011.
4. Ставинський А., Ставинський Р., Плахтир О. Способи забезпечення спеціальних вимог до силового електрообладнання на основі трансформаторів і трансформаторних перетворювачів з просторною структурою. *Електротехніка і електромеханіка*. 2005. № 4. С. 30–36.

Abstract. *The paper provides a generalized analysis of modern approaches to the transformation of electromagnetic systems using transformers to form multiphase power supply modes. The winding and design methods for creating phase shifts are analyzed, their advantages and limitations are established. It is shown that design solutions with optimized spatial organization of the active part of the transformer provide the highest EMF symmetry and minimal harmonic distortions, while winding schemes are distinguished by technological accessibility and flexibility. Current problems associated with higher harmonics, thermal modes and low power factor values are identified, which indicates the need for further optimization of phase number conversion systems.*

Keywords: *transformer converters, polyphase systems, phase transformation, winding methods, design methods, electromagnetic system, harmonic distortion, EMF symmetry.*

УДК 621.313.33

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОГРУЖНОГО НАСОСА FP129/5 У СИСТЕМІ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА ГІДРОТРАНСПОРТУ ГРАНУЛ ПОЛІПРОПІЛЕНУ

Фученко Сергій

здобувач вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніки та електромеханіка

Миколаївський національний аграрний університет
м. Миколаїв, Україна

Анотація: *Робота присвячена модернізації нерегульованого електропривода погрузного насоса FP129/5 у складі системи охолодження та гідротранспорту гранул поліпропілену лінії P129. Об'єктом є замкнений контур*

циркуляції демінералізованої води з комплектом вузлів: заглиблена ємність P129/2, погрузний насос P129/5, фільтри P129/6, теплообмінник P129/7, трьохходовий клапан X3100V-A, водовіддільник P129/1, центробіжна сушарка P129/3, вентилятор P129/16, конденсатозбірник P129/33, перемикач напрямку потоку P129/17 та автоматичний регулюючий клапан T3101ICSAHL-A. Запропоновано впровадження частотно-регульованого електропривода з вимірювальними каналами струму й тиску для підтримання заданих параметрів продуктивності та тиску, зменшення енерговитрат і підвищення рівня автоматизації. Проведено вибір датчиків та імітаційні дослідження, у т. ч. режиму струмообмеження. Передбачено економічну оцінку модернізації й заходи з пожежної та екологічної безпеки.

Ключові слова: погрузний насос; частотно-регульований електропривод; гідротранспорт гранул поліпропілену; датчик струму; датчик тиску; імітаційні дослідження; енергоефективність.

У роботі виконано аналіз ефективності виробничого обладнання та сформовано конкретні пропозиції з модернізації на прикладі електропривода погрузного насоса FP129/5. Необхідність оновлення зумовлена потребою підвищити ресурс, енергоефективність і ступінь автоматизації технологічних комплексів виробництва поліпропілену/поліетилену. Очікуваний ефект від впровадження сучасних систем керування — збільшення строку служби, оптимізація витрат енергії та стабілізація параметрів процесу.

Система охолодження і транспорту гранул поліпропілену побудована як замкнений водяний контур: демінералізована вода з ємності P129/2 подається насосом P129/5 на фільтри P129/6, далі - у теплообмінник P129/7 на охолодження та через регулюючу арматуру - до вузлів водовідділення, сушіння та відведення вологи; повітря з сушарки відсмоктується вентилятором P129/16 через конденсатозбірник P129/33. Температуру демінералізованої води підтримують автоматично в межах (45–70) °C. В період пуску передбачено обвідну лінію («байпас») та попередній підігрів води парою 4 кгс/см².

В умовах змінних витрат і тиску в контурі гідротранспорту (зокрема під час пуску/виходу на режим) традиційне дроселювання призводить до зайвих витрат та погіршує керованість. Мета модернізації — впровадження частотно-регульованого привода з контурами зворотних зв'язків за струмом і тиском для підтримання цільових значень продуктивності/тиску та підвищення енергоефективності.

Розраховано канали вимірювання координат ЧРЕП і виконано добір засобів вимірювання для зворотних зв'язків. Для контролю фазних струмів застосовано три трансформаторні датчики струму CR4110-5 (CR Magnetics), які забезпечують гальванічну розв'язку, стабільність параметрів у часі та роботу за підвищеного вмісту гармонік; номінальні значення: $I_{\text{вим}} = 5 \text{ А}$, $U_{\text{вих}} = 0...5 \text{ В}$, живлення 24 В, смуга 0,02...5 кГц, швидкодія 250 мс. Для вимірювання тиску середовища обрано «Метран-100-ДИ-1162», що формує уніфікований струмовий сигнал для систем автоматичного контролю/регулювання.

Побудовано імітаційну модель регульованого електропривода для перевірки працездатності, у т. ч. режиму струмообмеження, що є критичним під

час пусків і перехідних процесів у насосних установках. Структура розділу містить три етапи: побудова моделі, перевірка працездатності, дослідження режиму струмообмеження.

У межах економічної частини сплановано й оцінено електромонтажні та пусконаладжувальні роботи, складено кошторис проєкту, а також зведений бюджет на виконання НДР; окремо наведено кошторис матеріальних ресурсів (обладнання, витратні матеріали, ПЗ). Питання безпеки включають аналіз небезпечних/шкідливих виробничих факторів, виробничу санітарію, розрахунок захисного заземлення приміщення лінії P129, пожежну та екологічну безпеку.

Запропонована модернізація електропривода погрузного насоса FP129/5 забезпечує підвищення надійності та строку служби технологічного обладнання, оптимізацію енергоспоживання, покращення автоматизації та керованості системи охолодження і транспорту гранул поліпропілену. Підтверджено доцільність застосування контурів зворотних зв'язків за струмом і тиском, а також ефективність режиму струмообмеження в перехідних процесах за результатами імітаційних досліджень.

Список використаних джерел

1. Оптимізаційний метод для електромагнітних систем електричних апаратів. / Л. Вахоніна та ін. *IEEE 4th international conference on modern electrical and energy systems*. 2022.
2. Циганов О., Ставінський А. Конструктивно-технологічні пропозиції удосконалення однофазного трансформатора з шихтованим магнітопроводом. *Електротехніка та електромеханіка*. 2020. С. 11–17.
3. Variable speed drive optimization model and analysis of comprehensive performance of beam pumping unit / Z.-M. Feng et al. *Journal of petroleum science and engineering*. 2020. Vol. 191. P. 107155.
4. Comparison of Active Power Losses of Single-Phase Electromagnetic Static Devices by Radial Electromagnetic System / O. Sadovoy et al. 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 20–23 October 2022. 2022. URL: <https://doi.org/10.1109/mees58014.2022.10005760>

Abstract: *The work is devoted to the modernization of the unregulated electric drive of the FP129/5 submersible pump as part of the cooling and hydrotransport system for polypropylene granules of the P129 line. The object is a closed circuit for the circulation of demineralized water with a set of components: submerged tank P129/2, submersible pump P129/5, filters P129/6, heat exchanger P129/7, three-way valve X3100V-A, water separator P129/1, centrifugal dryer P129/3, fan P129/16, condensate collector P129/33, flow direction switch P129/17, and automatic control valve T31011CSAHL-A. The introduction of a frequency-controlled electric drive with current and pressure measuring channels is proposed to maintain the specified performance and pressure parameters, reduce energy costs, and increase the level of automation. Sensors have been selected and simulation studies have been conducted, including current limitation mode. An economic assessment of the modernization and fire and environmental safety measures are provided.*

Keywords: *submersible pump; frequency-controlled electric drive; hydraulic transport of polypropylene granules; current sensor; pressure sensor; simulation studies; energy efficiency.*

Науковий керівник:

Руденко А.Ю.

*асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки
Миколаївський національний аграрний університет*

УДК 621.314.332

ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ В МАГНІТОПРОВОДАХ І МАТЕРІАЛОМІСТКОСТІ ТРИФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРНО-РЕАКТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ.

Середа Віталій

здобувач вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніки та електромеханіка

Миколаївський національний аграрний університет
м. Миколаїв, Україна

Анотація: *Обґрунтовано актуальність зниження втрат неробочого ходу у магнітопроводах трифазних трансформаторів (25–2500 кВА, 6–10 кВ) та реакторів у контексті посиленних вимог EN 50464-1 та IEC 60034-30. Показано обмеження традиційних підходів (анізотропні сталі з косими стиками Step-lap/Multi-step-lap, аморфні сталі, «капсульовані/кабельні» обмотки) щодо досягнення суттєвого зниження втрат без зростання матеріаломісткості. Запропоновано комплекс рішень: комбінування анізотропної, ізотропної та аморфної ЕТС; шевронні вставки з інтегральним зварюванням; ортогональне взаємне розташування шарів у планарних/просторових стикових магнітопроводах; перехід від прямокутних/кругових до багатограних контурів (восьми- та шестигранних). Доведено, що шестигранні внутрішні контури та восьмигранний зовнішній контур зменшують нерівномірність поля в ярмах, прибирають «мертву» масу кутових зон і знижують втрати; для витих секцій усунення третіх гармонік забезпечується магнітним зв'язком/ортогональністю шарів. Для обґрунтованого вибору варіантів застосовано метод універсальних безрозмірних цільових функцій (маса/вартість/втрати), який уніфікує порівняння ЕМС ТТ/ТР.*

Ключові слова: *трифазний трансформатор; реактор; шихтований/витий магнітопровід; трансформаторобудування; анізотропна/ізотропна/аморфна електротехнічна сталь; step-lap; восьми- та шестигранні контури.*

Зростання вимог до енергоефективності трансформаторів зумовлено переходом від національних норм до EN 50464-1 та IEC 60034-30. Найбільший внесок у втрати системи дають розподільчі ТТ 25–2500 кВА (6–10 кВ), а також

магнітопроводи трифазних реакторів цього ж діапазону; першочерговим є зниження втрат неробочого ходу.

У минулі десятиріччя втрати скорочували за рахунок кращих питомих характеристик ЕТС (холоднокатана анізотропна, аморфна), але це часто вимагало зниження електромагнітних навантажень або переходу на аморфні стрічки зі зниженим коефіцієнтом заповнення (0,80–0,85 проти 0,96–0,97 у кристалічних сталей), а також спричиняло подорожчання і технологічні обмеження [1].

Текстура анізотропної ЕТС зумовлює ріст втрат у зонах повороту потоку; технології *step-lap/multi-step-lap* зменшують їх частково, але підвищення втрат готових планарних магнітопроводів щодо питомих уздовж прокату сягає 37–58 % незалежно від форми стиків, що лишається проблемою для ТТ/ТР малих габаритів.

Для зменшення нерівномірності поля пропонується виконувати зовнішню частину дворамного шихтованого магнітопроводу зі сталі з кращими магнітними властивостями; інший варіант — комбінація шарів ізотропної та анізотропної ЕТС з розміщенням в кутових зонах лише ізотропної сталі для повного усунення кутових додаткових втрат. Ефективність підвищує застосування шевронних пластин та їх нероз’ємне з’єднання (лазерне, електронно-променеве, дифузійне тощо) у комбінованій пластині [2].

Заміна прямокутного зовнішнього контуру планарного магнітопроводу на восьмигранний вилучає невикористану масу кутових зон і вирівнює розподіл поля; конструктивно це реалізується трапецієвидними пластинами анізотропної сталі в стрижнях/ярмах та ізотропними пластинами у бокових кутах.

Для планарних стикових магнітопроводів із витими боковими й шихтованим середнім елементами взаємно ортогональне розташування шарів і/або просторові Т-подібні конструкції забезпечують відсутність третіх гармонік контурних потоків і зниження струму намагнічування; у комбінованих навито-пластинчастих структурах ярмно-кутові та стрижневі частини доцільно виконувати з ізотропної/аморфної та анізотропної ЕТС. Для аморфних шарів потрібні тонкі термостійкі ізоляційні покриття стикових сполучень.

Заміна кругових/трикутних контурів на шестигранні знижує нерівномірність поля вздовж радіальної довжини ярма, зменшує індукції у середніх об’ємах сталі й відповідні втрати; ідентичні прямокутні пластини стрижнів практично повністю заповнюють шестигранні контури (коефіцієнт заповнення описаного кола $\approx 0,826$), що разом із центральними отворами та двоконтурними ярмно-кутовими частинами дає додаткове зниження маси й втрат [3].

Для порівняльного вибору рішень запропоновано метод універсальних безрозмірних цільових функцій за критеріями маси, вартості та втрат. Виявлено ідентичність загального виду цільових функцій для трансформаторів, реакторів і асинхронних машин (відповідно до єдиного електромагнітного принципу дії), що уможливорює уніфіковану структурно-параметричну оптимізацію ЕМС ТТ/ТР.

Аморфні сталі мають нижчий коефіцієнт заповнення перерізу стрижня ($\approx 0,80$ – $0,85$) порівняно з кристалічними ($\approx 0,96$ – $0,97$) та характеризуються

підвищеною вартістю і крихкістю, що обмежує їх застосування; стикові поєднання комбінацій ЕТС потребують відпрацювання технологій зварювання й тонких термостійких ізоляційних покриттів у стиках [4].

Отже, проведений аналіз показує, що традиційні способи побудови магнітопроводів, зокрема step-lap, уже не забезпечують необхідного рівня ефективності для трансформаторів і трансформаторних підсилювачів I–III габаритів відповідно до сучасних нормативних вимог. Значного підвищення енергоефективності та електромагнітної сумісності можна досягти шляхом комбінування анізотропної, ізотропної та аморфної електротехнічної сталі з використанням шевронних пластин та інтегрального зварювання, що дає змогу зменшити нерівномірність магнітного поля й кутові втрати. Введення багатогранних (восьми- та шестигранних) контурів сприяє зниженню «мертвої» маси конструкції та більш рівномірному розподілу індукції в осерді. Застосування ортогональних шарів і просторових Т-подібних структур дозволяє ефективно усунути треті гармоніки контурних потоків, що покращує стабільність роботи трансформаторів. Додатково, використання методу універсальних безрозмірних цільових функцій забезпечує комплексну оптимізацію електромагнітних систем трансформаторів за основними критеріями — масою, вартістю та втратами, що створює передумови для розробки уніфікованих та високоефективних конструкцій нового покоління.

Список використаних джерел

1. Ставинський А.А., Авдєєва О.А., Кошкін Д.Л., Ставинський Р.А., Циганов О.М. Технічні рішення щодо зниження втрат в магнітопроводах і матеріаломісткості трифазного трансформаторно-реакторного обладнання. *Електротехніка і Електромеханіка*, 2024, № 2.
2. Osinski P., Witczak P. Analysis of core losses in transformer working at static var compensator. *Energies*. 2023. Vol. 16, no. 12. P. 4584.
3. Niekerk D., Schoombie B., Bokoro P. Design of an experimental approach for characterization and performance analysis of high-frequency transformer core materials. *Energies*. 2023. Vol. 16, no. 9. P. 3950.
4. Paul A. K. Practical study of mixed-core high frequency power transformer. *Magnetism*. 2022. Vol. 2, no. 3. P. 306–327.

Abstract: *The relevance of reducing no-load losses in magnetic circuits of three-phase transformers (25–2500 kVA, 6–10 kV) and reactors in the context of the enhanced requirements of EN 50464-1 and IEC 60034-30 is substantiated. The limitations of traditional approaches (anisotropic steels with Step-lap/Multi-step-lap joints, amorphous steels, “encapsulated/cable” windings) in achieving a significant reduction in losses without increasing material consumption are shown. A set of solutions is proposed: combining anisotropic, isotropic, and amorphous ETCs; chevron inserts with integral welding; orthogonal mutual arrangement of layers in planar/spatial joint magnetic conductors; transition from rectangular/circular to polygonal contours (octagonal and hexagonal). It has been proven that hexagonal internal contours and octagonal external contours reduce field unevenness in yokes, eliminate the “dead” mass of corner zones, and reduce losses; for twisted sections, the elimination of third harmonics is ensured by magnetic coupling/orthogonality of*

layers. For a reasonable choice of options, the method of universal dimensionless objective functions (mass/cost/losses) is used, which unifies the comparison of EMC TT/TR.

Keywords: *three-phase transformer; reactor; laminated/wound magnetic circuit; transformer manufacturing; anisotropic/isotropic/amorphous electrical steel; step-lap; octagonal and hexagonal contours.*

Науковий керівник:

Ставинський А.А.

доктор тех. наук, професор

кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Миколаївський національний аграрний університет

4. АВТОМАТИЗАЦІЯ, ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ

УДК 621.372.8

ВДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ ГЕНЕРАЦІЇ ДИСКРЕТНОЇ СІТКИ ЧАСТОТ РАДІОТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

Ясенко Д.А.

здобувач вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніки та електромеханіка

Національний університет корабле будування імені адмірала Макарова.
м. Миколаїв, Україна

Анотація У роботі розглянуто підхід до вдосконалення генерації дискретної сітки частот у професійних радіотехнічних приймально-передавальних засобах шляхом застосування апаратної реалізації математичного подвоювача частоти. Запропоновано замінити традиційні системи, що ґрунтуються на використанні кількох високостабільних кварцових генераторів і фільтрів, на структуру, створену за принципом каскадного помноження частоти. Показано, що така технологія забезпечує спрощення побудови генератора, підвищує точність формування частот та покращує керованість системи. Наведено приклади схемних рішень та результати осцилографування, які підтверджують працездатність методу та можливість миттєвого перемикавання між частотами без перехідних процесів.

Ключові слова: генерація частоти; дискретна сітка частот; подвоювач частоти; радіотехнічні пристрої; частотні перетворювачі; стабільний генератор; аналогові комутатори.

Сучасні професійні радіотехнічні приймально – передавальні пристрої працюють на основі узгодженої дискретної сітки несучих частот, які створюються шляхом змішування сигналів різних частот і наступного виділення окремих частот за допомогою складних фільтрів [1, 2]. Такі технології досить складні, вимагають наявності ряду високо стабільних кварцових генераторів і складних полосових фільтрів. До того ж ускладняється і система керування таким генератором, оскільки на приймальній і передаючій стороні необхідну частоту необхідно вибирати майже одночасно.

Пропонується змінити технологію побудови подібних генераторів на основі використання майже ідеального помножувача частоти. Ідея його витікає з відомої формули подвійного кута []

$$\sin^2 x = 0.5 + 0.5 \cos(2x)$$

з якої витікає:

$$\cos(2x) = 2 \cdot \sin^2 x - 1$$

Апаратна реалізація такої формули досить проста. Її схема наведена на рис. 1, а,

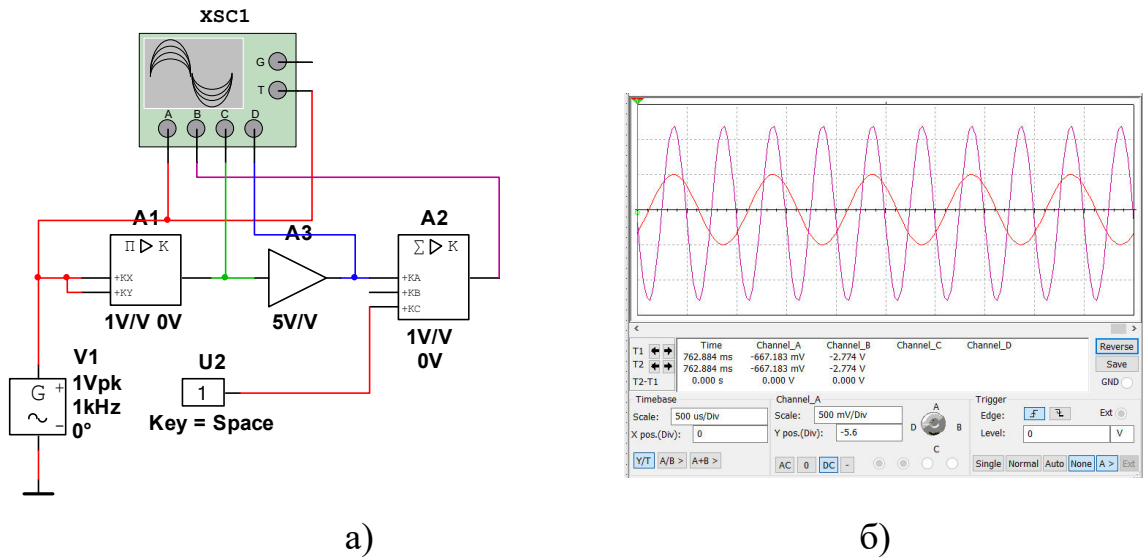


Рис.1. Апаратна реалізація формули

а на рис. 1, б – осцилограми вхідного і вихідного сигналів пристрою подвоєння частоти.

Як витікає з формули і, відповідно, з схеми – реалізація пристрою досить проста і може бути виконана в одному корпусі мікросхеми операційного підсилювача. Для її реалізації необхідно мати лише один генератор стабільної частоти. Ніяких проблем з каскадним нарощуванням таких генераторів немає, що ілюструє осцилограма, що наведена на рис. 2.а.

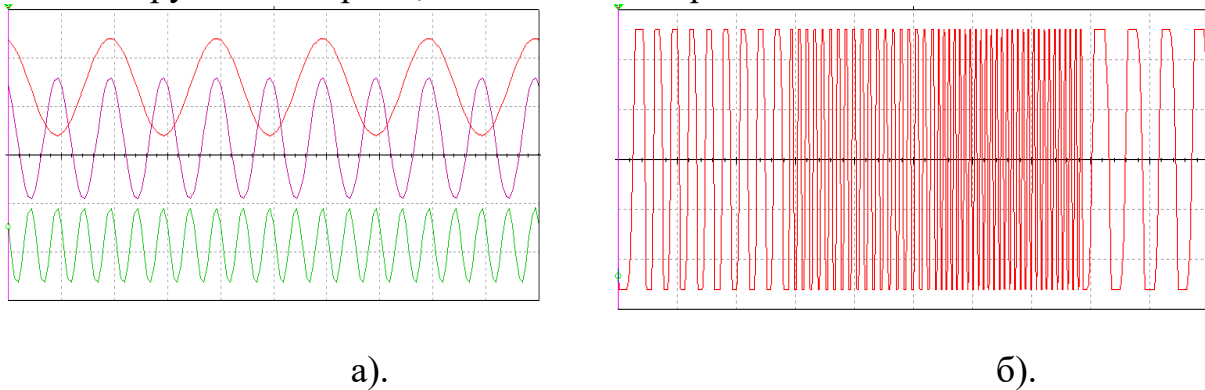


Рис.2. Осцилограма

Послідовне нарощування таких перетворювачів дає можливість побудови ряду високо стабільних генераторів, а використання аналогових комутаторів [3] дозволяє практично миттєво генерувати будь – яку частоту з закладеного ряду. На рис. 2, б наведено приклад осцилограми на чотири частоти. При цьому відсутні перехідні процеси, які супроводжуються переходом з одної частоти до іншої.

Апаратна реалізація математичного подвоювача частоти синусоїдального сигналу дозволяє суттєво спростити технологію побудови генераторів дискретної сітки частот, підвищити їх точність і системи керування.

Список використаних джерел

1. М.П. Медиченко, В.П. Литвинов . Радіотехнічні кола і сигнали. Навчальний посібник. Вид. МГОУ 2011, 542с.
2. Меліхов С.В. Аналогове і цифрове радіомовлення. Навч. посібник. Вид ТДУ, 2012р. 233с,
3. Вигодський М.Я. Довідник з елементарної математики. <https://storynest.com.ua/knyha-dovidnyk-z-elementarnoi-matematyky-vygodskyi>.
4. Рябенький В.М. Співак В. М. Моделювання пристроїв обробки аналогових сигналів. Миколаїв, вид. Ілліон, 2018, 382с.

Abstract. *The paper considers an approach to improving the generation of a discrete frequency grid in professional radio receivers and transmitters by using a hardware implementation of a mathematical frequency doubler. It is proposed to replace traditional systems based on the use of several highly stable quartz oscillators and filters with a structure created on the principle of cascade frequency multiplication. It is shown that such technology simplifies the construction of the generator, increases the accuracy of frequency formation, and improves the controllability of the system. Examples of circuit solutions and oscillography results are given, which confirm the operability of the method and the possibility of instant switching between frequencies without transients.*

Keywords: *frequency generation; discrete frequency grid; frequency doubler; radio engineering devices; frequency converters; stable generator; analog switches*

Науковий керівник:

Рябенький В.М.

професор

*кафедри програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
Національний університет корабле будування імені адмірала Макарова*

УДК: 621.31

АНАЛІЗ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ВИСОКОЧАСТОТНИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ ОЗОНУ

Кунденко Олександр Миколайович

здобувач вищої освіти, спеціальність 181 Харчові технології

Національний технічний університет "Харківський політехнічний
інститут" Харків, Україна

Анотація. *Останнім часом стало актуальним використання високочастотних перетворювачів джерела напруги для генерації озону в різних галузях, включаючи водоочищення, медицину та промисловість. У статті аналізуються різні стратегії управління високочастотними перетворювачами*

для генерації озону, зокрема використання методів широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) та адаптивних алгоритмів. Оцінюється їх ефективність у контексті стабільності роботи генератора озону та забезпечення необхідної концентрації озону при змінних навантаженнях.

Ключові слова: високочастотний перетворювач, джерело напруги, озон, широтно-імпульсна модуляція, адаптивне управління, енергетична ефективність.

Генерація озону є важливою технологією, яка використовується в різних галузях, таких як водоочищення, дезінфекція та медичні застосування. Високочастотні перетворювачі джерела напруги відіграють важливу роль у цій технології, забезпечуючи стабільну генерацію озону при різних навантаженнях. Однак, для досягнення високої ефективності та стабільності генерації необхідно застосовувати оптимальні стратегії управління, які здатні адаптуватися до змінних умов роботи.

Методи управління високочастотними перетворювачами. Для управління високочастотними перетворювачами для генерації озону широко використовуються методи широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Ці методи дозволяють ефективно контролювати амплітуду та частоту вихідної напруги, що є критичним для стабільної генерації озону. В статті розглянуто різні варіанти ШІМ, включаючи класичні та адаптивні стратегії. Адаптивне управління дозволяє змінювати параметри ШІМ в залежності від поточного навантаження, що забезпечує максимальну ефективність генерації озону при змінних умовах.

Аналіз ефективності. Аналіз різних стратегій управління показав, що використання адаптивних алгоритмів управління дозволяє досягати більш стабільної генерації озону та знижувати енергетичні витрати порівняно з традиційними методами ШІМ. Адаптивне управління дає змогу точно коригувати параметри перетворювача залежно від зміни навантаження, що важливо для підтримки стабільної концентрації озону. Крім того, такі стратегії дозволяють знижувати теплові втрати та підвищувати загальну енергоефективність системи [1].

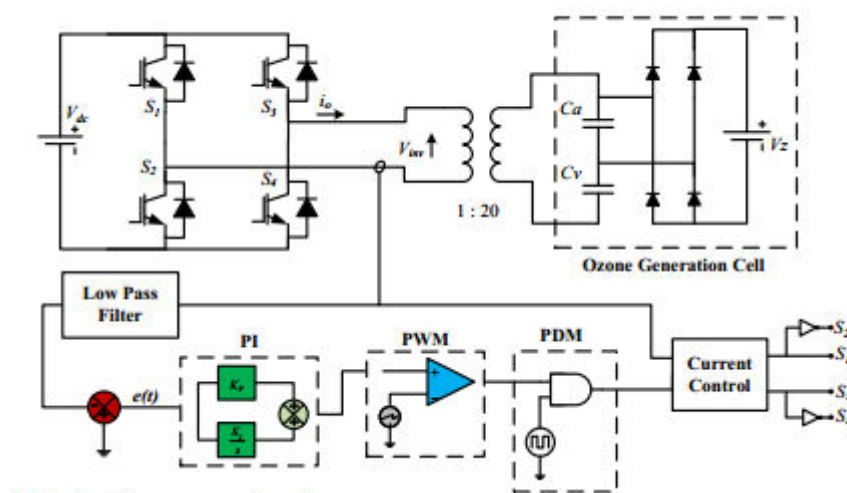


Рис. 1. Схема управління високочастотним перетворювачем для генерації озону з використанням адаптивного ШІМ [1]

За результатами дослідження авторів [2] використання адаптивного управління дозволяє підвищити стабільність процесу генерації озону та знизити енергетичні витрати на 15-20% порівняно з традиційними методами. Крім того, адаптивне управління забезпечує більш точне регулювання концентрації озону, що є критичним для забезпечення ефективності процесу.

Використання адаптивних стратегій управління високочастотними перетворювачами джерела напруги для генерації озону є перспективним напрямом для підвищення енергоефективності та стабільності роботи таких систем. Адаптивні алгоритми управління дозволяють забезпечити необхідну точність та гнучкість в управлінні, що особливо важливо в умовах змінних навантажень.

Список використаних джерел

1. Bonaldo J. P., Pomilio J. A. Control strategies for high frequency voltage source converter for ozone generation. *2010 IEEE international symposium on industrial electronics (ISIE 2010)*, Bari, Italy, 4–7 July 2010. 2010. URL: <https://doi.org/10.1109/isie.2010.5637402>.
2. Bonaldo J., Pomilio J. Adaptive control strategies in high-frequency power converters for ozone generation. *IEEE transactions on industrial electronics*. 2019. Vol. 66, no. 3. P. 2015–2024.

Abstract: *Recently, the use of high-frequency voltage source converters for ozone generation has become relevant in various industries, including water treatment, medicine and industry. The article analyzes various control strategies for high-frequency converters for ozone generation, in particular the use of pulse-width modulation (PWM) methods and adaptive algorithms. Their effectiveness is evaluated in the context of the stability of the ozone generator and ensuring the required ozone concentration under variable loads.*

Keywords: *high-frequency converter, voltage source, ozone, pulse-width modulation, adaptive control, energy efficiency.*

Науковий керівник:

Кунденко М.П.,

док. техн. наук

кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

РОЗРОБКА СИСТЕМИ БЕЗПРОВІДНОГО КЕРУВАННЯ РУХОМ РОБОТА

Бец Олексій

здобувач вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніки та електромеханіка

Миколаївський національний аграрний університет
м. Миколаїв, Україна

Анотація. *В рамках даного дослідження розглядається сільськогосподарський робот, побудований на основі платформи Arduino UNO, і основним завданням є створення програмного забезпечення для аналізу відеоданих з камери на роботі. Практична значимість цього дослідження полягає у створенні робота та відповідного програмного забезпечення для нього.*

Ключові слова: *Arduino UNO, сільськогосподарський робот, обчислювальна платформа.*

Сьогодні робототехніка вийшла на новий етап розвитку, в результаті чого виникають інтелектуальні системи. Сучасні роботи здатні пересуватися, самостійно досліджувати навколишнє середовище та самостійно виконувати завдання, закладені розробником системи. Проте це все ще не забезпечує роботам повної автономності, якими ми користуємося, тому питання дистанційного керування продовжує залишатися актуальним. Оскільки наша робота полягає у виявленні перешкод з використанням відеоінформації, ми не можемо залишити камеру як сенсор. Ми також можемо використовувати два підходи для обробки відеопотоку:

1. Обробка відеопотоку відбувається безпосередньо на бортовому комп'ютері робота, і, отже, для цього потрібен досить потужний мікроконтролер або мікрокомп'ютер.

2. Відеопотік передається на робочу станцію оператора, де проводиться аналіз, і робоча станція формує команди, які потім передаються роботу.

Отож, оскільки нам треба було передавати відеодані до пункту прийому від відправлювача, нас захопив другий підхід. Його перевагою є те, що мобільному роботу не потрібен потужний бортовий комп'ютер, і ми можемо використовувати менш потужні мікроконтролери, такі як ATtiny або ATmega від Atmel. Крім того, нам не сподобалося б підключати камеру до основного мікроконтролеру, так як це дає нам вільний вибір між апаратною частиною, а також полегшує службу та розбудову обладнання за рахунок користування різними каналами для відео- та даними. [1]

Функціональну схему розробленої системи для інтерактивного управління та передачі відеоданих оператору показано на рис. 1.1.

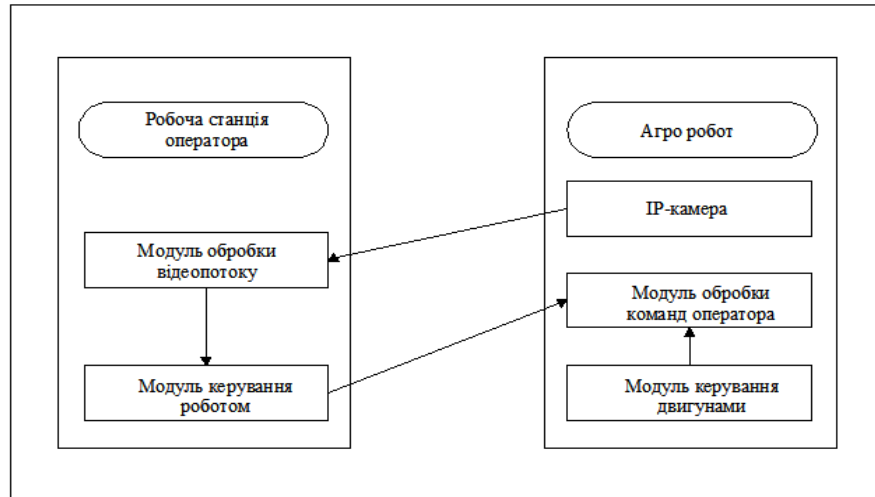


Рис. 1.1. Функціональна схема

Згідно з цією схемою, камера встановлюється на роботі окремо від інших модулів без будь-якого електричного з'єднання. Це закріплення механічно, тобто коміру виділено ще одна компонент не має фізичної взаємодії з іншими модулями системи. Воно не обладнане жодним механізмом руху, крім двох кріплень, які можливо розрізнити. Для руху платформи використовується її керування через модуль L298N. Цей модуль дозволяє автомобільним робота неопосередовано взаємодію з двигунами. Робота володіє двома двигунами: один для обертання і інший для поступального руху. За допомогою цього модуля можна модифікувати, запустити кожний двигун окремо і змінити їх напрямки обертання. Слід зауважити, що кожна із цих фаз апаратної частини робота вимагає додаткову побудову елементів. При цьому, камера повинна відповідати таким вимогам:

1. Забезпечувати можливість користувачу вибирати основні параметри зображення.
2. Зберігати зображення у форматі, який підтримується відкритою бібліотекою.
3. Давати можливість вибирати потрібний інтервал часу між кадрами.

Усі вищезазначені вимоги виконуються програмою «IP Webcam», яка запускається на смартфоні під управлінням ОС Android версії 4.4.2 та робить переклад послідовності кадрів у форматі MJPEG. Для обробки команд та керування роботом проводилось обчислення на обчислювальній платформі, котра широко використовується в даній роботі, – Arduino UNO R3 (рис. 1.2), на базі мікроконтролера ATmega328. [4]



Рис. 1.2. Обчислювальна платформа Arduino UNO R3

Як вже зазначалося, в якості передавача був обраний модуль ESP8266 ESP01, запропонований на рис. 1.3. Основні критерії для його вибору включають в себе: дальність дії, швидкість передачі даних, наявність прошивки з командами для настройки та обміну даними, підтримка UART та TCP/IP стеку. Слід зауважити, що існує 12 типових модифікацій ESP01, проте обрано саме ESP01-RELEASE. [2]



Рис. 1.3. Wi-Fi-модуль ESP8266

Для керування двигунами використано драйвер L298N (рис. 1.4). Вибір цього модуля зумовлений насамперед його здатністю підтримувати напругу до 35 В, а також повною сумісністю з платформою Arduino. [5]



Рис. 1.4. Драйвер для шагових двигунів L298N

У якості пульта керування використовується робоча станція з власним програмним забезпеченням. На рисунку 1.5 подано повну функціональну схему розробленої системи, у якій відображені всі обрані компоненти.

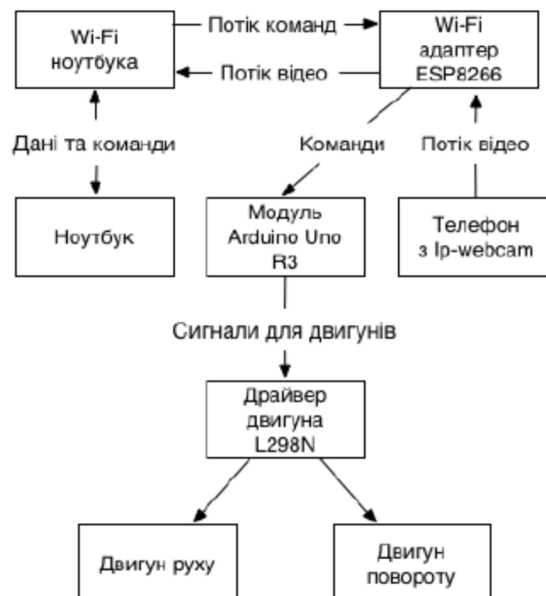


Рис. 1.5. Функціональна схема системи керування з урахуванням обраного обладнання

Отже, виконуючи обґрунтування наявних експериментів, можемо прийти до висновку про працездатність алгоритму обходження перешкод з відеоданих. Ця система має відмінний рівень функціоналу, хоча знаходить обмеження при роботі з перипадковими частотними ситуаціями: відсутність кутів у перешці, занадто мала її площа, високотекстурність підлоги або низька висота об'єкту. У такій ситуації алгоритм може виявити сорому роботу визначення ключових точок перешкоди, а отже не буде враховувати стану об'єкта в оптичному потоку. В результаті було розроблено рішення обходження перешкод на основі обчислювальної платформи Ардуіно та мобільного телефону. Під час розробки було звернуто увагу на розробку баз алгоритму обходження перешкод на відеоданих. До переваг даного рішення слід віднести використання сучасної та доступна гарантійна продукція у сплатформ.

Список використаних джерел:

1. Gerasin O., Balitskiy. Інтелектуальна система дистанційного керування мобільним роботом. *Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених "Автоматика та електротехніка"*. 2018. С. 16.
2. Seamless real-time thermal imaging system with ESP8266: wireless data transfer and display using UDP / M. A. Muttalib Moon et al. *SN applied sciences*. 2023. Vol. 5, no. 11. P. 35–46.
3. Toralov A. Аналіз мікроелектронних цифрових пристроїв збору обробки і передачі даних в робототехнічних системах. *Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості»*. 2023. С. 15–19.
4. Грибенко О. Ю., Даниленко О. Ф. Розробка пристрою управління кроковим електродвигуном : thesis. 2020. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/47168> (дата звернення: 28.10.2023).

5. Толочко О. Бездатчикове векторне керування синхронним двигуном з постійними магнітами. 2019. С. 489–493.

Abstract. *This study examines an agricultural robot built on the Arduino UNO platform, and the main task is to create software for analyzing video data from a camera on the robot. The practical significance of this study lies in creating a robot and the corresponding software for it.*

Keywords: *Arduino UNO, agricultural robot, computing platform.*

Науковий керівник:

Мартиненко В.О.

канд. тех. Наук, доцент

кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Миколаївський національний аграрний університет

УДК 681.5:631.3

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ЕЛЕВАТОРНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Грибов Станіслав

здобувач вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніки та електромеханіка

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

Анотація. *У роботі розглянуто особливості організації систем диспетчерського та дистанційного автоматизованого управління технологічними процесами елеваторів. Наведено основні функції диспетчерського управління, принципи роботи систем дистанційного контролю та блокування, а також роль автоматичного температурного моніторингу при зберіганні зерна. Зазначено переваги впровадження автоматизованих систем у забезпеченні ефективності, безпеки та енергозбереження технологічних процесів елеваторного господарства.*

Ключові слова: *елеватор, автоматизоване управління, диспетчерська система, дистанційне керування, блокування, контроль температури, зерно, технологічний процес.*

Системи управління технологічними процесами на елеваторах можуть мати різну складність і рівень автоматизації залежно від типу зв'язку, рівня технічного оснащення та масштабів підприємства. Зазвичай виділяють три основні схеми диспетчерського управління: просте управління, диспетчерське управління (ДУ) та дистанційне автоматизоване диспетчерське керування (ДАУ).

Диспетчерське управління передбачає централізований контроль і керування технологічним обладнанням з пульта, розташованого в диспетчерській. До основних його функцій належать:

- дистанційний пуск і зупинка електродвигунів транспортного, технологічного та аспіраційного обладнання з автоматичною світловою індикацією роботи кожного двигуна;
- світлова сигналізація про положення розподільних пристроїв і рівень заповнення бункерів;
- автоматичне блокування, що забезпечує необхідну послідовність включення та відключення машин, запобігаючи порушенню технологічного циклу;
- можливість ручного керування усіма розподільними пристроями, засувками та механізмами у разі потреби.

Більш досконалим є дистанційне автоматизоване управління (ДАУ), яке забезпечує не лише дистанційний контроль, але й автоматичну підтримку заданих режимів роботи обладнання. Система дозволяє здійснювати контроль навантаження норій за допомогою амперметрів, підключених до електродвигунів, що виводяться на щит сигналізації. У нижніх частинах норій (черевиках) встановлюються захисні засувки, які автоматично закриваються при сигналі про заповнення бункера, запобігаючи завалам зерна. Рівень заповнення бункерів контролюється датчиками рівня, що формують сигнали для системи автоматики.

Система ДАУ також передбачає автоматичне блокування маршрутів транспортування зерна, що виключає можливість змішування різних партій, забезпечує чітку послідовність запуску обладнання та підвищує безпеку експлуатації. Для зручності обслуговування передбачено два режими роботи:

1. Централізоване автоматизоване керування – усі процеси контролюються з пульта диспетчера.
2. Місцеве управління – здійснюється без автоматичного блокування, що дозволяє проводити наладку, ремонт або випробування окремих елементів системи. Перемикання між режимами виконується з розподільних панелей або з центрального пульта.

Одним із найважливіших елементів автоматизованого контролю є система температурного моніторингу зерна в силосах. Оскільки підвищення температури свідчить про початок процесів самозігрівання та псування зерна, здійснюється постійне відстеження цього параметра за допомогою електротермічних установок. Такі системи не лише відображають поточну температуру, а й дозволяють виявити осередки саморозігрівання, оперативно реагуючи на відхилення.

Установки контролю температури забезпечують автоматичну реєстрацію показників у межах 15–35 °С, а при перевищенні критичного рівня 35 °С активується звукова та світлова сигналізація. Робота системи може запускатися автоматично за розкладом (за допомогою годинникового реле) або вручну оператором.

Завдяки впровадженню таких систем автоматизованого керування підвищується ефективність технологічних процесів елеватора, забезпечується

стабільна робота обладнання, зменшуються енергетичні витрати та покращується якість зберігання зерна.

Список використаних джерел

1. Кіреєв М. О. Автоматизоване керування елеватором з динамічним плануванням технологічних маршрутів. Київ, 2023. 138 с.
2. Design and experiment of an unoccupied control system for a tracked grain vehicle / J. Pan et al. *Sensors*. 2024. Vol. 24, no. 9. P. 2715.
3. Eremeeva A. M., Ilyushin Y. V. Automation of the control system for drying grain crops of the technological process for obtaining biodiesel fuels. *Scientific reports*. 2023. Vol. 13, no. 1.
4. Mardziavko V. A., Rudenko A. Y. Optimization of energy use during routing of transportation of grain elevator. *Electrical engineering and power engineering*. 2025. No. 4. P. 28–35.

Abstract. *The paper examines the features of the organization of dispatching and remote automated control systems for technological processes in elevators. The main functions of dispatching, the principles of operation of remote control and blocking systems, as well as the role of automatic temperature monitoring in grain storage are presented. The advantages of implementing automated systems in ensuring the efficiency, safety and energy saving of technological processes in the elevator industry are noted.*

Keywords: *elevator, automated control, dispatching system, remote control, locking, temperature control, grain, technological process.*

Науковий керівник:

Мардзявко В.А.

асистент

кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Миколаївський національний аграрний університет

УДК 66.094.2

СПОСОБИ КЕРУВАННЯ СВІТЛОДІОДНИМ ОСВІТЛЕННЯМ

Крючков Ростислав

здобувач вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

Анотація. *LED-освітлення поєднує енергоефективність, довговічність і гнучке керування. Воно застосовується в побуті, промисловості та архітектурі, дозволяючи регулювати яскравість, колір і створювати світлові*

сцени. Легко інтегрується із системами "розумного дому" для дистанційного керування.

Ключові слова: LED-освітлення, енергоефективність, довговічність, керування яскравістю, колірна температура, світлові сцени, розумний дім, автоматизація, світлотехніка.

Сучасне LED-освітлення стало проривом у світлотехніці завдяки енергоефективності, довговічності та широким можливостям керування. Світлодіоди застосовуються від побутових рішень до промислових і архітектурних проєктів, забезпечуючи комфорт, економію електроенергії та зменшення екологічного впливу.

Гнучкість керування є ключовою перевагою LED-технологій: можна змінювати яскравість, колірну температуру, створювати динамічні світлові сцени. Це відкриває нові можливості для дизайнерів та архітекторів. Крім того, LED-освітлення легко інтегрується в системи «розумного дому», дозволяючи дистанційне керування через смартфони чи голосові помічники.

Мета роботи полягає у розглянути основні способи керування освітленням на світлодіодах та провести аналіз тенденцій в цій сфері.

Мікроконтролер може працювати як WEB-сервер або MQTT-клієнт. У першому випадку керування здійснюється через WEB-інтерфейс, у другому — через MQTT-сервер із підтримкою будь-якого MQTT-клієнта (наприклад, для Android) [1].

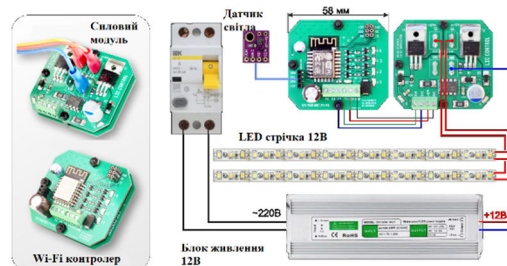


Рис. 1. Схема підключення системи керування LED-стрічкою 12В із використанням Wi-Fi

Доступне рішення для автоматизованого керування групами освітлення в будинках, офісах, магазинах, на виробництві чи складах. Підтримує дистанційний контроль через Інтернет із ПК, планшетів та смартфонів (Windows, Mac OS, Android, Linux).

Завдяки підтримці DALI більшістю якісних LED-драйверів, ця система забезпечує зручне керування та димування LED-світильників.

На кожен DALI-драйвер постійно подається 220В через силовий кабель, а сигнальним двожильтним кабелем контролер передає команди (увімкнення, вимкнення, зміна яскравості тощо)[1]. Контролери можуть встановлюватися в електрощит або вмонтовуватися в коробку вимикача.

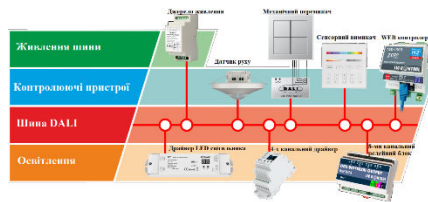


Рис.2. Структурна схема системи керування освітленням за протоколом DALI.

Світильники об'єднуються в групи до 64 шт., кожен із них має унікальну адресу. Можливе як індивідуальне, так і групове керування, що забезпечує гнучкість системи, особливо у великих приміщеннях (офіси, магазини, склади). Автоматизація вмикання/вимикання світла залежно від освітленості чи присутності людей дозволяє суттєво знизити витрати на електроенергію.

Система керування яскравістю світлодіодних стрічок за протоколом DMX-512 будується на основі 4-канального підсилювача потужності LIC CONTROL.

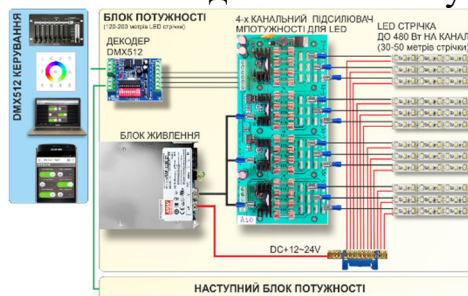


Рис. 3. Система керування яскравістю світлодіодних стрічок за протоколом DMX-512

Керування здійснюється через DMX512-консоль, комп'ютер, смартфон або DMX-панель, забезпечуючи до 512 незалежних груп із регулюванням яскравості. DMX-сигнал декодується в PWM-сигнал і передається на 4-канальний підсилювач LIC CONTROL, що підтримує струм до 20А на канал без активного охолодження [1-2].

Для захисту використовуються:

- Плавкі запобіжники (4 шт. на канал) – захищають кожні 10-15 м LED-стрічки.
- Термозапобіжники – запобігають перегріву кожного каналу.

Принципова схема базується на мікроконтролері Arduino Nano та PWM-керуванні. Вона дозволяє вмикати/вимикати та змінювати яскравість чотирьох груп LED-стрічок. Одне натискання вимикача вмикає/вимикає групу, а тривале – циклічно змінює яскравість. Можливе підключення датчиків руху та освітленості.

При 12В можна керувати чотирма відрізками по 2,5 м (10 Вт/м). При 24В довжина стрічки в кожній групі зростає до 5 м. Мінімальна потужність блока живлення для чотирьох груп – 250 Вт [2].

Обмеження за потужністю пов'язані з нагріванням MOSFET-транзистора IRF540. Додаткове охолодження (радіатор) дозволяє збільшити довжину або потужність стрічки [3].

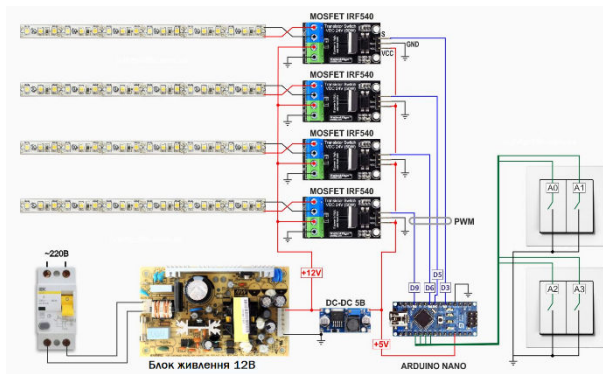


Рис. 4. Принципова схема базується на мікроконтролері Arduino Nano та PWM-керуванні.

Розвиток LED-технологій продовжується, і в майбутньому ми можемо очікувати ще більш ефективних та інноваційних рішень. Дослідження в галузі органічних світлодіодів (OLED) відкривають нові перспективи для створення гнучких та прозорих джерел світла. Також активно розвиваються технології, що дозволяють інтегрувати світлодіоди в текстиль та інші матеріали, що відкриває нові можливості для створення інтерактивних та функціональних поверхонь. Основними перевагами світлодіодного освітлення є енергоефективність – LED-лампи споживають у 5-10 разів менше енергії, ніж лампи розжарювання, довговічність – термін служби сягає 50 000 годин і більше, екологічність – не містять ртуті та не випромінюють ультрафіолет, та гнучкість у дизайні – можливість керування яскравістю, кольоровою температурою та RGB-підсвіткою.

Список використаних джерел

1. ЛІК. LED-освітлення: інновації та керування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lic.com.ua/article20.htm> (Дата звернення: 22.10.2025).
2. Narendran, N., Chen, W., & Wibowo, A. (2002). High-power LEDs: Overview and Future Perspectives. *Journal of Display Technology*, 2(2), 107–116.
3. Електричне освітлення та опромінення : навч. посіб. / Р. В. Кушлик та ін. Харків : Планета-прінт, 2016. 332 с.

Abstract: *LED lighting combines energy efficiency, durability and flexible control. It is used in everyday life, industry and architecture, allowing you to adjust brightness, color and create light scenes. It is easily integrated with "smart home" systems for remote control.*

Keywords: *LED lighting, energy efficiency, durability, brightness control, color temperature, light scenes, smart home, automation, lighting technology.*

Науковий керівник:

Мардзявко В. А.,

асистент кафедри

кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Миколаївський національний аграрний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗМІННОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ЗА ДОПОМОГОЮ МОДЕЛЮВАННЯ В MULTISIM

Юрій Соколов

здобувач вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Миколаївський національний аграрний університет
м. Миколаїв, Україна

Анотація. Досліджено параметри змінного електричного сигналу в колі з активним опором у середовищі Multisim. Проаналізовано амплітудно-частотні характеристики та вплив опору на сигнал. Результати можуть бути використані для проєктування й оптимізації електронних пристроїв.

Ключові слова: змінний електричний сигнал, активний опір, амплітудно-частотні характеристики, моделювання, Multisim.

Сучасна електроніка та електротехніка вимагають аналізу електричних кіл, зокрема їхніх амплітудно-частотних характеристик (АЧХ), що відображають реакцію системи на сигнали різних частот. Це важливо для оцінки стабільності, ефективності та виявлення недоліків у роботі кола. АЧХ визначає залежність амплітуди вихідного сигналу від частоти вхідного, що є ключовим для аналізу фільтрів, підсилювачів і резонансних кіл. Вона дозволяє встановити смугу пропускання, резонансні частоти та загасання сигналу. Для моделювання скористаємося Multisim – програмою, що дозволяє досліджувати електричні кола, вимірювати їхні параметри та аналізувати поведінку системи[1].

Створення моделі електричного кола змінного струму з активним і реактивним опором. Аналіз амплітудно-частотних характеристик змінного електричного сигналу даної моделі за допомогою можливостей Multisim.

Для дослідження залежності амплітуди сигналу від частоти та впливу елементів електричного кола на його характеристики використаємо програму Multisim. Створимо модель електричного кола, що складається з джерела змінної напруги, резистора, котушки індуктивності та конденсатора. Додамо вимірювальні прилади, зокрема вольтметри та Bode Plotter, для аналізу параметрів схеми [2-3].

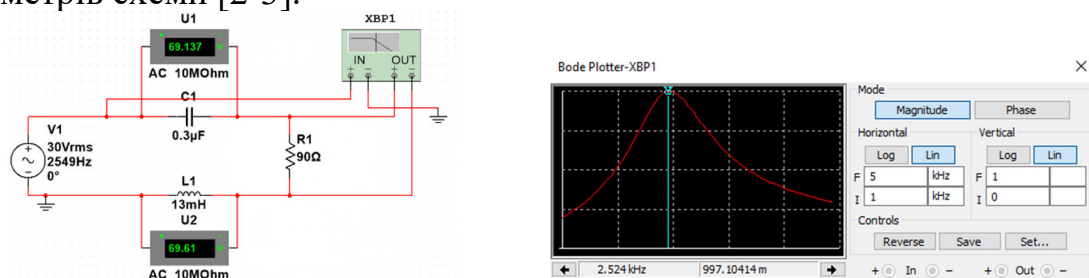


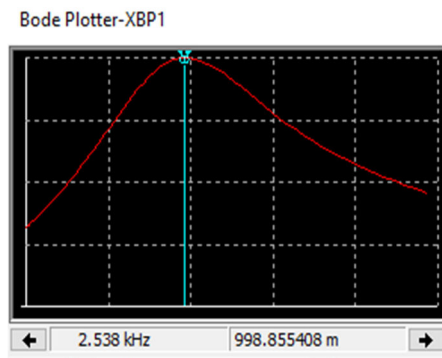
Рис. 1 Схема елементарного кола змінного струму та покази Bode Plotter (XBP1)

Основні досліджувані характеристики включають амплітудну та фазову залежності сигналу. Аналіз графіка Bode Plotter дозволяє визначити резонансну частоту, а також простежити зміну амплітуди в різних режимах роботи кола. Отримані результати дають змогу оцінити вплив зміни опору, ємності та індуктивності на поведінку електричного кола [4].

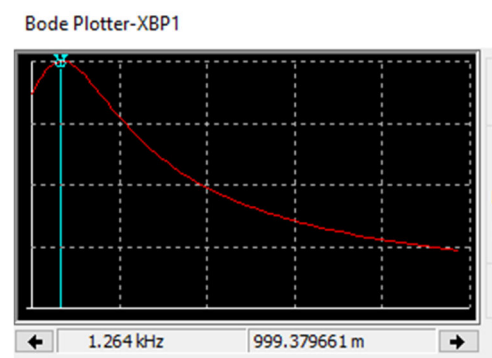
Це дослідження допомагає зрозуміти принципи роботи електричних кіл змінного струму та їхню реакцію на зміну параметрів компонентів.

З даного графіку, ми бачимо, що резонансна частота у колі становить приблизно 2,5 кГц. Графік резонансу можна поділити на 3 періоди: період зростання амплітуди зі зростанням частоти, період резонансу – ємнісний і індуктивний опори компенсують один одного, амплітуда має максимальне значення, період спадання амплітуди. При цьому спадання і зростання амплітуди відбувається поступово [5].

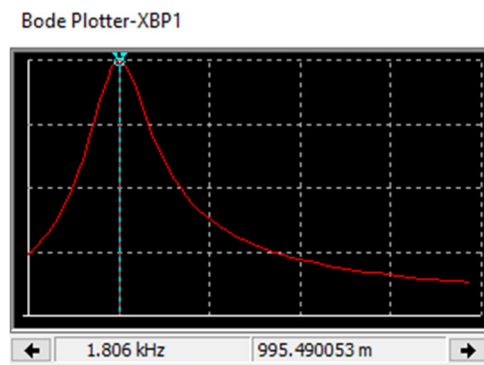
Порівняємо отриманий графік з графіками, які ми отримаємо при зміні значень елементів кола. Збільшимо опір у колі з 90 Ом до 150 Ом [6]; Збільшимо ємність у колі до 1,2 мкФ; Збільшимо індуктивність у колі до 26 мГн. Отримані графіки:



a)



b)



c)

Для дослідження параметрів змінного електричного сигналу у колі змінного струму з активним і реактивним опорами, було створено модель схеми електричного кола у середовищі Multisim. Створене коло включало в себе генеруючий елемент напруги, елементи опору (резистор, котушка індуктивності, конденсатор) і елемент для аналізу амплітудно-частотних характеристик. Проаналізувавши коло, ми виявили, що у колі може відбутися резонанс. Резонансною частотою є значення у 2,5 кГц. Ми вирішили перевірити, які елементи електричного кола впливають на резонанс у ньому. Отримані графіки показали, що резонанс у колі залежить від реактивних елементів, таких як котушка і конденсатор, а активний елемент – резистор, не впливає на виникнення

резонансу. Цю залежність можна застосовувати при проектуванні схем або приладів спираючись на їх принцип роботи і енергоефективність.

Список використаних джерел

1. Вандюк, О. Є. Основи теорії електричних та магнітних кіл: підручник / О. Є. Вандюк. – Київ: Видавництво Ліра-К, 2018. – 384 с.
2. Касьянов, П. П. Аналіз електричних кіл: навчальний посібник / П. П. Касьянов, В. І. Соловей. – Харків: ХНУРЕ, 2016. – 248 с.
3. Мельник, Г. І. Комп'ютерне моделювання в електротехніці: навчальний посібник / Г. І. Мельник. – Львів: Львівська політехніка, 2019. – 312 с.
4. National Instruments. Multisim User Guide [Електронний ресурс] / National Instruments. – Режим доступу: <https://www.ni.com/en-us/support/documentation/> – Дата звернення: 20.02.2025.
5. Ом, Г. Основи теорії електрики / Г. Ом. – Видання 3-є. – Київ: Наукова думка, 2017. – 416 с.
6. Романченко М., Бритта Ш., Кунденко О. Методологія комп'ютерного моделювання процесів теплопередачі в багаторівневій структурі «електро-нагрівальна підлога». *Вісник харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. 2016. № 179. С. 81–89.

Abstract: *The parameters of an alternating electrical signal in a circuit with active resistance have been studied in the Multisim environment. The amplitude-frequency characteristics and the effect of resistance on the signal have been analyzed. The results can be used for the design and optimization of electronic devices.*

Keywords: *alternating electrical signal, active resistance, amplitude-frequency characteristics, simulation, Multisim.*

Науковий керівник:

Руденко А.Ю.

асистент

кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки
Миколаївський національний аграрний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗМІННОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО СИГНАЛУ В ПРОСТОМУ КОЛІ З АКТИВНИМ ОПОРОМ ЗА ДОПОМОГОЮ МОДЕЛЮВАННЯ В MULTISIM

Мардзявко Олександр

здобувач вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

Анотація. Досліджено аналіз змінних електричних сигналів у середовищі *Multisim*. Моделювання простого кола з активним опором дозволило визначити основні параметри сигналу: форму, амплітуду, частоту та фазовий зсув. Осцилограми підтвердили гармонічний характер напруги, а результати узгоджуються із законом Ома для змінного струму. Використання програмного моделювання підвищує ефективність аналізу електричних кіл і проектування пристроїв.

Ключові слова: змінний електричний сигнал, програмне моделювання, *Multisim*, електричне коло, активний опір, осцилограма, гармонічний сигнал, аналіз параметрів, закон Ома.

У сучасній електротехніці та радіоелектроніці аналіз змінних електричних сигналів відіграє ключову роль при розробці та вдосконаленні електричних кіл, джерел живлення, підсилювачів, фільтрів та антенних систем. Одним із найефективніших методів такого аналізу є використання програмного моделювання, що дозволяє досліджувати електричні процеси без необхідності створення фізичних макетів[1-2].

Програмне середовище *Multisim* надає широкі можливості для моделювання та візуалізації роботи електричних кіл, дозволяючи аналізувати напругу, струм, частоту та фазові співвідношення сигналів. Це особливо актуально для навчального процесу, проектування нових пристроїв та оптимізації енергоспоживання.

Метою даної роботи є моделювання та аналіз параметрів змінного електричного сигналу в простому колі з активним опором за допомогою середовища *Multisim*.

Для дослідження антени для опроміннення в подальшому потрібно дослідити керування сигналом його розсіювання, форму та параметристичності [3-5]. Для раціонального дослідження на першому етапі було використано програму *Multisim*.

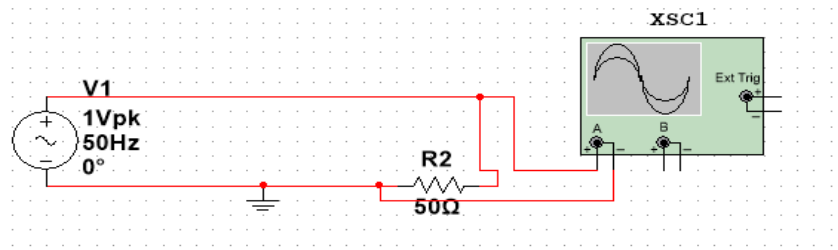


Рис. 1. Схема елементарного кола змінного струму.

Ця схема є простим електричним колом із змінним джерелом напруги, резистором та осцилографом для аналізу сигналу. Параметри схеми джерело змінної напруги (V1): амплітуда: 1 В (пікова, тобто ± 1 В); $f = 50$ Гц.; фазовий зсув: 0° (починається з нуля). Резистор (R2): $R = 500$ Ом – використовується для обмеження струму в колі. Осцилограф (XSC1).

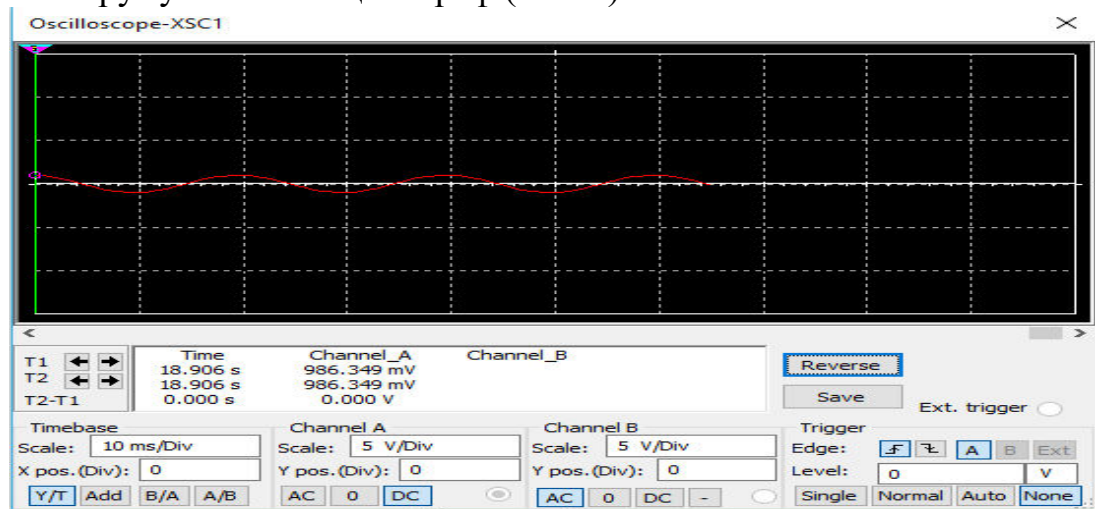


Рис. 2. Показники Осцилограф (XSC1).

На цьому осцилограмі з Multisim зображено змінний сигнал. Ось основні параметри, які можна визначити з цього графіка аналіз сигналу:

1. Форма сигналу – Сигнал має синусоїдальну форму, що характерно для змінної напруги або гармонічних коливань.
2. Амплітуда – Приблизно 986 мВ (0.986 В), що видно у вікні "Channel A".
3. Частота – Оскільки Timebase (масштаб часу) встановлено на 10 мс/Div, можна визначити період сигналу, якщо підрахувати кількість поділок на одну повну хвилю.
4. Нульове зміщення (DC Offset) – У полі DC для Channel A стоїть 0 В, що означає відсутність постійної складової.
5. Тригер – Тригер налаштований на режим None, тобто сигнал вільно рухається без стабільної фіксації по одній точці.

У ході дослідження було змодельовано просте електричне коло змінного струму з активним опором у середовищі Multisim та проведено аналіз його параметрів. Аналіз форми сигналу показав, що напруга на резисторі змінюється синусоїдально відповідно до гармонічного характеру джерела живлення. Перевірено закон Ома для змінного струму: експериментальні значення напруги та струму відповідають розрахунковим. Використано осцилограф для

вимірювання електричних величин, що дозволило спостерігати форму хвилі, її амплітуду та частоту. Проаналізовано вплив параметрів джерела напруги: змінюючи частоту та амплітуду сигналу, можна контролювати поведінку електричного кола.

Список використаних джерел

1. Мардзявко В. А. Загальні принципи конструювання машин і механізмів / В. А. Мардзявко // Участь молоді у розбудові агропромислового комплексу країни: матеріали 28-ї студентської науково-теоретичної конференції, 23–25 березня 2016 р. – Миколаїв: МНАУ, 2016. – С. 43–49.
2. Мардзявко В. А., Руденко А. Ю. Теоретичні та практичні аспекти застосування генераторів НВЧ для знезараження зернових культур / В. А. Мардзявко, А. Ю. Руденко // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2024. – №3(90). – С. 112–118. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.3.11>.
3. Костін А.М., Мартиненко В.А. Оцінка придатності існуючих математичних моделей для розрахунку механічних властивостей зон високих температур у ЗТВ зварних з'єднань гарячекатаних листів сталі D36 // Annals of “Dunarea de Jos” University of Galati Fascicle XII, Welding Equipment and Technology. – 2017. – Т. 28. – С. 45-50. – Galati University Press (GUP).
4. Олексієнко С.В., Мартиненко В.О., Куликовський Р.А. Вплив електричного струму на кінетику контактного плавлення в системі алюміній-кремній-алюміній // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2013. – Вип. 4. – С. 91-95.
5. Кунденко М.П., Мардзявко В.А., Руденко А.Ю. Аналіз технології генерації НВЧ випромінювання з визначенням адаптивного типу діодів для подальшого конструювання апаратів для знезараження // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2023. – Вип. 3. – С. 24-37.

Abstract: *The analysis of alternating electrical signals in the Multisim environment was investigated. Modeling a simple circuit with active resistance allowed us to determine the main parameters of the signal: shape, amplitude, frequency, and phase shift. Oscillograms confirmed the harmonic nature of the voltage, and the results are consistent with Ohm's law for alternating current. The use of software modeling increases the efficiency of electrical circuit analysis and device design.*

Keywords: *alternating electrical signal, software simulation, Multisim, electrical circuit, active resistance, oscillogram, harmonic signal, parameter analysis, Ohm's law.*

Науковий керівник:

Руденко А.Ю.

асистент

кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки
Миколаївський національний аграрний університет

ВИГІННІ КОЛИВАННЯ ТОНКОЇ КРУГЛОЇ ЕЛАСТИЧНОЇ ВКЛЮЧИНИ В НЕОБМЕЖЕНОМУ ТІЛІ ПІД ДІЄЮ ПЛОСКОЇ ГАРМОНІЙНОЇ ХВИЛІ

Лариса Вахоніна

канд. фіз.-мат. Наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіка

Миколаївський національний аграрний університет
м. Миколаїв, Україна

Анотація. У роботі досліджено взаємодію плоскої гармонічної поздовжньої хвилі з тонкою круглою еластичною включиною, розташованою в необмеженому пружному середовищі. Використано підхід, заснований на розв'язанні рівнянь Ламе із застосуванням дискретних (розривних) рішень. Ураховано гнучкість включини та розглянуто випадок її ідеального зчеплення з матрицею. Виведено інтегральне рівняння другого роду для визначення стрибка нормальних напружень на поверхні включини, яке розв'язано чисельно методом механічних квадратур. Отримано наближені співвідношення для коефіцієнтів інтенсивності напружень (SIF) та проведено числовий аналіз впливу хвильового числа та жорсткості включини на концентрацію напружень.

Ключові слова: пружна включина, гармонічна хвиля, згинальні коливання, коефіцієнт інтенсивності напружень, метод квадратур, хвильова взаємодія

У класичних дослідженнях динамічних задач теорії пружності часто припускається, що тонкі включини в тілі є абсолютно жорсткими. Таке спрощення дозволяє отримати аналітичні розв'язки, однак не враховує впливу власних пружних властивостей включини на розподіл напружень у навколишньому середовищі. У реальних конструкційних матеріалах ця взаємодія може бути суттєвою, особливо за наявності коливних навантажень. Метою роботи є побудова математичної моделі вигинних коливань тонкої круглої еластичної включини в необмеженому середовищі та аналіз впливу її жорсткості на концентрацію напружень при дії гармонічної хвилі.

Розглянуто необмежене пружне тіло (матрицю), що містить тонку круглу еластичну включину у вигляді пластини товщиною h і радіусом a , розташовану в площині $z=0$. На матрицю діє плоска поздовжня хвиля, фронт якої паралельний площині включини. Завдяки малій товщині включини умови ідеального зчеплення формулюються на її середній площині [1].

Коливання включини описуються рівнянням вигину тонкої пластини, де циліндрична жорсткість D визначається через модуль пружності E_0 , товщину h та коефіцієнт Пуассона ν_0 . На межі включини враховано вільні крайові умови, що відображають відсутність зовнішнього зчеплення по периферії. Вплив матриці на краї включини знехтувано.

Для визначення переміщень у матриці використано розривні розв'язки рівнянь Ламе для осесиметричних гармонічних коливань. Стрибок нормальних

напружень між матрицею і включиною є невідомою функцією, для якої побудовано інтегральне рівняння Фредгольма другого роду. Це рівняння чисельно розв'язується методом механічних квадратур із застосуванням формул Гауса. Отримано систему лінійних алгебраїчних рівнянь для визначення функції, що описує напружений стан поблизу межі включини [2].

Для оцінки концентрації напружень введено коефіцієнт інтенсивності напружень (SIF), який виражає границю відношення напружень поблизу краю включини до відстані від її межі. Формули для SIF отримано у безрозмірній формі, що дозволило виконати узагальнений аналіз впливу відносної жорсткості включини та хвильового числа.

Результати числових розрахунків показали, що зі зменшенням модуля пружності включини порівняно з матрицею графік залежності коефіцієнта інтенсивності напружень від хвильового числа ускладнюється та набуває численних мінімумів і максимумів. Навіть при відносно високій жорсткості включини значення SIF суттєво перевищують аналогічні для випадку абсолютно жорсткої включини. Це свідчить, що пружні властивості тонких елементів не можна ігнорувати при моделюванні коливальних процесів.

Додаткові розрахунки для конкретних матеріалів (сталева включина у свинцевій або бетонній матриці) підтвердили, що навіть для металевих включин коефіцієнти напружень істотно більші, ніж у випадку жорсткої моделі. Лише за дуже великих відношень модулів пружності (порядку 10^4 – 10^5) можна вважати включину абсолютно твердою, що рідко зустрічається у технічних матеріалах [3].

Розроблено математичну модель вигинних коливань тонкої круглої еластичної включини в необмеженому тілі під дією плоскої гармонічної хвилі з урахуванням її пружних властивостей. Отримано інтегральне рівняння для визначення стрибка нормальних напружень, яке зведено до системи алгебраїчних рівнянь та розв'язано чисельно методом квадратур. Проведено аналіз впливу жорсткості включини та хвильового числа на коефіцієнт інтенсивності напружень, при цьому встановлено, що пружна включина спричиняє більшу концентрацію напружень, ніж абсолютно жорстка. Доведено, що припущення про ідеальну жорсткість включини є справедливим лише за надзвичайно великої різниці модулів пружності, тому при моделюванні коливних процесів у композитних і багатошарових структурах необхідно враховувати реальні механічні характеристики матеріалів.

Список використаних джерел

1. Investigation of the stress intensity factor in heterogeneous materials based on the postprocessing routine of commercial finite element software / F. Guo et al. *Application of finite element analysis in fracture mechanics*. 2025. P. 5827.
2. Moussavian S. H., Jafari M., Hajimohammadi M. Analytical calculation of stress intensity factors for orthotropic plates containing cracks emanating from a circular hole using Schwarz integration. *ZAMM - journal of applied mathematics and mechanics* / *zeitschrift für angewandte mathematik und mechanik*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1002/zamm.202300429> (date of access: 10.11.2025).

3. Vakhonina L. V., Popov V. G. Flexural vibrations of a thin circular elastic inclusion in an unbounded body under the action of a plane harmonic wave. *International applied mechanics*. 2008. Vol. 44, no. 493-497.

Abstract. *The paper investigates the interaction of a plane harmonic longitudinal wave with a thin circular elastic inclusion located in an unbounded elastic medium. An approach based on solving the Lamé equations using discrete (discontinuous) solutions is used. The flexibility of the inclusion is taken into account and the case of its ideal adhesion to the matrix is considered. An integral equation of the second kind is derived to determine the jump in normal stresses on the surface of the inclusion, which is solved numerically by the method of mechanical quadratures. Approximate relations for the stress intensity coefficients (SIF) are obtained and a numerical analysis of the influence of the wave number and stiffness of the inclusion on the stress concentration is performed.*

Keywords: *elastic inclusion, harmonic wave, bending vibrations, stress intensity factor, quadrature method, wave interaction.*

УДК. 631

ІЄРАРХІЧНА СТРУКТУРНА СХЕМА НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИСНОВКУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Ракитянський Владислав

здобувач вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетики,
електротехніки та електромеханіки

Харківський національний університет міського господарства ім. О.М.
Бекетова

м. Харків, Україна

Анотація: *У роботі обґрунтовано метод визначення залишкового ресурсу асинхронного електродвигуна на основі використання нечіткої логіки, наведено структуру розробленої системи нечіткої логіки.*

Ключові слова: *асинхронний, електродвигун, фактор, нечітка, експлуатація, логіка, ізоляція, залишковий ресурс, діагностика.*

При виготовленні та експлуатації асинхронних двигунів (АД) виникають відхилення параметрів двигуна від номінальних значень. Ці відхилення можуть бути викликані як технологічними помилками виготовлення двигуна, неправильними режимами експлуатації, так і розміром під час експлуатації. Вихід із строю АД призводить до важких аварій і великому матеріальному збитку, пов'язаному з простою технологічного обладнання, усуненням останньої аварії та ремонтом виниклого із строю електродвигуна. Отже, ефективний контроль параметрів АД в процесі виробництва і після їх виготовлення, одночасна їх діагностика в процесі експлуатації є актуальними задачами.

В результаті виникає необхідність досліджувати АД з метою отримання діагностичних признаков і сигналів для визначення несправностей. Види несправностей і методи діагностики оцінки стану асинхронного двигуна представлені в [1]. Стан асинхронного двигуна характеризується великою кількістю станів x_i , які в роботі представлені не тільки в цифровій формі, з різною розмірністю, але і в незначних термінах (високий (в), низький (н), середній (с), нижче середнього (нс), вище середнього (вс)).

Для асинхронного двигуна складемо ієрархічну структуру деревовидного типу (рис. 1).

У такому входному векторі системи з діагностичними визнаннями представлено в виразу (1):

$$x = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}, \quad (1)$$

де n – число ознак (факторів) [2].

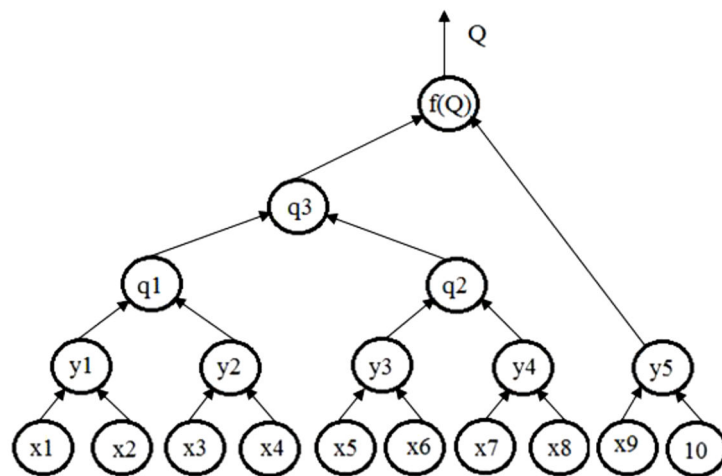


Рис. 1. Ієрархічна структурна схема нечіткого логічного висновку для асинхронного двигуна: $x1-x10$ – входні діагностичні фактори системи; y, q – проміжні параметри; Q – вихід системи

Для асинхронного двигуна класифікація пошкоджених елементів (факторів x) передбачає такі рівні: низький – відсутні ознаки старіння та зношування, значення параметрів відповідають нормативним вимогам; нижче середнього – наявні незначні дефекти, що не впливають на подальшу роботу двигуна, їхня присутність регламентується нормативно-технічною документацією; середній – виявлені дефекти, які не призводять до пошкодження двигуна, проте потребують виконання незначних режимних заходів; вище середнього – руйнування частин двигуна, що вимагає реконструкції або ремонту, подальша експлуатація неможлива; високий – відмова двигуна, що призводить до переривання технологічного процесу.

Таблиця 1. Сукупність діагностичних параметрів

Позначення	Діагностичні параметри	Діапазони вимірювань вхідних величин
x1	Температура статору	Від 60 °С до 150 °С
x2	Вимірювання ККД	Від 0,8 до 1
x3	Вимірювання вібраційної швидкості V, мм/с	Від 0 мм/с до 40 мм/с
x4	Вимірювання зовнішнього магнітного поля	Від 0 до 0,4
x5	Вимірювання опору ізоляції обмоток статора	Від 1МОм до 1000МОм
x6	Вимірювання коефіцієнту абсорбції ізоляції обмотки статору	Від 1 до 2
x7	Вимірювання хвильових затухаючих коливань в обмотці	Від 0 до 1
x8	Вимірювання за допомогою ультразвуку G - модуль зсуву	Від 0 до 1
x9	Порівняльний аналіз спектрів струмів	Від 0 до 0,4
x10	Оцінка стану підшипників	Погане, добре, відмінне
y1, y 2, y 3, y4, y5, q1, q2, q3	Збільшені фактори	
Q	Корінь дерева	Залишковий ресурс двигуна

На підставі таблиці 1 і класифікації пошкоджених елементів (факторів x) вироблено обґрунтування необхідності урахування діагностичних параметрів для створення системи нерівної логіки.

При розробці згаданого методу виявилася необхідність вирішення наступних завдань:

- аналіз стану розробок та методів визначення залишкового ресурсу АД;
- виявлення особливостей експлуатації АД та їх вплив на фізико-механічні властивості ізоляції;
- складання сукупності вимірюваних діагностичних параметрів, за якими можна судити про залишковий ресурс АД;
- обґрунтування вибору факторів;
- вибір приладів для вимірювання факторів, що впливають, та їх одиниці виміру;
- визначення діапазонів вимірювань параметрів для оцінки залишкового ресурсу АД;

Розроблена система нечіткої логіки забезпечує можливість ранньої діагностики та прогнозування стану двигуна, дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо ремонту чи продовження експлуатації обладнання. Використання ієрархічної структури та комплексного підходу до оцінки параметрів значно

підвищує надійність і ефективність контролю асинхронних двигунів, зменшуючи ризик аварій та матеріальних втрат.

Отже, запропонований метод є актуальним інструментом для автоматизованого моніторингу та оцінки технічного стану АД, а його застосування сприятиме підвищенню експлуатаційної безпеки та продовженню строку служби електродвигунів.

Список використаних джерел

1. Seera, M., Lim, C. P., Nahavandi, S., & Loo, C. K. Condition monitoring of induction motors: A review and an application of an ensemble of hybrid intelligent models. *Expert Systems with Applications*, 2014, 41(10), 4891-4903.
2. Trutt, F. C., Sottile, J., & Kohler, J. L. Online condition monitoring of induction motors. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2002, 38(6), 1627-1632.

Abstract. *The paper substantiates the method for determining the residual resource of an asynchronous electric motor based on the use of fuzzy logic, and presents the structure of the developed fuzzy logic system.*

Keywords: *induction electric motor, factor, fuzzy, operation, logic, insulation, residual life, diagnostics*

Науковий керівник:

Єгоров О.Б.,

канд. тех. наук, доцент

кафедри альтернативної електроенергетики та електротехніки

Харківський національний університет міського

господарства ім. О.М. Бекетова

УДК. 004.942

ЦИФРОВІ ДВІЙНИКИ У ХОЛОДИЛЬНИХ ПРОЦЕСАХ АПК

Давіденко П. С.

здобувач вищої освіти спеціальності 144 Теплоенергетика,

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

м. Харків, Україна

Анотація: *У даній роботі розглянуто застосування цифрових моделей у холодильних та технологічних системах АПК для оптимізації режимів, зниження енергоспоживання та підвищення надійності виробництва.*

Ключові слова: *холодильні системи АПК, інформаційні технології, цифрові двійники*

Підвищення енергоефективності, керованості та стабільності агропромислового виробництва в сучасних умовах є завданням першочергового пріоритету. Розв'язання цих викликів неможливе без впровадження цифрової трансформації технологічних процесів та систем керування, що передбачає

перехід від локальних автоматизованих систем до інтегрованих виробничих комплексів. Одним із ключових інструментів такої трансформації є цифровий двійник (digital twin) – динамічна віртуальна копія реального технологічного об'єкта. Цифровий двійник об'єднує рівень оперативного керування, що реалізується засобами PLC та SCADA, із даними від IoT-сенсорів, які забезпечують безперервний збір фізичних параметрів, та аналітичними моделями і алгоритмами машинного навчання, що виконують оцінювання стану обладнання та оптимізацію режимів його роботи, причому за даними [1] це дає зниження енергоспоживання на 15–30 %.

Застосування цифрових двійників є доцільним і економічно обґрунтованим для тих об'єктів агропромислового комплексу, які характеризуються змінними режимами тепло- та масообміну, високою енергоємністю та вимогами до стабільності параметрів, що потребує впровадження прогностичних систем керування. Зокрема це системи зберігання продукції та холодильні установки. Системи холоду споживають до 17 % енергії у світі [2], холодний ланцюг має високі витрати на збереження продукції, тому впровадження цифрових двійників здатне дати тут відчутний ефект енергоощадності.

На відміну від традиційних систем керування, які, як правило, працюють за фіксованими алгоритмами і не враховують динаміку змін зовнішніх умов, режимів завантаження камер, теплових потоків тощо, цифровий двійник будується на базі термодинамічних моделей і фактичних експлуатаційних даних і не тільки дає змогу адаптивно формувати режими роботи обладнання, забезпечуючи узгоджені параметри компресора, конденсатора та випарника та підвищуючи загальну енергоефективність системи, але й проводити параметричне моделювання теплотехнічних процесів, передбачати зміни в режимах роботи та забезпечувати прогностичну діагностику вузлів.

У реальних проєктах для харчових складів та овочесховищ впровадження цифрових моделей керування холодильними системами показало відчутний ефект. Наприклад, у демонстраційному проєкті для CO₂-систем супермаркетів [3] відзначено підвищення енергоефективності за рахунок модулюючого керування компресорами. У польовому звіті Southern California Edison [4] застосування вдосконалених алгоритмів керування холодом на складі заморожених продуктів забезпечило зниження енергоспоживання на 19–25 %. Аналогічний ефект підтверджено у виробничих кейсах для овочесховищ [5].

Таким чином, використання віртуальних моделей у харчових та зберігальних комплексах України створює передумови для економії ресурсів, зниження втрат продукції та гнучкого реагування на коливання енергоринку, що є особливо важливим в умовах нестабільного енергозабезпечення та повністю відповідає сучасним тенденціям розвитку «розумного» агропромислового виробництва.

Список використаних джерел

1. Ba L., Tangour F., El Abbassi I., Absi R. Analysis of Digital Twin Applications in Energy Efficiency: A Systematic Review // *Sustainability*. 2025. Vol. 17, No. 8. P. 1–21. DOI: 10.3390/su17083560.
2. International Institute of Refrigeration. *The Role of Refrigeration in the*

Global Economy. 2015. 32 p. Режим доступу: https://sainttrofee.nl/wp-content/uploads/2019/01/NoteTech_29-World-Statistics.pdf

3. Supermarket refrigeration systems, 2024. Режим доступу: <https://digitaltwins4hprs.dk/cases/supermarket-refrigeration-systems/>

4. Evaluation of Direct Energy Savings and Demand Response Potential from Phase Change Materials for Cold Storage Cooling Applications. 2021. Режим доступу: <https://www.vikingcold.com/wp-content/uploads/2022/03/Utility-Demonstration-Project-Report.pdf>

5. 30% energy savings for a potato cold storage. Режим доступу: <https://www.advansor.com/case-cold-storage-potatoes>

Abstract. *This work examines the use of digital models in refrigeration and technological systems of the agro-industrial sector to optimize operating modes, reduce energy consumption, and enhance production reliability.*

Keywords: *agro-food refrigeration systems, information technologies, digital twin*

Науковий керівник:

Круглякова О.В.

*канд. техн. наук, доцент кафедри теплотехніки
та енергоефективних технологій,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»*

УДК: 577.3:621.3.049:004.942

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ПРОВІДНОСТІ ІОННИХ КАНАЛІВ КЛІТИНИ ПІД ДІЄЮ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛЕЙ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Руденко Андрій

*асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки
Миколаївський національний аграрний університет
м. Миколаїв, Україна*

Анотація. *У роботі розглянуто механізми впливу електромагнітного поля на електрофізіологічні властивості клітинної мембрани та функціонування іонних каналів, зокрема натрієвих. На основі математичного моделювання, електрофізичних підходів та систем чисельного аналізу проведено дослідження динаміки мембранного потенціалу, пульсацій клітини та особливостей іонного транспорту. Використання моделей Нав'є–Стокса, параметричних моделей клітинної пульсації та модифікованої моделі Курамото дозволило оцінити характер синхронізації клітин та вплив зовнішнього електромагнітного поля на їхню активність. У MATLAB/Simulink реалізовано чисельне моделювання, що демонструє ефекти деполяризації та гіперполяризації клітини під дією електромагнітних коливань. Результати підтверджують можливість*

регулювання іонної провідності та збудливості клітини за допомогою слабких електромагнітних полів, що має значний потенціал для біомедичних технологій.

Ключові слова: електромагнітне поле, натрієвий канал, мембранний потенціал, пульсації клітини, математична модель, деполяризація, гіперполяризація, модель Курамото.

Розвиток біомедичних технологій потребує глибокого розуміння механізмів клітинної взаємодії, регуляції іонного транспорту та реакцій клітин на зовнішні фізичні фактори. Іонні канали, зокрема Na^+ , Ca^{2+} та K^+ , є ключовими елементами клітинної електрофізіології, забезпечуючи генерацію імпульсів, регуляцію метаболічних процесів, активацію ферментів, скорочення м'язових волокон та ініціацію апоптозу.

Пульсації клітини, які проявляються у формі електричних, механічних і метаболічних коливань, слугують важливим показником її функціонального стану. Водночас зовнішні електромагнітні поля можуть значно впливати на динаміку мембранного потенціалу, змінюючи проникність іонних каналів та створюючи умови для деполяризації або гіперполяризації мембрани.

У цьому контексті актуальним є створення математичних моделей, які б дозволили точно прогнозувати поведінку клітини під впливом електромагнітних полів та визначати умови цілеспрямованої стимуляції чи пригнічення клітинної активності.

Метою роботи є розробка та аналіз математичних і електрофізичних моделей, що описують динаміку іонного транспорту, пульсацій клітини та зміни мембранного потенціалу під дією зовнішнього електромагнітного поля, а також дослідження впливу низькочастотних електромагнітних полів на провідність натрієвих каналів.

Іонні канали Na^+ , Ca^{2+} та K^+ формують електричні імпульси, які забезпечують міжклітинну комунікацію та регулювання життєво важливих процесів. Натрій відіграє ключову роль у формуванні мембранного потенціалу, транспорті речовин і регуляції клітинної реактивності. Пульсації клітини характеризуються змінами її об'єму, тиску, іонного складу та електричного стану [1].

Для опису механічних та осциляційних властивостей клітини використано рівняння Нав'є–Стокса, а також модель об'ємно-транспортних змін клітини, які дають можливість дослідити її скоротливість і механічні коливання.

Для вивчення синхронізації клітинних осциляторів застосовано модель Курамото. Вона дозволяє оцінити взаємодію клітин та їхню здатність до синхронного коливання за наявності внутрішніх і зовнішніх збурень [2].

Модифікація моделі включає параметри зовнішнього електромагнітного поля — амплітуду A і частоту f — що дає змогу враховувати явище ентрейнменту. Отримано, що навіть слабе гармонічне поле може змінювати фазу та частоту клітинних осциляцій.

У роботі використано електрофізіологічні моделі Герца та Голдмана–Ходжкіна–Каца, які описують мембранний потенціал та провідність іонних каналів. На їх основі сформульовано рівняння балансу струмів та побудовано диференціальне рівняння, що враховує вплив електромагнітного поля [3].

Чисельне моделювання в MATLAB/Simulink продемонструвало такі ефекти:

Деполяризація (підвищення збудливості)

Під впливом поля з частотою 50 Гц та амплітудою 100 нА мембранний потенціал підвищується від -70 мВ до приблизно -56 мВ, що свідчить про зростання збудливості клітини.

Гіперполяризація (пригнічення активності)

В іншому режимі впливу відбувається зниження провідності натрієвих каналів та зменшення струму Na^+ , що призводить до гіперполяризації мембрани.

Отримані результати узгоджуються з експериментальними даними, наведеними у сучасній літературі [4].

Розглядалася ізольована клітина, однорідність клітинного середовища, стаціонарність параметрів мембрани, а також спрощена кінетика іонних каналів. Зовнішнє поле моделювалося як гармонічний сигнал сталої амплітуди. Це визначає напрям подальших досліджень з розширенням моделі.

Проведене дослідження доводить значний вплив електромагнітного поля на динаміку мембранного потенціалу та провідність іонних каналів, особливо натрієвих. Встановлено, що електромагнітний вплив може як стимулювати клітину (деполяризація), так і пригнічувати її активність (гіперполяризація), залежно від параметрів поля. Розроблені моделі та проведені чисельні експерименти підтверджують можливість цілеспрямованого керування іонним транспортом, що відкриває перспективи для створення нових підходів у біомедичній інженерії, зокрема систем електромагнітної терапії та біоелектронних імплантів.

Список використаних джерел

1. Simulation of microtubule–cytoplasm interaction revealed the importance of fluid dynamics in determining the organization of microtubules / M. Mohammad et al. *Plant direct*. 2023. Vol. 7, no. 7. P. 1–18.
2. Glimm T., Gruszka D. Modeling the interplay of oscillatory synchronization and aggregation via cell-cell adhesion. *Analysis of PDEs*. 2023. P. 17–25.
3. Kundenko M., Rudenko A., Mardziavko V. Research on the Method of Improving Fuel Quality for Heat Generators. 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 27–30 September 2023. 2023. URL: <https://doi.org/10.1109/mees61502.2023.10402419>
4. Research into the influence of the electromagnetic field on cell ion channels using modeling and measurement systems / A. Rudenko et al. *Radiotekhnika*. 2025. P. 235–241.

Abstract. *The paper considers the mechanisms of the influence of the electromagnetic field on the electrophysiological properties of the cell membrane and the functioning of ion channels, in particular sodium channels. Based on mathematical modeling, electrophysical approaches and numerical analysis systems, a study of the dynamics of the membrane potential, cell pulsations and features of ion transport was conducted. The use of Navier–Stokes models, parametric models of cell pulsations and the modified Kuramoto model made it possible to assess the nature of cell*

synchronization and the influence of an external electromagnetic field on their activity. Numerical modeling was implemented in MATLAB/Simulink, demonstrating the effects of cell depolarization and hyperpolarization under the influence of electromagnetic oscillations. The results confirm the possibility of regulating ionic conductivity and cell excitability using weak electromagnetic fields, which has significant potential for biomedical technologies.

Keywords: *electromagnetic field, sodium channel, membrane potential, cell pulsations, mathematical model, depolarization, hyperpolarization, Kuramoto model.*

УДК 621.315.68:621.3.019

ПРОГНОСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ: ЕЛЕКТРИЧНЕ КОНТАКТНЕ З'ЄДНАННЯ

Адамчук Владислав

здобувач вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніки та електромеханіка

Миколаївський національний аграрний університет
м. Миколаїв, Україна

Анотація: *Представлено підхід до дослідження та прогностичного оцінювання надійності електричного контактного з'єднання (КЗ) як типового елемента енергетичного обладнання. Підхід поєднує мультифізичне моделювання у середовищі Ansys (тепло-електричні зв'язки) з експериментальним дослідженням у кліматичній камері із контрольованими температурою та відносною вологістю. Описано експериментальний стенд (тепловізор Testo 890, датчик вологості-температури ДВТ-03.т, зволожувач), матрицю експерименту (варіювання T, RH та навантаження на КС), а також елементи автоматизації регулювання вологості. Показано, як отримані температурні поля та електричні параметри КС можуть бути використані для прогностичного розрахунку показників надійності та часу до відмови, що створює підґрунтя для системи превентивного обслуговування.*

Ключові слова: *контактне з'єднання; перехідний опір; тепловізійний контроль; Ansys Workbench; теплове поле; відносна вологість; прогноз надійності.*

Метою роботи є створення та верифікація моделі контактного з'єднання енергетичного обладнання з подальшим прогностичним розрахунком показників надійності на основі математичних моделей. Очікуваний результат – одержання даних, придатних для побудови автоматичної системи прогностичного моделювання елементів енергосистеми, що дозволяє оцінювати наближений час до відмови та завчасно вживати запобіжних заходів для зниження аварійності та витрат.

Експеримент проводиться у камері з регулюванням температури та вологості. До складу вимірювально-діагностичного комплексу входять: цифровий мультиметр Mastech MY65; тепловізор Testo 890 для безконтактної візуалізації температурних полів; датчик вологості та температури ДВТ-03.т; ультразвуковий зволожувач (живлення 220–240 В, 35 Вт; об'єм резервуара 3 л).

Структурна схема експериментальної установки включає лінійний автотрансформатор, камеру, зволожувач, показовий термометр, датчик вологості, модуль живлення, тепловізор і комп'ютер [1].

Для ліній та кабельних з'єднань в системі автоматизації експерименту застосовуються ізольовані проводи з мідними або алюмінієвими жилами з урахуванням умов середовища; для інформаційних ліній використано ПВС 1×1,5 (мідна жила, ПВХ-ізоляція), для живлення – ПВС 3×2,5.

Умови випробувань узагальнено у матриці, яка передбачає зміни трьох груп факторів: (1) температуру в камері у діапазоні ~22–50 °С; (2) відносну вологість у широкому діапазоні (до 90 %); (3) потужність/навантаження на КС із фіксованими та змінними рівнями (Const та градуйовані значення 38,75; 51; 66,5; 82 тощо). Наведені комбінації охоплюють як сталу температуру при змінній вологості, так і сталу вологість при змінній температурі, а також серії із сталою потужністю/навантаженням.

Контактні деталі моделюються методом скінченних елементів у середовищі Ansys. Для опису теплових процесів у КЗ застосовано зв'язані модулі thermal-electric (визначення джоулевого нагріву та електричних параметрів) і transient thermal (нестационарне теплоперенесення); результати першого використовуються як вхідні дані для другого. Побудова геометрії виконується у DesignModeler (або імпортується з CAD-середовищ), налаштування граничних умов і розв'язувача – у Mechanical [2].

Цифрові термограми, отримані тепловізором, планується використовувати для верифікації температурних полів, визначених СЕ-моделлю, а також для непрямої оцінки перехідного опору КС (через зв'язок між локальним перегрівом і струмовим навантаженням). Верифікація передбачає порівняння модель/експеримент у зіставних режимах матриці. (Зазначено у роботі як базова ідея валідації моделі експериментом.)

Для стабілізації параметрів середовища передбачено систему керування вологістю на базі програмованого логічного контролера (ПЛК) і двопозиційного реле для вмикання/вимикання зволожувача. Розробляється функціональна схема із переліком контрольованих параметрів, місцями встановлення первинних перетворювачів та описом функцій засобів автоматизації.

Результати моделювання та експерименту використовуються для прогностичного розрахунку показників надійності КС за математичними моделями. Концептуально така система може у режимі реального часу одержувати параметри середовища, підставляти їх у модель та оцінювати час до відмови. Практична значущість – попередження аварійних ситуацій і зниження витрат на ліквідацію наслідків, а також потенційна масштабованість до енергооб'єктів (електричні/теплові станції, промислові системи), де контроль стану вузлів, схильних до нагріву в умовах змінної температури/вологості, є критичним [3].

Для забезпечення відтворюваності необхідно фіксувати емісійність поверхонь у тепловізорі, дистанцію, фокус і умови освітлення; для датчика ДВТ-03.т – клас точності та похибку. Ці аспекти впливають із опису засобів вимірювання та їхніх технічних даних. Матриця має забезпечити покриття характерних режимів (сталіх і перехідних) та достатню повторність, щоб оцінити статистичну надійність узгодження модельних та експериментальних температурних полів. Задекларована можливість побудови автоматичної системи прогностичного моделювання створює підґрунтя для політики ТО «за станом», що, з урахуванням отриманого прогнозу часу до відмови, дозволяє планувати превентивні заходи [4].

Запропоновано інтегрований підхід до дослідження надійності контактних з'єднань: скінченно-елементне моделювання у Ansys (thermal-electric → transient thermal) та експеримент у керованих умовах з тепловізійним контролем. Матриця експерименту охоплює зміни температури, відносної вологості та навантаження на КЗ. Результати використовуються для прогностичного оцінювання часу до відмови та побудови автоматизованої системи превентивного обслуговування елементів енергетичного обладнання.

Список використаних джерел

1. Руденко А., Мардзявко В., Чурило Р. Електрофізичні методи обробки сільськогосподарської продукції. Миколаїв, 2022. 50 с.
2. Influence of humidity on endurance of electrical contact during fretting wear / X.-l. Liu et al. *Journal of materials engineering and performance*. 2021. Vol. 31, no. 2. P. 933–943.
3. Meng Y., Ren W., Zhang C. A degradation model of electrical contact performance for copper alloy contacts with tin coatings under power current-carrying fretting conditions. *Coatings*. 2024. Vol. 14, no. 12. P. 1587.
4. Song J., Shukla A., Probst R. The state of health of electrical connectors. *Machines*. 2024. Vol. 12, no. 7. P. 474.
5. Comparison of Active Power Losses of Single-Phase Electromagnetic Static Devices by Radial Electromagnetic System / O. Sadovoy et al. 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 20–23 October 2022. 2022. URL: <https://doi.org/10.1109/mees58014.2022.10005760>

Abstract: *The paper outlines a combined simulation–experimental approach to assess the reliability of an electrical contact joint of power equipment. A thermo-electric finite-element model in Ansys is verified by thermal imaging measurements in a climatic chamber with controlled temperature and relative humidity. The experimental setup (Testo 890 thermal imager, DVT-03.t humidity/temperature sensor, humidifier), the experimental matrix (variation of T, RH, and load on the joint), and a basic humidity control scheme are described. The results are intended for prognostic reliability calculations and time-to-failure estimation to enable preventive maintenance.*

Keywords: *electrical contact joint; contact resistance; thermal imaging; Ansys Workbench; thermal field; relative humidity; reliability prognosis.*

Науковий керівник:
Вахоніна Л.В.
Канд. фіз.-мат. наук, доцент
кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки
Миколаївський національний аграрний університет

УДК 004.89:621.311.1

ЗАСТОСУВАННЯ ГЛИБИННИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ У РОЗПОДІЛЕНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМАХ

Дмитро Кошкін
канд. техн. наук, доцент Миколаївський національний аграрний
університет
м. Миколаїв, Україна

Анотація: У тезах досліджено використання методів штучного інтелекту (ШІ) для підвищення ефективності процесів розподілу електроенергії та ідентифікації вразливих місць в електроенергетичних мережах. Показано, що за умов зростання частки відновлюваних джерел енергії, активної цифровізації та посилення кіберзагроз класичні централізовані системи керування потоками потужності виявляються малопридатними для оперативної адаптації до змін режимів. Обґрунтовано застосування алгоритмів машинного й глибокого навчання для задач прогнозування навантаження, оптимізації схем енергорозподілу та інтелектуальної діагностики аномальних режимів з метою завчасного виявлення технічних відмов і потенційних кібератак. Розглянуто переваги й обмеження централізованих, децентралізованих і гібридних структур керування, а також висвітлено можливості блокчейн-технологій і смартконтрактів для забезпечення прозорості, простежуваності й захисту транзакцій в енергомережах. Виокремлено основні чинники, що визначають результативність моделей ШІ в енергетиці (повнота й якість даних, обчислювальний ресурс, рівень зашумлення сигналів, стійкість до кіберзагроз), та окреслено перспективні напрями розвитку гібридних інтелектуальних систем керування електроенергетичними мережами.

Ключові слова: оптимізація розподілу електроенергії; методи штучного інтелекту; прогнозування електричних навантажень; виявлення аномальних режимів; електроенергетичні мережі; блокчейн-технології; гібридні системи управління.

Сучасні електроенергетичні системи працюють в умовах зростання попиту на електроенергію, активного впровадження відновлюваних джерел та глибокої цифрової трансформації енергетичної інфраструктури. Така комбінація факторів призводить до ускладнення топології мереж, підвищення вимог до надійності,

гнучкого перерозподілу потужності та підсилення вимог до кіберстійкості. Класичні централізовані системи диспетчерського управління, що спираються на традиційні методи оптимізації, не завжди забезпечують достатню швидкодію та адаптивність у разі різких змін генерування й навантаження, а також при появі нових типів кібератак.

Метою дослідження є розроблення та теоретичне обґрунтування інтелектуальних підходів до оптимізації розподілу електроенергії й підвищення кіберстійкості енергетичних мереж на основі технологій штучного інтелекту. Для її досягнення виконано аналіз актуальних наукових праць щодо застосування ШІ в енергетиці (керування режимами, прогнозування навантажень, забезпечення кібербезпеки), проведено оцінювання ефективності алгоритмів машинного та глибинного навчання у задачах розподілу енергії, виявлення аномалій та протидії зовнішнім і внутрішнім загрозам, а також визначено перспективи й бар'єри впровадження інтелектуальних технологій з огляду на технічні, економічні та безпекові обмеження.

Методологічною основою роботи є поєднання теоретичного аналізу, математичного моделювання й алгоритмів ШІ. Оптимізація потоків потужності та розподілу ресурсів здійснювалася із застосуванням методів лінійного й нелінійного програмування з урахуванням обмежень пропускної здатності ліній, режимів роботи обладнання та варіативності споживання. Для задач прогнозування навантаження розглядалися як класичні підходи машинного навчання (лінійні та нелінійні регресії, дерева рішень, ансамблеві моделі), так і глибинні нейромережеві архітектури – насамперед рекурентні мережі типу LSTM і GRU, орієнтовані на обробку часових рядів електроспоживання.

Дослідження методів виявлення аномалій в електроенергетичних мережах засвідчило доцільність використання автоенкодерів, кластеризаційних алгоритмів та контекстно-орієнтованих підходів, що дають змогу ідентифікувати відхилення від нормального режиму роботи у масштабі, наближеному до реального часу. Показано, що різні класи методів пред'являють неоднакові вимоги до обсягу й репрезентативності вхідних даних, мають різну обчислювальну складність та точність локалізації аномалій. Зіставлення результатів демонструє, що глибинні нейромережі забезпечують вищу точність, проте потребують значних ресурсів, тоді як дерева рішень і ансамблеві алгоритми є швидкодіючими, але менш чутливими до складних нелінійних залежностей між параметрами режиму.

Окремо проведено аналіз стратегій організації керування енергетичними мережами. Централізовані схеми з єдиним центром прийняття рішень забезпечують цілісне бачення стану енергосистеми, але недостатньо масштабуються, ускладнюють інтеграцію розподіленої генерації й суттєво залежать від людського чинника. Децентралізовані підходи передбачають автономну роботу локальних вузлів і мікромереж на основі агентних систем та технологій Інтернету речей, що підвищує гнучкість і відмовостійкість, проте створює додаткові виклики для координації на рівні всієї енергосистеми.

Як компроміс запропоновано гібридні структури керування, у яких централізовані модулі ШІ виконують прогнозування навантаження та глобальну оптимізацію режимів, тоді як локальні вузли приймають оперативні рішення з

урахуванням місцевих вимірювань. У таких системах доцільно застосовувати блокчейн-технології та смартконтракти для захищеного обліку електроенергії, автоматизованих взаєморозрахунків між виробниками та споживачами і мінімізації ризиків несанкціонованих змін даних. Поєднання блокчейну з алгоритмами машинного навчання дає змогу одночасно підвищити прозорість, кіберзахищеність та адаптивність функціонування енергомереж.

До ключових факторів, які визначають ефективність застосування ІІІ в енергетиці, віднесено: обсяг і повноту історичних баз даних; періодичність оновлення інформації; рівень шумів та наявність аномальних спостережень; коректний вибір типу алгоритму й його гіперпараметрів; доступність обчислювальних ресурсів; можливість інтеграції з наявною інфраструктурою; нормативні вимоги та стандарти кіберзахисту. Ігнорування цих чинників може спричинити деградацію точності прогнозів, помилкові керуючі дії та підвищення вразливості до атак на дані.

Результати дослідження підтверджують, що впровадження інтелектуальних технологій у системи керування розподілом електроенергії дає змогу: підвищити точність коротко-, середньо- та довгострокових прогнозів навантаження; скоротити технічні втрати та покращити енергетичну ефективність режимів роботи мереж; забезпечити своєчасне виявлення аномальних режимів, технічних відмов і потенційних кібератак; формувати адаптивні, самоналаштовувані енергосистеми з підвищеною стійкістю до зовнішніх і внутрішніх впливів.

Водночас успішна реалізація таких рішень пов'язана з необхідністю подолання проблем масштабування моделей, високої обчислювальної вартості глибинних нейромереж, організації надійної інфраструктури збору даних і суворого дотримання вимог кібербезпеки. Подальші дослідження доцільно спрямувати на створення самонавчальних гібридних систем керування, здатних ефективно функціонувати в умовах швидкої зміни конфігурації енергомереж, зростання частки відновлюваних джерел енергії та посилення кіберзагроз.

Список використаних джерел

1. Sadovoy, O., Koshkin, D., Martynenko, V., & Sokolik, V. (2025). Electricity generation from biogas: Modern technologies and prospects for Ukraine's energy independence. *Machinery & Energetics*, 16(1), 173-185. <https://doi.org/10.31548/machinery/1.2025.173>
2. Ahmad N., Ghadi Y., Adnan M., Ali M. Load forecasting techniques for power system: research challenges and survey. *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 71054–71090. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3187839.
3. Aslam S., Herodotou H., Mohsin S.M., Javaid N., Ashraf N., Aslam S. A survey on deep learning methods for power load and renewable energy forecasting in smart microgrids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. Vol. 144. Art. 110992. DOI: 10.1016/j.rser.2021.110992.
4. Khan A.A., Laghari A.A., Rashid M., Li H., Javed A.R., Gadekallu T.R. Artificial intelligence and blockchain technology for secure smart grid and power distribution automation: a state-of-the-art review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2023. Vol. 57. Art. 103282. DOI: 10.1016/j.seta.2023.103282.

5. Method for evaluating the stability of arc burning of electrodes with rutile-cellulosic covering / O. Kostin et al. 2022 IEEE 4th international conference on modern electrical and energy system (MEES), Kremenichuk, Ukraine, 20–23 October 2022. 2022. URL: <https://doi.org/10.1109/mees58014.2022.10005682> (date of access: 23.11.2025).

Abstract. The paper summarises the possibilities of applying artificial intelligence (AI) methods to improve energy distribution efficiency and enhance vulnerability detection in power networks. The limitations of traditional centralised control approaches under the conditions of increasing renewable energy penetration, large-scale digitalisation and growing cyber threats are outlined. The use of machine learning and deep learning algorithms for load forecasting and optimisation of power flows is substantiated, as well as intelligent anomaly detection techniques for timely identification of technical faults and potential cyberattacks. The advantages and disadvantages of centralised, decentralised and hybrid control models are analysed, with particular attention to the role of blockchain technologies and smart contracts in ensuring transparency and security of operations. Key factors influencing the effectiveness of AI models in energy networks – data quality, computational resources, noise level and cyber-resilience – are highlighted, and directions for further development of hybrid intelligent control systems are defined.

Keywords: load forecasting; digital transformation; microgrids; risk assessment; neural network models; anomaly detection; blockchain.

5. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

УДК 621.316.7:621.382

МОДЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПІДСИЛЮВАЧА АКТИВНОГО ФІЛЬТРА.

Касіяді М. С.

здобувач вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніки та електромеханіка

Національний університет корабле будування імені адмірала Макарова.
м. Миколаїв, Україна

Анотація У роботі наведено результати моделювання активного енергетичного фільтра з використанням програмного середовища Multisim з метою визначення частотних та енергетичних характеристик підсилювача. Проведено аналіз впливу коефіцієнта підсилення на ефективність зниження гармонік випрямленої напруги, а також досліджено параметри напруги, струму та потужності при різних режимах роботи схеми. Встановлено, що використання активної фільтрації забезпечує істотне зменшення амплітуди гармонійних складових напруги живлення при незначних енергетичних витратах підсилювача. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні високоефективних джерел живлення сучасної електронної апаратури.

Ключові слова: активний фільтр, підсилювач, гармоніки напруги, енергетичні характеристики, потужність, Multisim, блок живлення, електронна апаратура.

Блоки живлення електронної апаратури є найбільш її енерго затратними елементами і мають значні масо- габаритні показники, обумовлені як узгоджуючими трансформаторами, так і фільтрами гармонік. Тому задачам підвищення ефективності блоків живлення приділяється значна увага розробників. В останні роки, завдяки масовому переходу електронної апаратури на низьковольтне живлення значна увага стала приділятися задачам суттєвого зниження гармонік випрямленої напруги. Сучасні прилади звуко – акустичної, медичної, вимірювальної, електрофізичної апаратури вимагають, щоб рівень змінної складової у напрузі живлення не перевищував $(0.01 - 0.001) \%$. [1]. Одним з ефективних способів зниження рівня гармонік випрямленої напруги є використання активних енергетичних фільтрів [2].

На Рис.1. наведена принципова схема блоку живлення з використанням способу активної фільтрації.

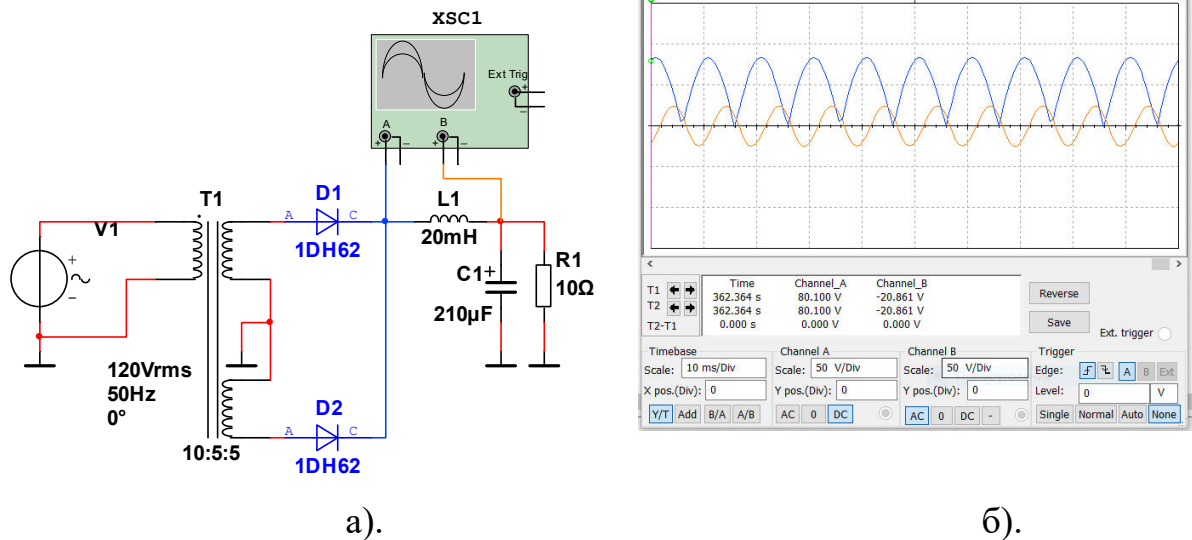


Рис.1. Принципова схема блоку живлення з використанням способу активної фільтрації.

З наведеної схеми і осцилограм витікає, що ефективність пасивного L-C – фільтра досить низька, оскільки знижує змінну складову з величини 80В до 50. В той же час габарити дроселя L1 і конденсатора C1 можуть бути досить значними. В [2] запропоновані технології активної фільтрації гармонік. Одна з запропонованих схем наведена на рис. 2.а.

Модель активного енергетичного фільтра, складена в Мультисім, показала високу ефективність, що видно з рис.2.б. З амплітуди пульсацій понад 82В (на осцилографі XSC1 показання по каналу А) гармоніки зменшились додо 420 мВ (показання каналу В).

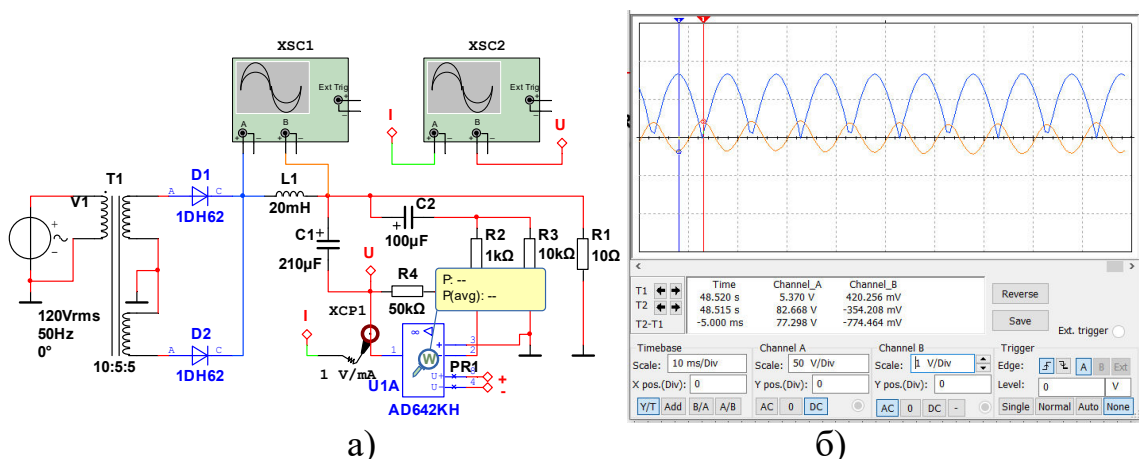


Рис.2. Схема та модель активного енергетичного фільтра

Метою досліджень є визначення необхідних параметрів підсилювача як з точки зору його частотних властивостей, так і з точки зору енергетичних параметрів – напруги, струму, потужності і їх залежності від коефіцієнта фільтрації гармонік.

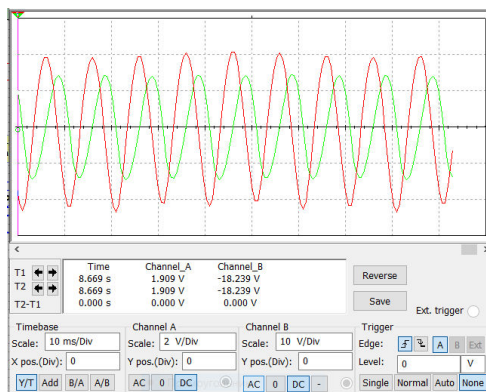
Для цього в робочу модель схеми встановлені датчики напруги, струму і потужності за допомогою яких можна контролювати вказані параметри.

Вибір підсилювача по частотних властивостях показав, що для ефективної роботи фільтра необхідно вибирати підсилювачі з коефіцієнтом підсилення в інтервалі 80 – 100 дБ в полосі частот від нуля до (500-1000) Гц. Підсилювач не повинен мати завалу на низьких частотах з метою усунення впливу його на амплітудно – частотну характеристику активного фільтра в області низьких частот.

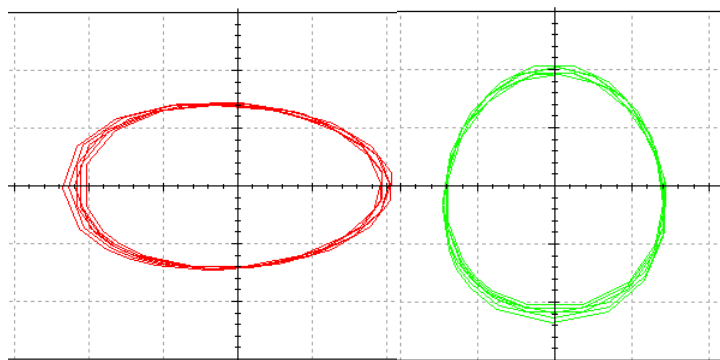
Для оцінки енергетичних характеристик підсилювача скористаємось датчиком акривної потужності W і датчиком струму ХСР1 з масштабом 1mV/1mA і виведемо осцилограми струму і напруги на осцилограф ХСC2. Осцилограми наведені на рис. 3, а. Їх аналіз показує, що струм і напруга зміщені між собою на кут близький до 90° , що говорить про те, що активна потужність на виході підсилювача практично відсутня. Це ж показують і фігури Ліссажу, що наведені відповідно по горизонталі для напруги і струму.

Незначні зміщення відносно горизонтальної і вертикальної осей по підношенню до їх площі говорить про незначну активну складову потужності.

Для більш точного вимірювання було використано ватметр потужності елементів і побудовані графічні залежності коефіцієнта фільтрації гармонік K_Φ (синього кольору), напруги на виході операційного підсилювача U_{OP} (коричневого кольору) і середньої потужності, що виділяється на підсилювачі.



а)



б)

Рис.3. Осцилограми

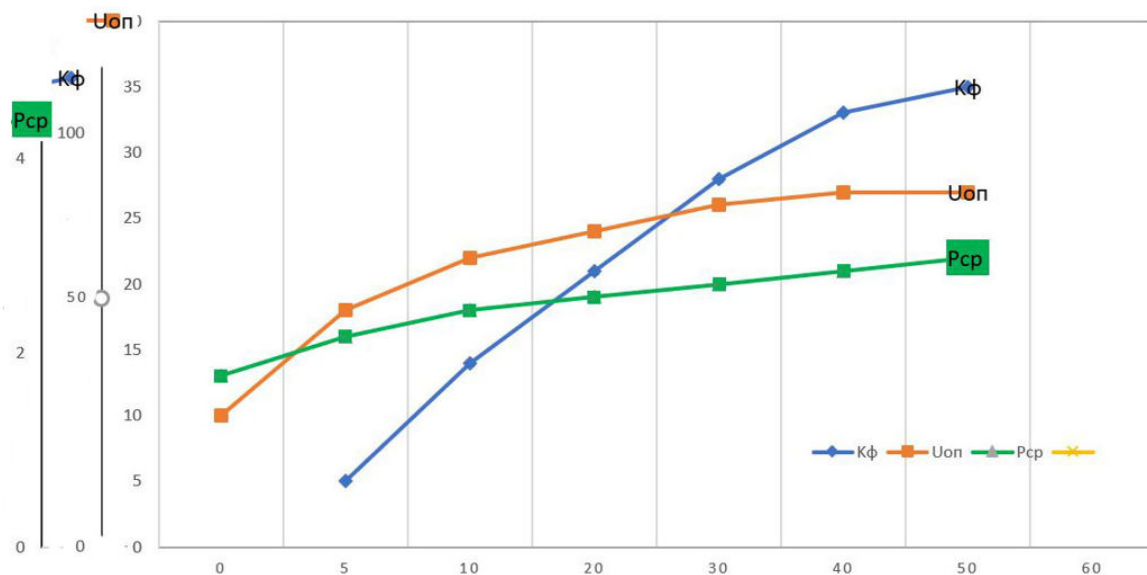


Рис.4. Лінійний графік із трьома залежностями

Підсилювач повинен мати не значну потужність (в межах одиниць Ват) і робочу напругу, рівну максимальній напрузі на навантаженні без врахування дії активного фільтра.

Література

1. Jing H., Liu Z., Wang H., Sheh X. Design and realization of high-precision digital control direct current power supply. International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), Xianning, China, 16–18 April 2011. DOI: <https://doi.org/10.1109/cecnet.2011.5768894>.
2. Рябенкий В.М. Губаревич В.М., Маруня Ю.В. Худякова І.М. Трибулькевич С.Л. Особливості проектування активних енергетичних фільтрів. ж. «Технічна електродинаміка» № 6, 2005, <https://doi.org/10.15407/techned2025.06.003>

Abstract. *The paper presents the results of modeling an active power filter using the Multisim software environment to determine the frequency and power characteristics of the amplifier. An analysis of the influence of the gain on the efficiency of reducing rectified voltage harmonics was conducted, and the voltage, current, and power parameters were investigated in different operating modes of the circuit. It was established that the use of active filtering provides a significant reduction in the amplitude of the harmonic components of the supply voltage with insignificant energy consumption of the amplifier. The results obtained can be used in the design of highly efficient power supplies for modern electronic equipment.*

Keywords: *active filter, amplifier, voltage harmonics, energy characteristics, power, Multisim, power supply, electronic equipment.*

Науковий керівник:

Рябенкий В.М.

професор

*кафедри програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
Національний університет корабле будування імені адмірала Макарова*

УДК 621.314.57

СПОСІБ ФОРМУВАННЯ СИНХРОІМПУЛЬСІВ ДЛЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ БАГАТОФАЗНИМ ВИПРЯМЛЯЧЕМ.

Володимир Рябенський

професор кафедри програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій,

Національний університет корабле будування імені адмірала Макарова.
м. Миколаїв, Україна

Анотація. У статті розглянуто спосіб формування синхроімпульсів для системи керування багатофазним керованим випрямлячем на основі апаратного потроєння частоти мережі. Запропоновано просту та високоточну схему отримання сигналу потрібної частоти із мінімальними амплітудними, частотними та фазовими спотвореннями, що реалізується за допомогою операційних підсилювачів та перемножувачів. Показано можливість подальшого формування симетричної послідовності імпульсів шестикратної частоти для забезпечення коректної роботи тиристорних ключів у багатоканальних системах керування. Зазначається, що використання апаратного методу підвищує точність синхронізації, спрощує конструкцію системи та покращує якість випрямленої напруги.

Ключові слова: багатофазний випрямляч; система керування; синхроімпульси; потроєння частоти; операційні підсилювачі; тиристорне керування; гармоніки; синхронізація.

Багато фазні керовані випрямлячі, серед яких найбільше поширена трифазна мостова схема, використовують багато каналну систему керування. Особливість таких систем полягає у формуванні імпульсів керування тиристорами з фазовими затримками відносно моменту переходу фазної напруги через нуль [1]. При наявності спотворень фазних напруг для кожного каналу встановлюють фільтруючі пристрої. Розкид параметрів фільтрів, а також не симетрія напруг мережі приводять до появи у випрямленій напрузі значних по величині неканонічних гармонік, тобто гармонік, що мають частоти 50, 100, 150 Гц. В літературі [1,2] досить детально описані проблеми, до яких приводять вказані гармоніки, а також способи їх зменшення за рахунок використання різних засобів підвищення симетрії імпульсів синхронізації. Найбільш досконалими з них є мікропроцесорні системи, в яких за допомогою складних алгоритмів розв'язуються як задачі синхронізації, так і задачі забезпечення

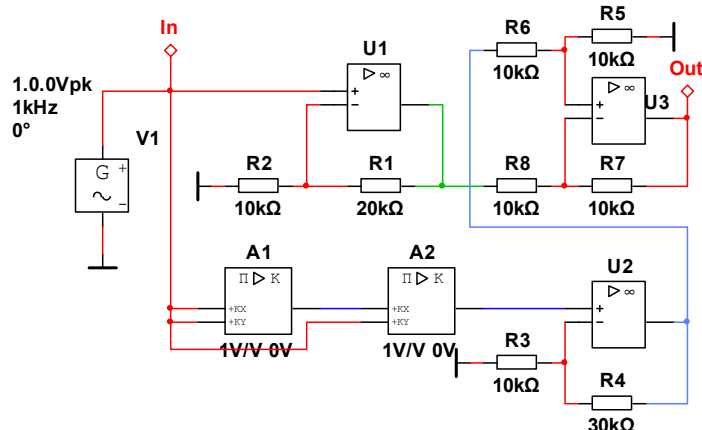
положення відкриваючих імпульсів тиристорів [3]. Але такі системи мають значну вартість і складність у відлагодженні і необхідність їх використання є лише у випадках, коли перетворювач використовується в комп'ютеризованих системах керування.

В роботі пропонується проста система формування симетричної послідовності імпульсів шестикратної частоти, які, в подальшому, можуть бути використані для забезпечення фазового зсуву і керування силовими ключами. Для цього пропонується математично точний спосіб перетворення вхідної частоти мережі у потрібну частоту сигналу і подальшому формуванні імпульсів керування. Формула перетворення має вигляд:

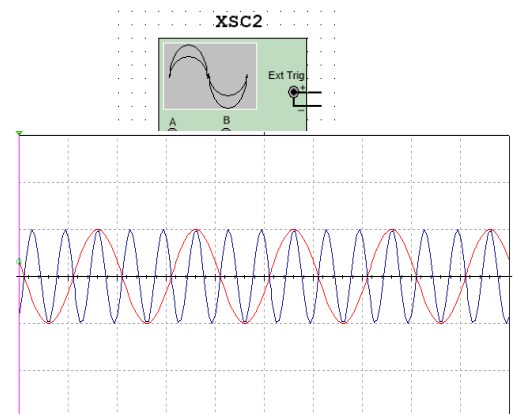
$$\sin 3x = 3 \cdot \sin x - 4 \cdot \sin^3 x$$

Її апаратна реалізація на основі операційних підсилювачів наведена на рис. 1, а, а на рис. 1, б – осцилограми вхідної і вихідної напруг.

На перемножувачах A1, A2 реалізована функція зведення вхідної синусоїди з генератора V1 до третьої ступені $\sin^3 x$, а на операційному підсилювачі U2 реалізований підсилювач з коефіцієнтом 4. Операційним підсилювачем U1 вхідний сигнал з генератора V1 підсилюється на 3 одиниці. Вихідні сигнали з U1 і U2 віднімаються на пристрої арифметичного віднімання, виконаному на U3. Вхідний і результуючий сигнали наведені на осцилограмі (Рис.1, б) відповідно червоним і темносинім кольорами.



а).



б).

Рис.1. Апаратна реалізація та осцилограма

Як витікає з вигляду осцилограм, які приведені для вхідної частоти 1 кГц, значних амплітудних, частотних і фазових спотворень в схемі немає. Тим більш, їх не буде на промисловій частоті 50 Гц

Якщо в наявності розробника є апаратні суматори, то наведена на рис.1, а схема може бути суттєво спрощена. Приклад її реалізації наведено на рис. 2.

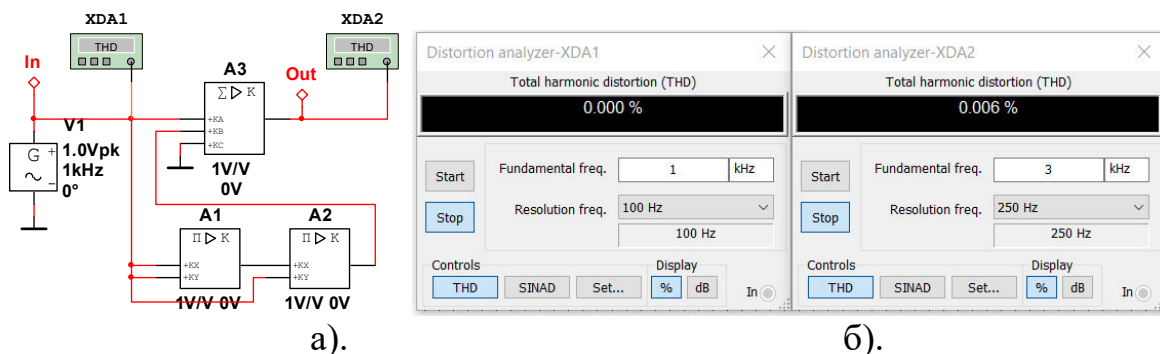


Рис.2. Спрощена схема

Аналізатори якості вхідного і вихідного сигналів –(коефіцієнт нелінійних спотворень- TND) показують високу точність перетворення.

Отримання імпульсної послідовності з сигналу частоти 150 гц (потроєної частоти мережі) розв'язується відомими засобами – отриманням меандру і його інверсного значення, диференціюванням їх по фронту з наступним знаходженням їх суми.

Використання апаратного потроєння частоти мережі дозволяє суттєво спростити засоби синхронізації систем керування багатофазних випрямлячів , підвищити точність їх реалізації і тим симим підняти якість випрямленої напруги.

Список використаних джерел

1. Дмитрієв Б.Ф., Рябенкий В.М., Черевко О.І. Музыка М.М. Суднові напівпровідникові перетворювачі. Підручник з курсу «Напівпровідникові перетворювачі». Архангельськ, САФУ, 2015, 464с.
2. Побєдаш К.К. Святненко В.А. Напівпровідникові прилади і перетворювачі електричної енергії. Київ, КПІ, 2017, 312с.
3. Дорогань О.І., Ушкаренко О.О. методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Комп'ютеризовані системи керування». Миколаїв, НУК, каф. ПЕЕТ, 2019, 64с.

Abstract. The article considers a method of generating synchronization pulses for a multiphase controlled rectifier control system based on hardware tripling of the network frequency. A simple and high-precision scheme for obtaining a triple-frequency signal with minimal amplitude, frequency and phase distortions is proposed, which is implemented using operational amplifiers and multipliers. The possibility of further generating a symmetrical sequence of six-frequency pulses to ensure the correct operation of thyristor switches in multi-channel control systems is shown. It is noted that the use of the hardware method increases the synchronization accuracy, simplifies the system design and improves the quality of the rectified voltage.

Keywords: multiphase rectifier; control system; sync pulses; frequency tripling; operational amplifiers; thyristor control; harmonics; synchronization.

СТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПЛАЗМОЛІЗУ БУР'ЯНІВ

Петухов Дмитро

здобувач вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніки та електромеханіка

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

Анотація. У роботі розглянуто проблему вдосконалення методів боротьби з бур'янами, зокрема недоліки механічних та хімічних способів. Запропоновано електротехнологічний підхід на основі електроплазмолізу, що поєднує енергоощадність та екологічну безпеку. Розроблено функціональну схему електропропольника із секціонованою електродною системою та блоком контролю стану рослинної тканини. Показано, що секціонування електродів підвищує ефективність знищення бур'янів без збільшення потужності джерела живлення. Проведений аналіз підтверджує економічну та практичну доцільність застосування такого обладнання.

Ключові слова: бур'яни, електроплазмоліз, електропропольник, електродна система, секціонування електродів, високовольтні імпульси, екологічна безпека, енергоощадність.

Сучасні методи боротьби з бур'янами ґрунтуються на двох групах заходів: механічних та хімічних. Однак механічні способи споживають значні кількості енергії, а хімічні можуть провокувати гербіцидостійкість бур'янів та отруєння ґрунту і ґрунтових вод. Таким чином, зберегання енергії та відманіту хімічних речовин – актуальні завдання для розв'язання ряду проблем. Один з напрямів полягає в розробці електротехнологічних установок для ефективного винищення небажаної рослинності.

Функціональна схема спорудження електропропольня завершена, а її частинами є: високовольтне джерело живлення, генератор імпульсів, система контролю рослинної маси та електродний комплекс із комутаторами. Секціонування електродів з можливістю почергового підключення їх до джерела живлення дозволяє зменшити кількість оброблюваних бур'янів на одиницю часу без втрати продуктивності установки. Скорочення довжини секцій забезпечує майже 100% прополки при високій ступені сміттепоглинання полям без збільшення потужності джерела живлення. Однак, надмірна кількість секцій та швидкість руху агрегата можуть знизити час взаємодії електродів зі сміттям, що призведе до зменшення результативності обробки. Тому оптимальний вибір схеми секціонування можливий менеджменту.

Система контролю поля базується на вимерзденні швидкості зміни амплітуди струму, що протікає крізь рослину, якщо впливати на високовольтними П-подібними імпульсами, бур'ян моментально загинути через форму цього струму, що має співпадати з напругою. Розроблену схему було

апаратуру, яка була заключена в електропропольник. Для ефективного впливу на тканини застосовується струм з напрямом таким чином : навісний електрод → іскровий канал → рослина → ґрунт → ґрунтовий електрод. Цей вплив веде до пошкодження клітин рослин та втрати їх можливостей утримувати вологу.

Проведений аналіз існуючих методів боротьби з бур'янами підтвердив доцільність обрання електроплазмолізу як енергоощадного та екологічно безпечного способу. Запропонована функціональна схема електропропольника з секціонованою електродною системою та контролем стану рослинної тканини підвищує ефективність знищення бур'янів і доводить економічну ефективність її впровадження.

Список використаних джерел

1. Borger C. P. D., Slaven M. J. Electric weed control—how does it compare to conventional weed control methods?. *Weed science*. 2025. Vol. 73, no. 1.
2. Schreier H., Bish M., Bradley K. W. The impact of electrocution treatments on weed control and weed seed viability in soybean. *Weed technology*. 2022. P. 1–31.
3. Slaven M. J., Koch M., Borger C. P. D. Exploring the potential of electric weed control: a review. *Weed science*. 2023. P. 1–49.

Abstract. *This study examines an agricultural robot built on the Arduino UNO platform, and the main task is to create software for analyzing video data from a camera on the robot. The practical significance of this study lies in creating a robot and the corresponding software for it.*

Keywords: *Arduino UNO, agricultural robot, computing platform.*

Науковий керівник:

Руденко А.Ю.

асистент

*кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки
Миколаївський національний аграрний університет*

УДК 631.3:620.9:628.9

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ОСВІТЛЕННЯ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ

Орехівський Іван

здобувач вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніки та електромеханіка

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

Анотація. У статті проведено аналіз основних систем енергоефективного освітлення, що використовуються в агропромисловому комплексі. Розглянуто технічні та експлуатаційні характеристики традиційних і сучасних джерел світла: ламп розжарювання, люмінесцентних,

флуоресцентних та світлодіодних систем. Визначено їх переваги й недоліки, а також розроблено рекомендації щодо вибору оптимальних варіантів освітлення залежно від типу об'єкта. Обґрунтовано доцільність впровадження світлодіодних систем як найефективнішого рішення для підвищення енергозбереження та екологічної безпеки виробництва в АПК.

Ключові слова: *енергоефективність, освітлення, агропромисловий комплекс, світлодіодні системи, люмінесцентні лампи, енергозбереження, джерела світла, технологічне освітлення, автоматизація, енергоменеджмент.*

Сучасний агропромисловий комплекс (АПК) є однією з базових складових економіки України, розвиток якого значною мірою залежить від ефективності використання енергетичних ресурсів. Одним із вагомих напрямів енергозбереження є оптимізація систем освітлення, адже вони споживають значну частку електроенергії в сільському господарстві. Підвищення енергоефективності освітлювальних установок безпосередньо впливає на економічну доцільність виробництва, комфорт працівників, умови утримання тварин, а також на екологічну безпеку підприємств.

На більшості підприємств АПК донині використовуються освітлювальні системи із застарілими джерелами світла, зокрема лампами розжарювання та люмінесцентними лампами, які характеризуються низьким коефіцієнтом корисної дії та високими експлуатаційними витратами. У той же час технологічний прогрес відкриває можливості для переходу на сучасні енергоефективні рішення — світлодіодні (LED) системи, що поєднують економічність, довговічність та екологічність.

Необхідність системного аналізу існуючих типів освітлення, визначення їх ефективності та вироблення рекомендацій щодо вибору оптимальних варіантів для різних типів сільськогосподарських об'єктів зумовлює актуальність цього дослідження.[1]

Метою дослідження є проведення аналізу основних систем енергоефективного освітлення, що застосовуються в агропромисловому комплексі, визначення їх технічних та експлуатаційних характеристик, переваг і недоліків, а також розроблення практичних рекомендацій щодо вибору та впровадження оптимальних систем освітлення для різних типів об'єктів АПК з метою підвищення рівня енергозбереження та ефективності роботи підприємств.

Для забезпечення потреб в освітленні об'єктів АПК використовуються різноманітні типи систем освітлення. Традиційні системи, що базуються на використанні ламп розжарювання, тривалий час залишалися основним джерелом світла завдяки своїй дешевизні та простоті в експлуатації. Однак їх енергетична ефективність є вкрай низькою — лише 5–10 % електричної енергії перетворюється у видиме світло, решта — у тепло. Крім того, такі лампи мають обмежений термін служби (до 1000 годин) і створюють значне теплове навантаження на систему вентиляції [2].

Люмінесцентні та флуоресцентні лампи стали наступним етапом удосконалення освітлювальних технологій. Вони забезпечують у 3–4 рази вищу світловіддачу, мають триваліший строк служби (до 10 000 годин) і менше нагріваються. Проте ці джерела світла мають свої обмеження: нестійкість до

коливань температури, складність утилізації через наявність ртуті, а також поступове зниження світлового потоку з часом.

Розвиток напівпровідникових технологій дав поштовх до впровадження світлодіодних систем освітлення (LED), які сьогодні є найефективнішими серед усіх існуючих. Вони споживають у 5–8 разів менше електроенергії, ніж лампи розжарювання, при цьому забезпечують у 10–15 разів більший ресурс роботи (до 50 000 годин) [3]. До переваг LED-світильників належать висока енергоефективність, стабільність світлового потоку, можливість регулювання інтенсивності освітлення, екологічна безпечність та широкий спектр кольорових температур.

У процесі аналізу встановлено, що вибір типу освітлення значною мірою залежить від функціонального призначення об'єкта. Так, у тваринницьких приміщеннях важливо створити м'яке, рівномірне освітлення з колірною температурою, близькою до природного світла (3500–4000 K), що позитивно впливає на продуктивність тварин. Для теплиць, де освітлення використовується як частина технологічного процесу, перевагу слід надавати світлодіодним системам із можливістю регулювання спектра випромінювання відповідно до потреб рослин.

Для зовнішнього освітлення територій підприємств та складів доцільно застосовувати LED-світильники з високим ступенем захисту від вологи та пилу (IP65 і вище). Вони забезпечують яскраве та рівномірне освітлення великих площ при мінімальних витратах енергії. Люмінесцентні системи доцільно залишати для побутових приміщень або офісних зон, де важливим є м'яке світло й стабільна кольоропередача [4].

Додатково варто відзначити важливість автоматизації систем освітлення. Використання датчиків руху, систем керування освітленістю, а також технологій «розумного» освітлення (smart lighting) дозволяє зменшити енергоспоживання на 20–40 %. Інтеграція таких систем у виробничі процеси АПК створює умови для адаптивного керування освітленням, що враховує природну освітленість, час доби та кількість людей у приміщенні [5–6].

Порівняльний аналіз показав, що:

- лампи розжарювання – найменш ефективні, з високим споживанням електроенергії;
- люмінесцентні лампи – середній рівень енергоефективності, але потребують спеціальної утилізації;
- LED-системи – найефективніші, мають найменші експлуатаційні витрати та довгий термін служби.

Таким чином, впровадження світлодіодних технологій у системи освітлення агропромислових об'єктів є доцільним та економічно обґрунтованим рішенням, яке відповідає сучасним вимогам енергозбереження та сталого розвитку.

Проведений аналіз підтвердив, що найбільш перспективним напрямом розвитку систем освітлення в агропромисловому комплексі є впровадження світлодіодних технологій. Вони забезпечують значне зниження енергоспоживання, підвищують ефективність роботи обладнання та сприяють покращенню умов праці. Використання світлодіодних систем дозволяє зменшити витрати електроенергії в середньому на 60–80 % у порівнянні з традиційними системами.

До перспективних напрямів подальших досліджень належать розробка гібридних систем освітлення, інтегрованих із системами енергоменеджменту підприємств, використання альтернативних джерел живлення (сонячних панелей) та впровадження інтелектуальних систем автоматичного керування освітленням. Це

дозволить досягти максимальної енергоефективності та забезпечити стабільний розвиток агропромислового виробництва з урахуванням сучасних екологічних вимог.

Список використаних джерел

1. Energy efficient lighting in plant factories: addressing utilance / J. Balasus et al. *Agronomy*. 2021. Vol. 11, no. 12. P. 2570.
2. Kharraz N., Revoly A., Szabó I. IoT-Based adaptive lighting framework for optimizing energy efficiency and crop yield in indoor farming. *Journal of sensor and actuator networks*. 2025. Vol. 14, no. 3. P. 59.
3. Use of lighting technology in controlled and semi-controlled agriculture in greenhouses and protected agriculture systems–part 1: scientific and bibliometric analysis / E. Villagran et al. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, no. 4. P. 1712.
4. Wang H. Application effects and optimization strategies of semiconductor lighting (LED) technology in agricultural lighting. *Applied and computational engineering*. 2025. Vol. 155, no. 1. P. 243–251.
5. Technologies applied to artificial lighting in indoor agriculture: a review / L. F. Lozano-Castellanos et al. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, no. 7. P. 3196.
6. Xia Z., Li Z. Research progress in facility agriculture and lighting by bibliometric analysis based on citespace. *Advances in applied sciences*. 2024. Vol. 9, no. 1. P. 6–16.

Abstract. *The article analyzes the main energy-efficient lighting systems used in the agro-industrial complex. The technical and operational characteristics of traditional and modern light sources are considered: incandescent lamps, fluorescent, fluorescent and LED systems. Their advantages and disadvantages are determined, and recommendations are developed for choosing the optimal lighting options depending on the type of facility. The feasibility of implementing LED systems as the most effective solution for increasing energy saving and environmental safety of production in the agro-industrial complex is substantiated.*

Keywords: *energy efficiency, lighting, agro-industrial complex, LED systems, fluorescent lamps, energy saving, light sources, technological lighting, automation, energy management.*

Науковий керівник:

Мардзявко В.А.,

асистент

*кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки
Миколаївський національний аграрний університет*

USE OF ELECTROTECHNOLOGICAL INSTALLATION FOR BACTERICIDAL TREATMENT OF ELEVATOR SILOS

Dalakyan Oleksandr

student of higher education, specialty 141 Power engineering, electrical
engineering and electromechanics

Mykolaiv National Agrarian University

Mykolaiv, Ukraine

Abstract. *This paper considers the prospective development of an electrotechnological installation for the bactericidal treatment of elevator silos using ozone. Modern equipment was studied and it was determined that an effective method is a system of electrodes with a row of rods with needles-plane, which ensures effective generation of ozone in the silo elevator.*

Keywords: *silo elevator, bacteria, microorganisms, bactericidal treatment, electrotechnological installation, ozone.*

In modern agriculture, it is important to ensure the storage of agricultural products in conditions that maximize their quality and duration of storage. One of the key challenges is to avoid the spread of bacteria and microorganisms in silo elevators, which can lead to spoilage of stored grain and other forage crops.

In this regard, the development of an electrotechnological installation for the bactericidal treatment of elevator silos becomes an urgent task for modern farmers and fodder producers. The use of bactericidal treatment technologies allows you to effectively protect grain and fodder stocks from the harmful effects of bacteria, fungi and other microorganisms, which can significantly improve the quality of products and ensure their safety for animals and people.

In this study, we will consider the process of development and implementation of an electrotechnological installation that will provide effective bactericidal treatment of elevator silos.

To conduct an analysis of modern equipment for the generation of an ozone-air mixture and to determine the main promising directions for the introduction of ozone into the construction of silos.

In modern conditions of storage of agricultural products in silo elevators, the problem of the spread of bacteria and microorganisms determines not only the quality of storage, but also the safety and cost of feed production (Fig. 1) [1].

Bacteria, fungi and other microorganisms can cause negative consequences, such as rotting, loss of nutritional value of products and even the formation of toxins, which threatens the health of animals and people. One of the key factors in solving this problem is the development and implementation of electrotechnological installations for the bactericidal treatment of elevator silos. These facilities use innovative methods, such as

electrical treatment, to destroy and inhibit the growth of harmful microorganisms, thereby ensuring long-term and safe storage of agricultural products.



Fig. 1 – An example of spoiled grain at the bottom of elevator silos and hoppers

This technology not only preserves the quality of products, but also affects the increase in production efficiency and the reduction of storage costs [2]. The development of electrotechnological solutions for the bactericidal treatment of elevator silos opens up new perspectives for a sustainable and safe agro-industrial complex, contributing to the improvement of the quality and competitiveness of agricultural products.

Ozone is highly oxidizing, simple, accessible, and can be obtained by electrosynthesis from air in the required place and quantity. But it is especially important that ozone is ecologically compatible, and it alone (except for oxygen) participates in the biological processes of the environment. It has many properties: bactericidal, fungicidal, virulicidal, deodorizing, insecticidal, demercurizing, stimulating, etc. [3].

The proposed design of the ozonator (Fig. 2) allows the installation to be integrated into the technological process without significant reconstructions and with minimal capital investments.

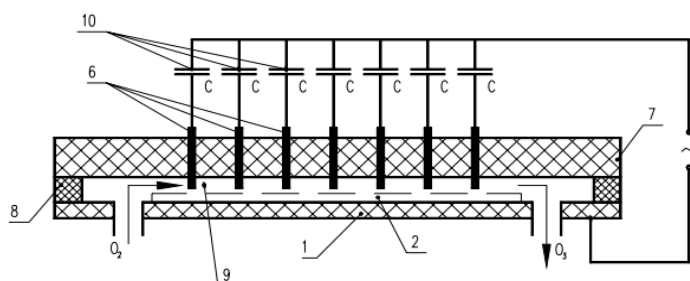


Fig. 2 – Barrier-free ozonator installation: 1 - metal electrode; 2 - zone of possible location of the dielectric barrier; 6 - sectioned electrode; 7 - plexiglass wall; 8 - liners; 9 - bit gap; 10 - ballast load

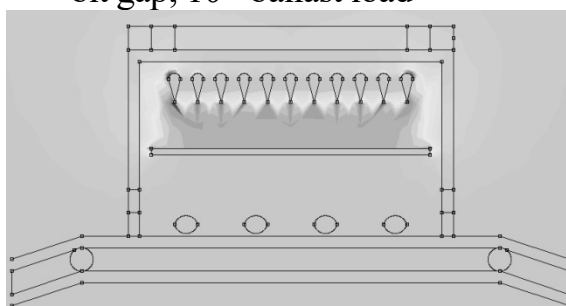


Fig. 3 – Distribution of electric field strength in the volume of the chamber ozonator

From the mathematical modeling of the electric field strength distribution (Fig. 3), it can be seen that it is more effective to use a system of electrodes with a row of rods with needles-a plane, since in this case a significantly greater value of the electric field strength is observed between the corroding and non-corroding electrodes.

This design has a certain advantage, since ozone is formed directly in the silo chamber, and since the electrodes of the ozone generator are located above the object of processing, the electric fields have a weak effect on the biology of grain products, in the case of its presence in the storage silo.

Analysis of modern equipment and mathematical modeling showed that the use of a system of electrodes with a row of rods with needles-a plane is a more effective method of generating ozone in a silo elevator. Implementation of the proposed ozonator unit allows to integrate the technology into the technological process with minimal capital investments and without significant reconstructions. Therefore, the development and implementation of an electrotechnological installation for the bactericidal treatment of elevator silos using ozone is a promising solution for improving the quality and safety of agricultural product storage. The implementation of this technology will contribute to the improvement of storage conditions and ensure the stability of the agro-industrial complex, maintaining the high quality and safety of products for animals and people.

References

1. Дубовенко К., Захаров Д. Знезараження зернової продукції імпульсним коронним розрядом. *Вісник національного технічного університету «ХПІ»*. 2015. Т. 96, № 61. С. 139–149.
2. Кунденко М, Руденко А, Мардзявко В. Знезараження зернової маси методом фумігації озоном. *Scientific Collection «InterConf»*. 2022. С. 280–282. URL: <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/1938>.
3. Щербя А. А., Дубовенко К. В. Високовольтні електророзрядні компактні системи. К.: Наукова думка. 2008. 264 с.

Анотація. У даній роботі розглядається перспективна розробка електротехнологічної установки для бактерицидної обробки силосів елеватора з використанням озону. Досліджено сучасне обладнання та визначено, що ефективним методом є система електродів ряд стрижнів з голками-площина, яка забезпечує ефективну генерацію озону в силосному елеваторі.

Ключові слова: силосний елеватор, бактерії, мікроорганізми, бактерицидна обробка, електротехнологічна установка, озон.

Supervisor:

V. A. Mardzyavko,

assistant

department of electric power engineering, electrical engineering and

electromechanics

Mykolaiv National Agrarian University

DEVELOPMENT OF THEORETICAL INSTALLATION FOR THE STUDY OF ELECTROPLASMOLYSIS OF CEREAL CULTURES

Sheptytskyi V'iacheslav

student of higher education, specialty 141 Power engineering, electrical engineering and electromechanics

Mykolaiv National Agrarian University

Mykolaiv, Ukraine

Abstract. *This work is devoted to the development of an effective and safe experimental setup for the study of electropasmolysis of grain crops. The process of electropasmolization includes the effect of electric current on the cellular structures of plants, which can lead to the rupture of cell membranes and changes in the internal structure of cells. The experimental setup includes a regulated power source, thyristors, a measuring shunt, an oscilloscope, and working electrodes. Analysis of the results of the experiment using a biological microscope and a digital camera confirms the presence of electropasmolysis and its effect on cell membranes. The obtained results indicate an increased permeability of membranes and a positive effect on the quality and germination of grain. The developed installation is promising for further research in the field of electropasmolysis of grain crops.*

Keywords: *electropasmolysis, experimental setup, grain cultures, thyristors, cell membranes, grain quality and germination.*

Electropasmolysis can play a role in decontamination of grain crops, especially in the context of seed treatment to ensure preservation and increase yield. Can stimulate the destruction of cell membranes of microorganisms, such as bacteria or fungi, which can lead to their death. This can help reduce the number of pathogens and other harmful microorganisms that may reside on the surface of the grain or in its structure. The permeability of cell membranes also increases, which makes the grain more accessible to disinfection agents, such as antimicrobials or chemical solutions [1].

Contaminated seed may have better quality and germination capacity. Electropasmolysis can contribute to improving conditions for germination and grain development, making it less susceptible to pathogens. The use of electropasmolysis can help reduce the reliance on chemicals for disinfection, which can be important in the context of sustainable agriculture and environmental protection.

It is important to conduct research and testing to determine the optimal conditions and parameters of electropasmolysis for specific grain crops and disinfection purposes, so it can be said that the introduction of the electropasmolysis process into the technological processes of rural production will have a qualitative effect.

Rdevelopment of an effective and safe experimental setup that can serve as a basis for further research in the field of electropasmolysis of grain crops.

Electroplasmolization is a physical process used to treat plant materials, particularly grains. The procedure includes the effect of electric current on the cellular structures of plants, which can lead to the rupture of cell membranes and changes in the internal structure of cells. It is important to note that electroplasmolysis can have certain effects on the quality and properties of plant materials, and its use should be made with caution, taking into account the specific needs and requirements of research or production [2].

During the development of the installation, it is necessary to take into account the use of a regulated power source and devices for fixing transient processes and changing the cell structure. The appearance of the experimental setup shown in fig. 1, it can be seen that it consists of a laboratory autotransformer T1, two thyristors VD1 and VD2, which are connected in opposite parallel, a measuring shunt R1 with limiting resistors, an oscilloscope and working electrodes. Thanks to the control of thyristors, we can adjust the duration of processing within the specified limits.

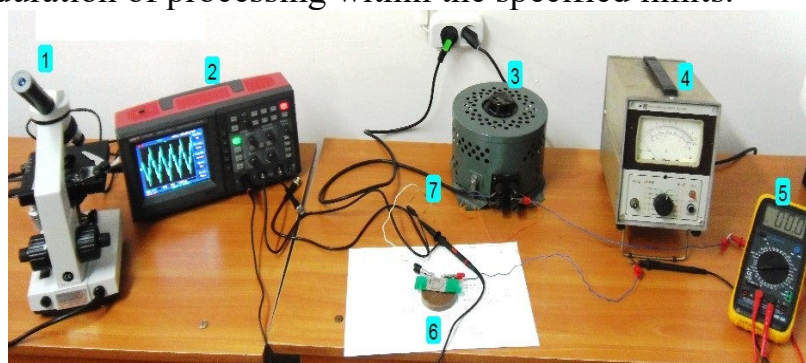


Fig. 1 – Appearance of the experimental setup for the study of electroplasmolysis: 1 - biological microscope; 2 - digital oscilloscope; 3 - autotransformer; 4 - millivoltmeter; 5 - digital multimeter; 6 - experimental sample of plant raw materials; 7 - shunt for current measurement

The analysis of the results of the experiment was performed using a biological microscope and a digital camera (Fig. 2). The obtained data indicate the presence of the phenomenon of electroplasmolysis during the passage of electric current through plant material [3]. This is determined by partial deformation or complete destruction of the cell membrane, which in turn leads to the release of moisture.

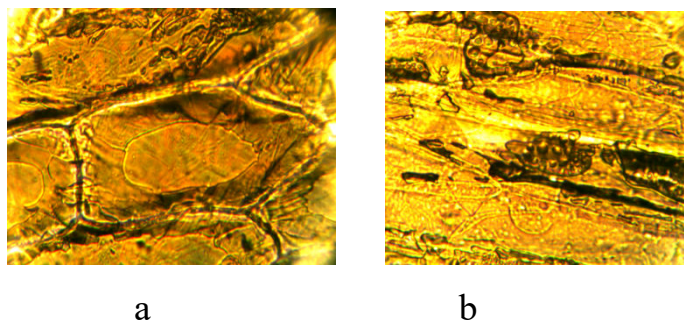


Fig. 2 – Photographs of cells with an increase of 150 times: a - before the beginning of the process; b - at the end of processing

The obtained results also indicate the increased permeability of cell membranes, making the grain more accessible to the action of disinfection agents, such as antimicrobial drugs or chemical solutions. This is important to ensure the quality and safety of cereal seeds. It was also found that disinfected seeds can have improved

quality and ability to germinate, which indicates a positive effect of electropasmolysis on grain development.

The developed experimental setup looks promising for further research in the field of electropasmolysis of grain crops. The presence of an adjustable power source and devices for registering transient processes allows effective control and analysis of the electropasmolysis process.

References

1. Дубовенко К., Захаров Д. Знезараження зернової продукції імпульсним коронним розрядом. *Вісник національного технічного університету «ХПІ»*. 2015. Т. 96, № 61. С. 139–149.

2. Kundenko M., Chaly I., Rudenko A., Mardziavko V. Development of a Model of Cell Functioning to Measure the Interaction of Low-Energy EMF. *2022 XXXII International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA)*. 2022. P. 1-4, doi: 10.1109/MMA55579.2022.9993093.

3. M. Kundenko, A. Rudenko, O. Iegorova, V. Mardziavko. Model of Pulses Propagation in Cellular Structures of Fibers. *2022 IEEE 41st International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*. 2022. P. 323-328. doi: 10.1109/ELNANO54667.2022.9927033.

Supervisor:

Rudenko A.Yu.,

assistant

*department of electric power engineering, electrical engineering and
electromechanics*

Mykolaiv National Agrarian University

УДК 620.9

ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТИХ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЙ В КОНТЕКСТІ КЛІМАТИЧНОЇ ПОЛІТИКИ ЄС

Червоний Олексій

здобувач вищої освіти спеціальності 144 Теплоенергетика Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

м. Харків, Україна

Анотація: розглянуто сучасний стан і перспективи розвитку альтернативних джерел енергії в Європі та Україні з акцентом на зниження викидів парникових газів, енергетичну незалежність і впровадження екологічно чистих технологій опалення та охолодження. Особливу увагу приділено аналізу потенціалу сонячної, вітрової та біоенергетики як ключових напрямів забезпечення сталого енергетичного розвитку.

Ключові слова: альтернативна енергетика, відновлювані джерела енергії, сонячна енергетика, вітрова енергетика, біоенергетика, енергоефективність, сталий розвиток, декарбонізація.

Опалення та охолодження становлять половину споживання енергії в ЄС. Декарбонізація сектору має вирішальне значення для досягнення юридично обов'язкових цілей ЄС щодо скорочення викидів парникових газів на 55% до 2030 року та кліматичної нейтральності до 2050 року, які закріплені в Законі ЄС про клімат. Крім того, впровадження відновлюваних та ефективних технологій опалення та охолодження зменшує залежність Європи від імпорту енергії, особливо з Росії, підвищуючи енергетичну безпеку та сприяючи досягненню цілей REPower EU. Тим не менш, викопне паливо залишається домінуючим джерелом енергії для опалення та охолодження, тоді як частка відновлюваних джерел енергії становила лише 23% у 2021 році і зростає недостатньо швидко, незважаючи на наслідки енергетичної кризи, спричиненої вторгненням Росії в Україну [1, 4]. Найперспективнішими в умовах сьогодення для світу в цілому і України зокрема є наступні джерела екологічно чистої енергії:

Сонячна енергетика. Приблизно половина сонячного випромінювання досягає поверхні Землі, однак його практичне використання все ще обмежене через технічні фактори. Наприклад, для отримання 1000 МВт потужності від сонячних панелей Canadian Solar TOPHiKu6 CS6R-435T необхідно близько 4,5 км² площі. Сонячні системи активно застосовуються для нагрівання води, у системах «теплої підлоги» та побутовому секторі [2, 3].

Вітрова енергетика. Це одне з найчистіших джерел енергії, яке не потребує спалювання палива. Прикладом може бути турбіна *Vestas V80/2000*: для отримання 1000 МВт потрібно близько 500 установок, що займають близько 259 км² [2, 3].

Біоенергетика. Дає змогу поєднати утилізацію відходів із виробництвом енергії, що особливо вигідно для агропромислового комплексу.

Міжнародний досвід свідчить, що перехід до чистої енергетики є реальним і вигідним. Лідерами у впровадженні відновлюваних технологій є Німеччина, Данія, Китай [2-4]. В Україні розвиток альтернативної енергетики активно підтримується завдяки системі «зеленого тарифу», що стимулює будівництво сонячних, вітрових і біогазових станцій [2, 3].

Альтернативна енергетика є ключем до сталого розвитку, енергетичної безпеки та екологічної стабільності. Її розвиток — це не лише технологічне завдання, а й стратегічна необхідність для забезпечення чистого, безпечного та доступного енергетичного майбутнього.

Впровадження екологічно чистих енерготехнологій є ключовим чинником досягнення кліматичних та енергетичних цілей ЄС і України. Декарбонізація сектору опалення та охолодження дозволяє значно зменшити викиди парникових газів, підвищити енергетичну незалежність та безпеку, а також сприяє виконанню стратегічних завдань REPower EU.

Незважаючи на домінування викопного палива, розвиток відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова та біоенергетика, демонструє реалістичність і економічну вигідність переходу до «зеленої» енергетики. Міжнародний досвід і національні програми, зокрема система «зеленого тарифу» в Україні, підтверджують перспективність цих технологій.

Таким чином, розвиток альтернативної енергетики є не лише технічною задачею, а й стратегічною необхідністю, що забезпечує сталий розвиток, екологічну стабільність і формує основу для чистого, безпечного та доступного енергетичного майбутнього.

Список використаних джерел:

1. Альтернативні джерела енергії: типи, переваги, застосування. Бюро УГКЦ з питань екології : веб-сайт. URL: <https://ecoburougcc.org.ua/index.php/ekologija-zhittja/chi-znaete-vi/4968-holovna-tekhnologii-alternatyvni-dzherela-enerhii-typy-perevahy-zastosuvannia-alternatyvni-dzherela-enerhii-typy-perevahy-zastosuvannia>
- 2 Альтернативные источники энергии: плюсы и минусы. Bezpeka-Shop.com : веб-сайт. 2023. URL: <https://www.bezpeka-shop.com/ua/blog/poleznye-sovety/alternativnye-istochniki-energii-plyusy-i-minusy/>
3. Актуальні питання співробітництва України та Європейського союзу у галузі альтернативної енергетики. Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара: веб-сайт. URL: https://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/konkyrs_stud/ES/2_3.pdf
4. *Renewables for Heating and Cooling in the NECPs – D2.1 REDI4Heat*. [Електронний ресурс]. URL: <https://redi4heat.ehpa.org/wp-content/uploads/2024/09/D2.1-REDI4Heat-compressed.pdf>
5. Electricity generation from biogas: Modern technologies and prospects for Ukraine's energy independence / O. Sadovoy et al. Machinery and energetics. 2025. Vol. 16, no. 1. P. 173–185. URL: <https://doi.org/10.31548/machinery/1.2025.173>

Abstract: The current state and prospects for the development of alternative energy sources in Europe and Ukraine are reviewed, with an emphasis on reducing greenhouse gas emissions, energy independence, and the introduction of environmentally friendly heating and cooling technologies. Particular attention is paid to the analysis of the potential of solar, wind, and bioenergy as key areas for ensuring sustainable energy development.

Keywords: alternative energy, renewable energy sources, solar energy, wind energy, bioenergy, energy efficiency, sustainable development, decarbonization.

Науковий керівник:

Єгорова О.Ю.,

канд., техн. наук, доцент

кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ АЛЬТЕРНАТИВИ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ

Сітало Єлизавета

здобувачка вищої освіти спеціальності 144 Теплоенергетика
Національний технічний університет «Харківський політехнічний
інститут»
м. Харків, Україна

Анотація: у роботі розглянуто питання підвищення енергоефективності систем енергозабезпечення навчальних закладів України шляхом використання сучасних альтернативних технологій — теплових насосів і сонячних колекторів

Ключові слова: енергоефективність, теплові насоси, сонячні колектори, альтернативна енергетика, енергоощадність.

Енергетична система України нині функціонує переважно на основі централізованого теплопостачання, виробництва електроенергії на теплових і гідроелектростанціях, а також розгалужених мереж комунальної інфраструктури. Проте розвиток технологій, підвищення вартості енергоносіїв і глобальні кліматичні виклики вимагають переходу до інноваційних, екологічно безпечних та енергоощадних рішень [1, 2]. Особливу увагу слід приділяти підвищенню енергоефективності у навчальних закладах, де стабільність систем опалення та вентиляції безпосередньо впливає на комфорт і здоров'я учнів. Сучасні технічні рішення дозволяють забезпечити надійну роботу систем навіть за умов змінного енергоспоживання чи перебоїв електропостачання.

Традиційні котельні установки, що працюють на викопному паливі, мають низький коефіцієнт корисної дії, потребують значних витрат на експлуатацію та технічне обслуговування, а також спричиняють значні викиди вуглекислого газу, що суперечить принципам сталого розвитку [3]. Використання енергоефективних систем опалення дає змогу зменшити енергоспоживання, скоротити експлуатаційні витрати, покращити мікроклімат у приміщеннях і підвищити рівень автоматизації процесів. При цьому під час вибору системи опалення важливо враховувати площу будівлі, її архітектурні особливості та реальне теплове навантаження [3].

Серед сучасних альтернативних джерел теплопостачання доцільно розглядати теплові насоси та сонячні колектори. Перевага теплових насосів полягає у високій енергоефективності: на 1 кВт спожитої електроенергії вони виробляють 3–4 кВт теплової енергії. Такі установки ефективно працюють у системах із низькотемпературними радіаторами або теплими підлогами та можуть забезпечувати охолодження приміщень у літній період.

Для умов типового навчального закладу доцільно застосувати теплові насоси типу «повітря – вода» від провідних виробників — Danfoss, Viessmann, Mitsubishi Electric. Їхній робочий діапазон температур сягає $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, коефіцієнт перетворення енергії становить 3,5–4,2. Для школи з тепловим навантаженням

200–250 кВт рекомендовано встановити каскад із двох-трьох насосів потужністю по 80–100 кВт. Орієнтовна вартість одного насоса становить 25 000–30 000 €, що забезпечує гнучкість роботи системи, резервування і стабільне теплопостачання навіть у холодний період року.

Сонячні колектори можуть використовуватись як допоміжне або сезонне джерело енергії. Їх ефективність становить 40–70 % залежно від типу та пори року. Для шкільного об'єкта доцільно застосувати моделі Viessmann Vitosol 200-T, Drazice OKC/VK або Atmosfer SolarMaster VTC58/1800. Оптимальна конфігурація — каскад із 20–25 вакуумних колекторів сумарною потужністю 55–60 кВт та площею близько 70 м². Орієнтовна вартість одного колектора — 800–1000 €, при цьому система може працювати паралельно з тепловими насосами або газовим котлом.

Таблиця 1. – Порівняльну оцінку ефективності та доцільності впровадження

Параметр	Традиційні котельні на вихопному паливі	Теплові насоси «повітря – вода»	Сонячні колектори
Технічна ефективність	Стабільне теплопостачання, але низький ККД	Висока ефективність, ККД 3–4	Середня ефективність, 40–70 %, залежно від сезону
Енергозбереження	Низьке	Високе (споживають у 3–4 рази менше електроенергії)	Середнє, залежить від сонячного опромінення
Екологічність	Низька (значні викиди CO ₂)	Висока (екологічно безпечні, низькі викиди CO ₂)	Висока (немає прямих викидів, чисте джерело енергії)
Економічна доцільність	Високі експлуатаційні витрати	Зменшення витрат на енергію та обслуговування	Витрати на обладнання, але мінімальні експлуатаційні витрати
Автоматизація	Низька, потрібен постійний контроль	Висока, потрібен лише періодичний контроль	Мінімальна, працює додатково до основної системи
Гнучкість та резервування	Обмежена	Можливість каскадного підключення насосів для стабільності	Працює паралельно з основним опаленням
Сезонність використання	Працює весь опалювальний сезон	Працює весь опалювальний сезон, також може охолоджувати влітку	Найефективніше у сонячний період, як допоміжне джерело
Вплив на комфорт і здоров'я учнів	Можливі перепади температур, сухе повітря	Стабільна температура, комфортний мікроклімат	Підтримує тепловий баланс, покращує енергонезалежність
Рекомендації для навчальних закладів	Не рекомендується через високі витрати та викиди	Оптимальне рішення для нових та модернізованих будівель	Доцільно як додаткове джерело для економії енергії

Порівняльний аналіз показує, що найефективнішим для навчальних закладів є використання теплового насоса типу «повітря – вода». Така система забезпечує безперервне теплопостачання протягом усього опалювального сезону, характеризується високим коефіцієнтом корисної дії, екологічною безпечністю та економічною доцільністю. Теплові насоси споживають у 3–4 рази менше електроенергії порівняно з традиційними електричними котлами, не потребують природного газу або твердого палива, що усуває ризик вибухів і утворення чадного газу. Високий рівень автоматизації системи дає змогу обмежитися періодичним контролем, що особливо зручно для шкільних будівель. Крім того, впровадження таких технологій сприяє зменшенню викидів вуглекислого газу у 3–5 разів і створює передумови для поєднання з існуючими системами опалення, які можуть виконувати роль резервного або допоміжного джерела тепла [2]. Таким чином, впровадження енергоефективних систем опалення, зокрема теплових насосів та сонячних колекторів, у навчальних закладах України є технічно, економічно й екологічно обґрунтованим рішенням, що відповідає сучасним вимогам енергозбереження та сталого розвитку.

Для навчальних закладів оптимальним є впровадження теплових насосів «повітря – вода» як основного джерела тепла, доповненого сонячними колекторами для підвищення енергоефективності та економії. Традиційні котельні на викопному паливі в сучасних умовах не є ефективним і екологічно безпечним рішенням.

Список використаних джерел:

1. Іваненко І. П., Ковальчук С. О. Енергоефективні технології у системах теплопостачання будівель / І. П. Іваненко, С. О. Ковальчук // Вісник НТУ «ХПІ». – 2020. – №35. – С. 44–50.
2. Ткаченко В. І. Теплові насоси у системах опалення будівель / В. І. Ткаченко // Промислова теплотехніка. – 2019. – №3. – С. 28–33.
3. The Commercia Group. The Ultimate Guide to Energy-Efficient Heating Systems for Schools. 2024. URL: <https://thecommerciagroup.co.uk/>

Abstract. *The article examines the improvement of heating efficiency in educational institutions of Ukraine through the implementation of modern alternative technologies — heat pumps and solar collectors. A comparative analysis of conventional and innovative heating systems was conducted, considering their technical, economic, and environmental characteristics.*

Keywords: *energy efficiency, heat pumps, solar collectors, school heating, renewable energy, energy saving.*

Науковий керівник:

Сгорова О.Ю.,

канд., техн. наук, доцент

кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ ДЕРЕВИНИ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАНИХ І НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Логвиненко Кирил

здобувач вищої освіти спеціальності 144 Теплоенергетика Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
м. Харків, Україна

Анотація: розглянуто сучасні енергоефективні технології сушіння деревини із застосуванням відновлюваних джерел енергії — сонячних колекторів, теплових насосів, гібридних систем.

Ключові слова: сушіння деревини, відновлювані джерела енергії, сонячні сушарки, теплові насоси, енергоефективність, гібридні системи, декарбонізація.

Сушіння деревини — один із найенергоємніших етапів лісопильно-деревобробного циклу: за різними оцінками, на нього припадає істотна частка енергоспоживання галузі, тоді як втрати теплоти на випаровування вологи та через огорожувальні конструкції сушильних камер є ключовими статтями витрат. Зменшення питомої енергоємності можливе завдяки попередньому повітряному підсушуванню, кращій теплоізоляції камер і впровадженню відновлюваних та низьковуглецевих технологій подачі теплоти (сонячні установки, теплові насоси/осушувальні сушарки, біомаса, гібридні системи). Частка прихованої теплоти випаровування у загальному балансі сушильної камери може сягати 20–60 %, тому пріоритетними є схеми з рекуперацією та мінімізацією втрат через огороження [1].

Польові та промислові дослідження показують, що сонячні камери здатні істотно скоротити тривалість попереднього сушіння у порівнянні з атмосферним: з 6–8 місяців до ~2 місяців для пиломатеріалів товщиною 25 мм; за іншими роботами — зниження часу на 33–57 % відносно навісного зберігання. Ефективність сонячного колектора у типовій конструкції досягає близько 38 % [2].

Переведення сушіння на відходи лісопиляння здатне зменшити витрати і підвищити енергетичну незалежність підприємства; можливе паралельне теплопостачання прилеглих будівель (цехів/офісів/соціальних об'єктів) [1].

Заміну викопних палив на сонце/біомасу/ТН супроводжує істотне скорочення викидів CO₂ за рахунок вищого системного коефіцієнта перетворення теплоти і часткового/повного заміщення газу/мазуту. Окремі галузеві дослідження для Швеції оцінюють потенціал економії електро- та теплоспоживання сушіння пиломатеріалів на рівні ТВт·год/рік у масштабі країни за рахунок модернізації сушарок і впровадження найкращих доступних технологій [2].

Сонячні сушарки мають низькі експлуатаційні витрати, але залежать від клімату; теплові насоси мають вищі капітальні вкладення, зате прогнозовану продуктивність упродовж року. Економічна оптимізація часто приводить до гібридних рішень (сонце + ТН або сонце + біомаса), що балансують інвестиції й операційні витрати [3].

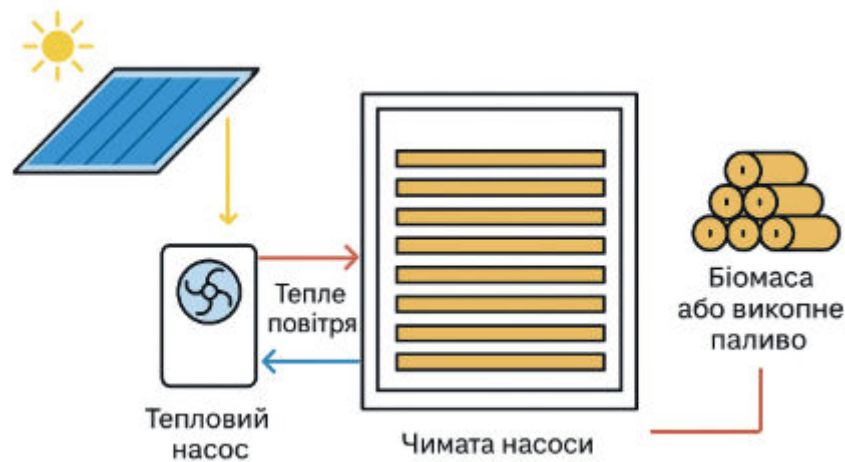


Рис. 1 – Сушіння деревини на основі відновлюваних і низьковуглецевих джерел енергії

Сонячні деревосушарки технічно та економічно доцільні як стадія передсушіння; вони скорочують час процесу у 1,5–3 рази порівняно з атмосферним сушінням, зменшуючи подальші енерговитрати [3].

Теплові насоси та гібридні сушарки забезпечують найнижчі питомі витрати серед керованих камерних рішень (порядку 100–200 кВт·год/м³) завдяки рекуперації теплоти конденсації та гнучким графікам, а нові двокамерні схеми обіцяють додатковий приріст ефективності [4].

Загалом, перехід до використання відновлюваних і низьковуглецевих технологій у сушінні деревини є стратегічно важливим напрямом модернізації деревообробної галузі, що відповідає принципам сталого розвитку, декарбонізації та енергоефективності виробництва.

Дослідження підтверджують, що сонячні сушарки здатні скоротити час попереднього сушіння пило високотемпературних у 1,5–3 рази порівняно з атмосферним сушінням, тоді як теплові насоси та гібридні системи забезпечують найнижчі питомі витрати енергії завдяки рекуперації теплоти та оптимізації графіків роботи. Використання відходів лісопиляння як джерела тепла дозволяє підвищити енергетичну незалежність підприємств та забезпечити додаткове теплопостачання прилеглих об'єктів.

Перехід на відновлювані та низьковуглецеві технології сушіння деревини сприяє значному скороченню викидів CO₂, підвищує загальну енергоефективність виробництва та відповідає принципам сталого розвитку й декарбонізації деревообробної галузі. Таким чином, впровадження сучасних енергоефективних сушильних систем є стратегічно важливим кроком модернізації деревообробних підприємств.

Список використаних джерел

1. USDA FPL. Energy in Kiln Drying. Chapter 11. – Forest Products Laboratory, United States Department of Agriculture. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://fpl.fs.usda.gov>
2. Anderson, Jan-Olof & Westerlund, Lars, 2011. "Surplus biomass through energy efficient kilns," Applied Energy, Elsevier, vol. 88(12), pages 4848-4853. Режим доступу :<https://ideas.repec.org/a/eee/appene/v88y2011i12p4848-4853>
3. Haque N., Langrish T. Performance of an industrial solar kiln for drying timber // *Proceedings of the Sustainability Society of New Zealand*. – 2004. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://thesustainabilitysociety.org.nz>
4. Sattar M. A. Solar drying of timber — a review // *Wood Science and Technology*. – 1993. – Vol. 27. – P. 259–269. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://link.springer.com>

Abstract: *The article examines modern energy-efficient wood-drying technologies using renewable energy sources such as solar collectors, heat pumps, and hybrid systems.*

Keywords: *wood drying, renewable energy sources, solar dryers, heat pumps, energy efficiency, hybrid systems, decarbonization.*

Науковий керівник:

Єгорова О. Ю.

канд., техн. наук, доцент

кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»

ІННОВАЦІЇ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ

Міжнародна науково-практична конференція

Тези доповідей учасників
міжнародної науково-практичної конференції
19–20 листопада 2025 р., м. Миколаїв, Україна

Технічний редактор: В.О. Мартиненко
Комп'ютерна верстка: Р.Є. Чурило

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 7,75.

Тираж 50 прим. Зам. № ____

Надруковано у видавничому відділі

Миколаївського національного аграрного університету

54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.

