

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ



**Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі
природокористування**

Матеріали XII Міжнародної
науково-технічної конференції м. Київ, 20 листопада 2025 р.

**Problems of modern power engineering and automation in the system
nature management**

Proceedings of the XII International
Scientific-Technical Conference Kyiv, 20 of November, 2025

Київ 2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики і енергозбереження

**Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі
природокористування**

Матеріали
XII Міжнародної науково-технічної конференції м. Київ, 20 листопада 2025 р.

**Problems of modern power engineering and automation in the system
nature management**

Proceedings of the
XII International Scientific-Technical
Conference Kyiv, 20 of November, 2025

Київ 2025

УДК 621+536

Голова організаційного комітету

Ткачук В.А., ректор Національного університету біоресурсів і природокористування України;

Співголови організаційного комітету

Тонха О.Л., проректор з наукової роботи та інноваційної діяльності;
Каплун В.В., д.т.н., професор, директор ННІ енергетики, автоматики і енергозбереження;

Члени організаційного комітету

Бабак В.П., директор інституту загальної енергетики НАН України (за згодою);

Жаркін А.Ф., акад. НАН України, директор Інституту електродинаміки НАН України (за згодою);

Юрій Яцкевич, доктор філософії, професор, стипендіат IEEE, Університет Британської Колумбії, Ванкувер, Канада (за згодою);

Кудря С.О., Директор Інституту відновлюваної енергетики НАН України (за згодою)

Садовий Є.А., директор з переробки продукції ТОВ «Астарта-Київ» (за згодою);

Сігал О.І., директор Інституту промислової екології (за згодою);

Куковальський В.О., генеральний директор ТОВ «Енерго-промислова група «Югенергопромтранс» (за згодою).

Шимон Гловацький, доктор філософії, професор кафедри основ техніки та енергетики, Варшавський університет наук про життя – SGGW, Польща (за згодою)

Монастирський З.Я., д.т.н., професор, голова ради директорів ГК «Світлотек» (за згодою)

Заблодський М.М., заступник директора ННІ енергетики, автоматики і енергозбереження з наукової роботи, - співголова організаційного комітету;

Окушко О.В., завідувача кафедри електротехніки, електромеханіки та електротехнологій, - співголова організаційного комітету;

Сорокін Д.С., доцент кафедри електротехніки, електромеханіки та електротехнологій - відповідальний секретар комітету;

Чуєнко Р.М., доцент кафедри електротехніки, електромеханіки та електротехнологій - секретар комітету;

Васюк В.В., доцент кафедри електротехніки, електромеханіки та електротехнологій - секретар комітету;

Сподоба М.О, асистент кафедри електротехніки, електромеханіки та електротехнологій - секретар комітету;

Проблеми сучасної енергетики і автоматиків системі природокористування: Матеріали наук.-техн конф., м. Київ 20 листопада.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1. ТЕОРЕТИЧНА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА		11
1	ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ В ЕЛЕКТРОМЕХАТРОННИХ СИСТЕМАХ <i>Окушко О.В., к.т.н, доцент, Марченко Б.В., магістр</i>	11
2	НАПРЯМКИ ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ <i>Окушко О.В. доц. к.т.н.; магістрант Яценко К.Я.</i>	12
3	РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ПРИВОДУ ЖИВИЛЬНИКА ДРОБАРКИ <i>Ткаченко Д.Д., студент; Васюк В. В. доц. к.т.н</i>	13
4	ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ № 3 НУБІП УКРАЇНИ <i>Радько І. П к.т.н., доцент; Мельник Л. С., магістр</i>	14
5	ОСОБЛИВОСТІ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТУ <i>Окушко О.В. доц. к.д.н.; магістрант Яценко К.Я.</i>	15
6	УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ СТУДЕНТСЬКОГО ГУРТОЖИТКУ ЗАСОБАМИ АВТОМАТИЗАЦІ <i>Мушчеров Г.Б., студент</i>	16
СЕКЦІЯ 2. ПРОЦЕСИ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ ВІДНОВЛЮВАНИХ І НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ		18
1.	OPERATION OF MOBILE CHARGING STATIONS FOR CHARGING ELECTRIC VEHICLES ON THE MOVE <i>Dubovyk Volodymyr, senior lecturer; Gorodetskyi Viktor¹, assoc. prof., PhD; Bosak Alla¹, assoc. prof., PhD, Korzh Ivan¹, student; Bernatskiy Volodymyr, student</i>	18
2.	FEATURES OF THE VEHICLE CONNECTION SCHEDULE FOR DYNAMIC WIRELESS CHARGING OF ELECTRIC VEHICLES <i>Dubovyk Volodymyr, senior lecturer; Kravchenko Tetiana, assoc. prof., PhD; Samchyńska Kateryna, student; Lytvyniuk Maksym¹, student; Havenko Anatolii¹ student</i>	20
3.	OPERATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS UNDER CHANGING OF SOLAR IRRADIANCE <i>Dubovyk Volodymyr, senior lecturer; Polishchuk Valentyna, senior lecturer; Afanasova Anastasiia, student; Dushenok Polina, student; Pachev Artem, student</i>	22
4.	СПОСОБИ ОБРОБКИ СИРОВИНИ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ВМІСТУ ПОЛІСАХАРИДНОЇ СКЛАДОВОЇ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ <i>Галиш В.В. д.т.н., доц., Трус І. М. д.т.н., доц., Яценко О. В. к.т.н., Громнадська М. О. Ph. D., Зубик П.Р.</i>	24
5.	ОЦІНКА ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ВІДНОВЛЕННЯ ПІСЛЯ ВІДМОВ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНУ НАДІЙНІСТЬ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК <i>Рамиш В.Ю. к.т.н., доцент; Потапенко М.В., к.т.н., доцент</i>	25
6.	ОБҐРУНТУВАННЯ АЛГОРИТМУ РОБОТИ СИСТЕМИ АКУМУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ГІБРИДНОЇ ВІТРО-СОНЯЧНОЇ УСТАНОВКИ <i>Сиротюк С. В., к.т.н., доцент; Гальчак В. П., к.т.н., доцент; Коробка С. В., к.т.н., доцент; Станицький Т.О., старший викладач; Болтянський Б. В., к.т.н., доцент; Болтянський О. Б., асистент</i>	27
7.	ОБҐРУНТУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АКУМУЛЯТОРІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ <i>Лисіков О.Ю. аспірант, Червїнський Л.С, професор</i>	29

8.	ПЕРСПЕКТИВИ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО НАНЕСЕННЯ ПОРОШКОВОЇ ФАРБИ	30
	<i>Науменко В.С, аспірант, Червінський Л.С., професор</i>	
9.	АЛГОРИТМИ ОЦІНЮВАННЯ ОБЛАСТЕЙ СТІЙКОСТІ ЗА НАЯВНОСТІ ЧАСТКОВО ФІКСОВАНИХ КРАЙОВИХ УМОВ	31
	<i>Панталієнко Л.А, канд.фіз.-мат.наук, доцент</i>	
10.	ПІДХОДИ ДО РОЗРОБКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ З ОПТИМІЗАЦІЄЮ СХЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ	32
	<i>Людвік В.В., магістр, Червінський Л.С., д.т.н., професор</i>	
11.	СИСТЕМИ АКТИВНО-АДАПТИВНОГО РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ	33
	<i>Циган П.С., Ph.D.; Чайка Д.А., аспірант</i>	
12.	ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ІНВЕРТОРИ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ ЗАЛІЗНИЦЬ	34
	<i>Семененко О.І., к.т.н., доцент; Семененко Ю.О., к.т.н., доцент; Семененко О.Д., асистент</i>	
13.	ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ НЕЙТРАЛІ В ОСТРІВНОМУ РЕЖИМІ РОБОТИ МІКРОМЕРЕЖ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ З ДЖЕРЕЛАМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ	36
	<i>Каплун В. В., д.т.н., професор; Ремез С. М., аспірант</i>	
14.	ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ В ГАЛУЗІ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ В УМОВАХ ВІЙНИ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ	38
	<i>Дмитренко Д.М., аспірант</i>	
15.	АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ УЗГОДЖЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ТА МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ	41
	<i>Забіяка Д.О., аспірант; Петренко А.В., к.т.н, доцент</i>	
16.	ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНЦЕНТАТОРА ВІТРОВОГО ПОТОКУ НА ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВІТРОГЕНЕРАТОРА	43
	<i>Горобець В.Г. , д.т.н., професор; Колісник О.В., аспірант</i>	
17.	ЙМОВІРНІСНИЙ АНАЛІЗ ВІДМОВ У РОБОТІ ЕНЕРГОСИСТЕМ	44
	<i>Пугач В. В., студентка</i>	
18.	ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ПРОЦЕСИ В ЛІТІСВИХ АКУМУЛЯТОРАХ	45
	<i>Лисіков О. Ю., аспірант, Червінський Л. С., д.т.н., професор</i>	
19.	ПОЄДНАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАДАЧ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ТА БАЛАНСУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ	46
	<i>Литвин В.І.</i>	
20.	ОСОБЛИВОСТІ ОСВОЄННЯ ГІДРОЕНЕРГІЇ МАЛИХ ГІРСЬКИХ РІЧОК ДЛЯ	
21.	ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	49
	<i>Бабич М. І., к.т.н., доцент; Боярчук В. М., к.т.н., професор</i>	
22.	ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ МІКРОГРІД У СКЛАДІ “ІНВЕРТОР — АСИНХРОННИЙ ДВИГУН”	51
	<i>Макаревич С.С., к.т.н., доцент, Віхоть Б.М., аспірант</i>	
23.	МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКОРОЗПОДІЛУ ДЛЯ ЕНЕРГООСТРОВА З УРАХУВАННЯМ КРИТИЧНОСТІ СПОЖИВАЧІВ В УМОВАХ ДЕФЦИТУ ПОТУЖНОСТІ	52
	<i>В.В. Войтенко, аспірант</i>	
24.	ДОСЛІДНА УСТАНОВКА ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ ВИСОКОЇ НАПРУЖЕНОСТІ ТА ПІД РІЗНИМ	53

	ОПТИЧНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ <i>Червінський Л.С., Макода О.А.</i>	
25.	ПІДВИЩЕННЯ УРОЖАЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ <i>Червінський Л.С., професор</i>	55
26.	ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА З ВИКОРИСТАННЯМ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ <i>Фемяк В.В., магістр, Червінський Л.С., д.т.н., професор</i>	56
27.	ОПТИМІЗАЦІЯ ГІБРИДНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМ ІЗ АДАПТИВНИМ КЕРУВАННЯМ АКУМУЛЯТОРНИМИ БАТАРЕЯМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ <i>Вихневич Юрій</i>	57
28.	СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА ВИКЛИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ MICROGRID СИСТЕМ <i>Н.М. Білоус І, Д.С. Сорокін</i>	58
29.	ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАМКНЕНИХ ЕКОЛОГО-БІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ В ТВАРИННИЦТВІ <i>Чміль А.І., д.т.н., професор</i>	60
30.	УНІВЕРСАЛЬНІ МОДУЛІ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ <i>Разінков В.О., Ph.D, старший викладач, Коваленко Н.М., викладач вищої категорії</i>	61
31.	АМОРФНІ ОКСИДНІ СТЕКЛА, ЩО МІСТЯТЬ ЄВРОПІЙ (III) ЯК ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ КОНЦЕНТРАТОРИ ДЛЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ <i>Теребленко К.В., д.х.н.доцент; Слободяник М. С., д.х.н., проф; Саєнко Л.Д., студ.; Зозуля В.О., Ph D, м.н.с.</i>	63
32.	ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ ПРИСТРІЙ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК <i>Клендій П.Б., к.т.н., доцент; Подобайло В.Г., к.т.н., доцент</i>	64
33.	СТАТИСТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІННОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ <i>Мейш Ю.А., д.т.н., професор, Гоголя Т.А., студент</i>	65
	СЕКЦІЯ 3. ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ	68
1.	МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА В ЧАСТОТНО- РЕГУЛЬОВАНОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ СИСТЕМ ПОДАВАННЯ ПОВІТРЯ ПРИ СПАЛЮВАННІ ВУГЛЕВОДНЕВОЇ СУМІШІ <i>Генералов Б.М.; Заблудський М.М. д.т.н., професор</i>	68
2.	STRAINS in SiO ₂ , CONCRETES, NANOCOMPOSITES of MULTIWALLED CARBON NANOTUBES and POLYMERS, SCIENTIFIC and TECHNICAL PRINCIPLES of ENSURING the SUSTAINABILITY of LAND RECLAMATION HYDROTECHNICAL STRUCTURES in the CONDITIONS of CLIMATIC and ANTHROPOGENIC CHALLENGES <i>Ilyin P.P., Ph.D., Assistant Professor; Onanko Y. A., Ph.D., Senior Researcher; Kuzmych L.V., Sc.D., Professor; Yatsiuk M.V., Sc.D., Professor; Voropai G.V., Sc.D., Professor; Kuzmych S.A., Postgraduate; Onanko A.P., Ph.D., Senior Researcher; Dmytrenko O.P., Sc.D., Professor; Kulish M.P., Sc.D., Professor, Naumenko A.P., Ph.D., Senior Researcher; Pinchuk-Rugal T.M., Ph.D; Rugal A.G., Engineer; Pavlenko O.L., Sc.D., Professor; Busko T.O., Ph.D.; Popov S.A., Ph.D., Head of laboratory; Gaponov A.M., Ph.D; Kurochka L.I., Head of laboratory</i>	70
3.	ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ І ПРОГ- НОЗУВАННЯ СТАНУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПОТУЖНІСТЮ ДО 20 кВт <i>Окушко О.В., к.т.н, доцент, Кудрук Д.Р., магістр</i>	71

4.	ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ КОНТАКТНИХ ВУЗЛІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПУСКАЧІВ 1 ВЕЛИЧИНИ <i>Коробський В. В., к.т.н., доцент; Васюк В. В., к.т.н., доцент; Костенко А. О., магістр</i>	73
5.	ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПОРОШКОВОГО ФАРБУВАННЯ <i>Науменко В.С., аспірант, Червінський Л.С. д.т.н., професор</i>	75
6.	ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ ПРОМИСЛОВИХ УСТАНОВОК <i>Серба С. Р. асистент</i>	76
7.	ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ МІКРО-КГУ НА БАЗІ ДВИГУНА СТРЛІНГА ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ З НАКОПИЧУВАЧАМИ ЕНЕРГІЇ <i>Нікітін Є.С., аспірант 2 курсу; Павленко В. М., к.т.н., доцент</i>	78
8.	ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОНТАКТНИХ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПУСКАЧІВ <i>Коробський В.В., к.т.н., доцент; Васюк В.В., к.т.н., доцент; Боярчук О.В., магістр</i>	79
9.	ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОВУВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ В НАСОСНИХ АГРЕГАТАХ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ <i>Суржик В.В., аспірант; Заблодський М. М., д.т.н., професор</i>	81
10.	ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПОТУЖНІСТЮ ДО 20 кВт <i>Окушко О.В., к.т.н, доцент, Палевич В.В., магістр</i>	83
11.	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО НАНОГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВІ ПУХО-ПІР'ЯНОЇ СИРОВИНИ <i>Коваль Є.В.; Заблодський М.М. д.т.н., професор</i>	85
12.	РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДЛЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА <i>Васюк В. В., к.т.н, доцент, Бурдик Н.І., магістр</i>	87
13.	ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПУСКАЧІВ З ВИЗНАЧЕННЯМ ПЛАНУ ВИПРОБУВАННЯ ТА НЕОБХІДНОЇ КІЛЬКОСТІ ОДИНИЦЬ <i>Коробський В. В., к.т.н., доцент</i>	88
14.	ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ 10 КВ <i>Коробський В. В., к.т.н., доцент; Скороход О. С., магістр</i>	90
15.	ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГІДРОЛІЗЕРА <i>Сирота А.А.; Заблодський М.М. д.т.н., професор</i>	92
16.	СУЧАСНИЙ БЕЗРЕДУКТОРНИЙ ЛІФТОВИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД БЕЗКОЛЕКТОРНИМ ДВИГУНОМ <i>Бойко А.О., д.т.н., професор; Астапенко І.О.; Брем П.В; Токарчук Д.С.</i>	93
17.	ОБМЕЖЕННЯ НЕСТІЙКИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТИРИСТОРНИХ ЛІФТОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ <i>Бойко А.О., д.т.н., професор; Пахомов О.С.; Соколов Є.О.; Чебан В.В.</i>	95
18.	ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРМЕТАЛІДУ САМІТАЛ У ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ ОБЕРТОВОГО МОМЕНТУ ТЕПЛООВОГО ДВИГУНА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТИПУ З МЕТОЮ ПОДАЛЬШОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ <i>Козирський В.В., д.т.н., професор, директор з дослідження та розвитку компанії «ALOTEK technology»; Бунько В.Я., к.т.н., доцент</i>	97
19.	КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	99

- Потапенко М.В., к.т.н., доцент; Шаршонь В.Л., старший викладач*
 ПІДВИЩЕННЯ УРОЖАЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР НА
 20. ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ 100
Червінський Л.С., д.т.н., професор, Макода О.А., аспірант
 ВПЛИВ ВІДХИЛЕННЯ НАПРУГИ НА ЕЛЕКТРОПРИВОДИ РОБОЧИХ
 21. МАШИН МЕХАНІЧНОЇ МАЙСТЕРНІ 102
*Синявський О.Ю., к.т.н., доцент; Савченко В.В., к.т.н., доцент; Малихін В.С.,
 студент магістратури; Зіненко Р.В., студент*
 АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРИГОТУВАННЯ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ У
 22. ВЕСНЯНІЙ ГІДРОПОННІЙ ТЕПЛИЦІ 103
*Синявський О.Ю., к.т.н., доцент; Савченко В.В., к.т.н., доцент,
 Кіт В.М., студент; Баган В.С., студент*
 АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ ДОЗУВАННЯМ ГРУБИХ КОРМІВ
 23. Синявський О.Ю., к.т.н., доцент; Савченко В.В., к.т.н., доцент; Домбровський 104
К.С., студент; Синишин І.І., студент
 ВПЛИВ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГИ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ
 24. НАСОСІВ 106
*Савченко В.В., к.т.н., доцент; Синявський О. Ю., к.т.н., доцент; Бандурка Р. Т.,
 студент; Гекало М. В., студент*
 СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБЕРТОВОЇ ЧАСТИНИ
 25. ЗАГЛИБНОГО ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ 108
 АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ АНАЕРОБНОЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ
Заблодський М.М. д.т.н., професор; Бабак Д.О.
 КОМПЕНСОВАНИЙ АСИНХРОННИЙ ГЕНЕРАТОР ПІДВИЩЕНОЇ
 26. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ 110
Чуєнко Р.М., к.т.н., доцент; Феньо О.І., студент
 ТЯГОВИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ЛЕГКОВОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ
 27. Войтенко В.А., к.т.н., доцент; Водічев В. А., д.т.н, професор; Калінін О. Г. 111
Національний університет «Одеська політехніка». Одеса, Україна.

СЕКЦІЯ 4. ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА 113

- ANALYSIS OF ASPECTS OF POLLUTION OF ENVIRONMENTAL
 1. COMPONENTS FROM HEAT-AND-ELECTRIC POWER PLANT 113
Pedan A., Kondratenko O., DSc(Engineering), Professor
 АВТОНОМНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ГАЗУ НА БАЗІ
 2. СЕНСОРА ПЕРЕПАДУ ТИСКУ З ДИНАМІЧНОЮ ТЕМПЕРАТУРНОЮ 115
 КОРЕКЦІЄЮ
Заблодський М.М., д.т.н., професор; Ковальчук О.І., аспірант
 МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ІНДУКЦІЙНИХ ПЕЧЕЙ В
 3. УМОВАХ НЕСТАБІЛЬНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ 116
Усенко С. М., к.т.н., доцент; Зозуля В.О. аспірант
 ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМОДИНАМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ
 4. КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК НА БАЗІ ДВЗ 117
Колієнко А.Г., к.т.н., професор; Шеліманова О.В., к.т.н., доцент
 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБЛАДНАННЯ
 ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УМОВАХ РЕГУЛЬОВАНОГО
 СЕРЕДОВИЩА
 5. Станицький Т.О., старший викладач; Сиротюк С. В., к.т.н., доцент; Гальчак В. 119
*П., к.т.н., доцент; Коробка С. В., к.т.н., доцент; Кригуль Р. Є., к.т.н., доцент;
 Дудко І.О., асистент*

	СЕКЦІЯ 5. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ І МЕНЕДЖМЕНТ	122
	ЕТАПИ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ШІ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ УТИЛІЗАЦІЇ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ	
1.	<i>Клименко Максим здоб., Усенко Станіслав асп., Шаповалов Євгеній к.т.н., Носачова Юлія к.т.н., доц., Овчаренко Катерина здоб.</i>	122
2.	ENERGY AUDIT AS A TOOL TO IMPROVE INDUSTRIAL ENERGY EFFICIENCY <i>Tverdokhliebova N., PhD, Associate Professor</i>	123
3.	СУЧАСНІ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ НА ЗЕРНООЧИСНО-СУШИЛЬНИХ КОМПЛЕКСАХ <i>Колодійчук Л. С., к.пед.н., доцент, Нижник Є.І., студентка</i>	125
4.	ОСВІТНЯ КОМПОНЕНТА «ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ» ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ З ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ <i>Постернак І.М., к.т.н., доцент; Постернак О.С.</i>	126
5.	ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ <i>Окушко О. В., к.т.н., доцент; Чередниченко Р.Ю., аспірант</i>	128
	СЕКЦІЯ 6. ІСТОРІЯ ТА ФІЛОСОФІЯ НАУКИ І ТЕХНІКИ. МЕТОДОЛОГІЯ ВИЩОЇ ТЕХНІЧНОЇ ОСВІТИ	130
1.	ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В ТЕПЛИЦІ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ SCHNEIDER ELECTRIC <i>Потапенко Д.В., магістрант, Грищенко В.О., к.т.н., доцент</i>	130
2.	ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПАКУВАЛЬНОЮ МАШИНОЮ <i>Фомін О.А., магістрант, Грищенко В.О., к.т.н., доцент</i>	131
3.	ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ОБСМАЖЕННЯ КАРТОПЛЯНИХ ЧИПСІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ MITSUBISHI ELECTRIC <i>Шинкар В.І., магістрант, Грищенко В.О., к.т.н., доцент</i>	132
4.	ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ БАРАБАННОЇ ЗЕРНОСУШАРКИ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ SCHNEIDER ELECTRIC <i>Юзва Т.Р., магістрант, Грищенко В.О., к.т.н., доцент</i>	133
5.	ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОБЛАДНАННЯ СИНХРОНІЗАЦІЇ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ <i>Коваль В.В., д.т.н., професор; Вакась В.І., к.т.н.; Самков О.В., д.т.н., с.н.с.; Піскун О.М.</i>	134
6.	АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК КРИВИХ БЕЗ'Є ДЛЯ СПРОЩЕНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ НАБОРУ ТОЧОК ЗАМКНУТОГО КОНТУРУ <i>Дудник А. О., к.т.н., доцент; Жук Д.С., аспірант</i>	136
7.	МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ПІДВИЩЕННЯ СТРУКТУРНОЇ СТІЙКОСТІ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ <i>Шворов С. А, д.т.н., професор; Поліщук Р. Ф., аспірант</i>	137

8.	ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ СУШИЛЬНИМ АГРЕГАТОМ У ВИРОБНИЦТВІ ЦЕМЕНТНИХ СУМІШЕЙ	138
	<i>Болбот І.М., д.т.н., професор, Словіковський О.М.</i>	
9.	МЕТОД ОБ'ЄКТНОЇ ДЕТЕКЦІЇ YOLOV8 ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ДОМШОК У СИПУЧИХ МАТЕРІАЛАХ	139
	<i>Правілов М.О., аспірант; Кіктєв М.О., к.т.н., доцент</i>	
10.	АДАПТИВНИЙ ЦИФРОВИЙ ФАЗОВИЙ ДИСКРИМІНАТОР АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СИНТЕЗУ ЧАСТОТ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ SMART GRID	141
	<i>Коваль В.В., д.т.н., професор; Лавінський Д.С.; Самков Б.О.; Нікулін Д.О.</i>	
11.	ІСТОРІЯ НАУКИ ЯК ПСИХОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ФОРМУВАННЯ НАУКОВОГО МИСЛЕННЯ	142
	<i>Літтих М. С., студентка</i>	
12.	ВІДМОВСТІЙКІСТЬ ЗАСОБІВ ЧАСОВО-ЧАСТОТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУЧАСНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ І АВТОМАТИКИ	144
	<i>Коваль В.В., д.т.н., професор; Самков О.В., д.т.н., с.н.с.; Піскун О.М.; Осінський О.Л.; Самков Б.О.</i>	
13.	АВТОМАТИЗОВАНИЙ МОНІТОРИНГ ТА КОНТРОЛЬ ДИНАМІКИ РОСТУ ОГІРКІВ В ШТУЧНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ ПІСЛЯ ЛАЗЕРНОЇ СТИМУЛЯЦІЇ	146
	<i>Мазурчук П.М., аспірант; Кіктєв М.О., к.т.н., доцент; Никифорова Л.Є., д.т.н., професор</i>	
14.	АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ВИСІВУ ТА ГЛИБИНИ ЗАРОБКИ НАСІННЯ ДЛЯ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР	148
	<i>Іванов І. М.; Опрішко О. О., к.т.н., доцент</i>	
15.	ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ НА ПРИКЛАДІ ОЦІНЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ТВАРИН	149
	<i>Градобоев Д.А., аспірант; Кіктєв М.О., к.т.н., доцент</i>	
16.	ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС ПІДВИЩЕНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	151
	<i>Бабенко М.А., аспірант</i>	
17.	МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ІНТЕГРАЦІЇ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БІОГАЗОВИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ У НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС	
	<i>Настенко М.О., студентка магістратури ННІ ЕАЕ</i>	
18.	ОБІГРІВАЧІ ТА ЇХ ПЕРЕВАГИ У СИСТЕМАХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ОПАЛЕННЯ СВИНАРНИКА-ВІДГОДІВЕЛЬНИКА	
	<i>Гайдужевиц С.В.1, старший викладач; Семенова Н.П.2, старший викладач</i>	

СЕКЦІЯ 1. ТЕОРЕТИЧНА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

УДК 681.5:621.313

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ В ЕЛЕКТРОМЕХАТРОННИХ СИСТЕМАХ

Окушко О.В., к.т.н, доцент, Марченко Б.В., магістр

*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ,
Україна*

Розвиток сучасної техніки характеризується інтеграцією електричних, механічних, електронних і програмних компонентів у єдині електромехатронні системи (ЕМС). Такі системи поєднують високоточне керування рухом, адаптацію до змінних умов і взаємодію з інтелектуальними мережами керування. Електромехатроніка стала ключовою технологією у промисловій автоматизації, робототехніці, транспорті, авіації, системах управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА), а також у енергоефективних виробничих процесах.

Зростання вимог до точності, надійності та енергоефективності електромехатронних систем зумовлює необхідність використання інтелектуальних систем керування (ІСК), здатних самонавчатися, прогнозувати відмови та адаптувати алгоритми роботи в реальному часі. Саме тому дослідження та розробка таких систем становлять актуальний науково-практичний напрям.

Електромехатронна система (ЕМС) це електротехнічний комплекс, що включає електромеханічний перетворювач енергії (електродвигун, генератор або актуатор), механічну частину (редуктори, передачі, виконавчі органи), сенсорну систему (датчики положення, струму, температури, тиску, вібрацій тощо), електронну систему керування (контролер, драйвери, плати управління) та програмне забезпечення та алгоритми управління, що забезпечують зворотний зв'язок та адаптацію.

На сучасному етапі розвитку електромехатроніка поєднує принципи автоматичного керування, обробки сигналів, штучного інтелекту, цифрової фільтрації та інтернету речей (IoT). Це дає змогу реалізовувати складні функції самокалібрування, самодіагностики та оптимізації режимів роботи.

У класичних електроприводах та ЕМС управління здійснюється за принципом ПІД-регулювання, коли задається певний закон зміни сигналів, а регулятор мінімізує відхилення між заданими та фактичними параметрами. Такий підхід є ефективним лише для стаціонарних систем із відомими характеристиками.

Однак у реальних умовах механічні навантаження змінюються в часі при цьому існують нелінійності у характеристиках двигунів і сенсорів а також присутні шумові і вібраційні впливи. В той же час, сама система може працювати в умовах часткових відмов або деградації елементів. У цих випадках класичні

регулятори втрачають стабільність і точність, а система потребує адаптивного або інтелектуального керування, що враховує реальні умови роботи.

Інтелектуальна система керування (ІСК) це адаптивна самонавчальна структура, яка здатна аналізувати стан об'єкта керування, прогнозувати зміни параметрів і приймати оптимальні рішення в реальному часі.

Проведено аналіз сучасних підходів до побудови інтелектуальних систем керування електромехатронними системами.

Запропоновано архітектуру ІСК, яка складається з різних модулів – сенсорів, контролера, блоку обробки сигналів, модуля ШІ, виконавчого механізму та зворотного зв'язку, при цьому вона поєднує нечітку логіку та нейромережевий прогнозатор, здатну адаптуватися до змін умов роботи.

На рис. 1 подано структурну схему запропонованої інтелектуальної системи керування електромехатронною установкою.



Рисунок 1 – Структурна схема інтелектуальної системи керування в ЕМС

Подальші дослідження передбачають створення цифрового двійника електромехатронної системи з можливістю самонавчання в реальному часі та інтеграції в хмарні аналітичні сервіси промислового Інтернету речей (IIoT).

Перелік використаних джерел

1. Власюк І.В., Костюк В.С. Електромеханічні системи та їх керування. – Київ: Техніка, 2020. – 356 с.
2. Zadeh L.A. Fuzzy sets and intelligent systems. // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1973. – Vol. 3, No. 1. – pp. 28–44.
3. Bose B.K. Artificial intelligence techniques in smart electric drives. // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2017. – Vol. 64, No. 2. – pp. 897–905.
4. Zhang X., Wang J., Chen G. Hybrid intelligent control of mechatronic systems based on fuzzy-neural approach. // Mechatronics. – 2020. – Vol. 65. – pp. 102–113.
5. ІЕС 61800-5-2:2017. Adjustable speed electrical power drive systems – Safety requirements. – ІЕС, 2017.

НАПРЯМКИ ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Окушко О.В. доц. к.д.н.; магістрант Яценко К.Я.

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

Напрямки застосування лазерного випромінювання. Значна частина різновидів лазерної обробки вже успішно застосовується в промисловості, а

деякі перебувають у стадії дослідження. Висока ступінь концентрації енергії, відсутність необхідно сті ведення процесу у вакуумі (на відміну від електронно-променевої обробки) і внаслідок цього можливість обробки елементів конструкцій будь-яких розмірів, легкість транспортування енергії лазерного випромінювання в просторі і простота автоматизації процесу є безсумнівними перевагами лазерної обробки матеріалів. Використання лазерів в першу чергу передбачається в тих технологічних процесах, які нездійсненні за допомогою інших джерел енергії або їх здійснення пов'язане з великими енергетичними та часовими витратами. Кращим виявляється застосування лазерів при термічній обробці елементів електронних схем, коли оброблювані ділянки поєднуються з ділянками або деталями, що мають низько-температурну стійкість, а також для мікророзмірних і локальних термообробок. У багатьох процесах виявилось можливим поєднувати лазерний вплив з іншими видами енергії, наприклад, з дією плазми електричного розряду, вибухової хвилі, ультразвуку, механічного та хімічного впливу. Необхідно відзначити, що в технічно розвинених країнах світового співтовариства лазерні технології вже увійшли до багатьох галузевих стандартів, що робить принципово неможливим участь у міжнародних коопераціях промислових підприємств, не оснащених лазерним обладнанням.

Перелік джерел посилань

1. Котляров, В.П., & Киященко, О.М. (2017). Особливості використання лазерної технології в умовах сучасного стану промисловості України. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»: міжнародний науково-технічний журнал*, 1(111).94-105.
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/24092>.

УДК 621.313.333

РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ПРИВОДУ ЖИВИЛЬНИКА ДРОБАРКИ

Ткаченко Д.Д., студент; Васюк В. В.²;

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

Сучасна гірничодобувна та переробна промисловість характеризується підвищеними вимогами до енергоефективності, надійності й продуктивності технологічного обладнання. Одним із ключових елементів дробильно-сортувальних комплексів є живильник дробарки, від стабільності роботи якого залежить рівномірність подачі сировини та продуктивність усього процесу подрібнення. У більшості промислових установок у приводах живильників застосовуються асинхронні електродвигуни, які мають просту конструкцію, високий коефіцієнт корисної дії та надійність у роботі.

Метою дослідження є розроблення системи керування асинхронним двигуном приводу живильника дробарки, яка забезпечує оптимальні режими роботи, плавний пуск, регулювання продуктивності та зниження енергоспоживання.

Для досягнення мети проаналізовано існуючі методи керування електроприводами, обґрунтовано вибір частотно-регульованого електроприводу на основі двигуна АВВ МЗВР 132SMA 4 та мікропроцесорного контролера.

Розроблена структурна схема системи включає частотний перетворювач, контролер, датчики струму, напрямку обертання та навантаження, що дозволяє реалізувати замкнене керування швидкістю обертання і моментом двигуна.

У роботі застосовано методи розрахунку, що дозволило дослідити перехідні процеси системи та оцінити її стійкість. Результати показали, що впровадження системи векторного керування дозволяє зменшити пускові струми у 3–4 рази порівняно з прямим пуском, а також забезпечує стабільне регулювання швидкості при змінних навантаженнях. Додатково система передбачає функції діагностики, захисту від перевантажень та можливість інтеграції в загальну систему автоматизованого керування технологічним комплексом.

Практична реалізація запропонованої системи дозволяє знизити енергоспоживання електроприводу живильника на 15–25 %, зменшити простої обладнання та підвищити надійність експлуатації. Отримані результати можуть бути використані для модернізації електроприводів технологічного обладнання гірничої, будівельної та переробної промисловості.

Перелік джерел посилань

1. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Hordiienko D. Control and accounting of parameters of electricity consumption in distribution networks. IEEE, 2021.
2. Luke A. S., Majumdar I., Gupta S. K. Investigation on Space Vector Based Hybrid PWM Algorithm for Induction Motor Control. IEEE, 2020.
3. Tytiuk V., Rozhnenko Z., Baranovska M., Soft Starters of Powerful Electric Motors and Economic Aspects of Their Application. IEEE, 2020.

УДК 620.9:697.1

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ № 3 НУБіП УКРАЇНИ

Радько І. П к.т.н., доцент; Мельник Л. С., магістр

*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м.
Київ, Україна.*

Проблема підвищення енергоефективності будівель освітніх закладів набуває особливої ваги в умовах енергетичної нестабільності, високої вартості енергоресурсів і потреби зниження енергозалежності держави. Навчальні корпуси НУБіП України, зокрема корпус № 3, мають застарілі системи опалення, освітлення й низький рівень автоматизації, що спричиняє значні перевитрати ресурсів [1]. Метою дослідження є підвищення енергоефективності енергоспоживання навчального корпусу № 3 НУБіП України шляхом впровадження комплексу організаційних, технічних і технологічних заходів, спрямованих на раціональне використання енергії та зменшення втрат. Об'єктом дослідження є система енергоспоживання навчального корпусу № 3,

що включає електричні мережі, системи опалення, освітлення, вентиляції та гарячого водопостачання. Предметом — процеси оптимізації використання енергоресурсів, спрямовані на підвищення ефективності роботи інженерних систем будівлі. Для досягнення мети виконано аналіз сучасного стану енергоефективності будівель освітніх закладів, розрахунок електричних навантажень та визначено потенціал енергозбереження. Розроблено концепцію автоматизованої системи комерційного обліку та управління споживанням енергії (АСКОЕ) і запропоновано впровадження системи енергетичного менеджменту (СЕМ) університету [2]. Модернізація освітлення із застосуванням світлодіодних джерел дозволяє скоротити споживання електроенергії на 25–30 %, а використання частотно-регульованих приводів у насосному обладнанні — до 20 % [3]. Впровадження автоматизованого моніторингу енергоспоживання забезпечує контроль у режимі реального часу, підвищує точність обліку та дає змогу оперативно виявляти перевитрати [4]. Економічна оцінка показала, що комплексна реалізація заходів із модернізації систем освітлення, опалення, вентиляції та автоматизації окупається протягом 3–4 років, а щорічне зниження споживання енергії може сягати до 35 %. Практичне впровадження рекомендацій підвищить ефективність використання енергоресурсів і зменшить експлуатаційні витрати університету [5].

Перелік джерел посилань

1. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» від 22.06.2017 № 2118-VIII.
2. Закон України «Про енергетичну ефективність» від 21.10.2021 № 1818-IX.
3. ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель» (зі змінами). — К.: Мінрегіонбуд України, 2013.
4. ДСТУ 9190:2022 «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку». — К.: ДП «УкрНДНЦ», 2022.
5. Радько І. П., Мельник Л. С. Підвищення енергоефективності енергоспоживання навчального корпусу № 3 НУБіП України: магістерська робота. — К.: НУБіП України, 2025. — 126 с.

ОСОБЛИВОСТІ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТУ

Окушко О.В. доц. к.д.н.; магістрант Яценко К.Я.

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

Особливості лазерного випромінювання як інструменту. Лазерний промінь має значно вищу інтенсивність в порівнянні зі звичайним джерелом світла. Через це при попаданні його на матеріал виникають нові умови взаємодії. Іншою особливістю є короткочасність впливу високої щільності потужності для імпульсних лазерів (вимога: в тонкому поверхневому шарі на довжині поглинання повинна виділятися велика частка енергії падаючого випромінювання). Глибина шару, який поглинає випромінювання, становить приблизно 10-5 см, градієнт температури досягає 108 К/см, і швидкість зміни в часі 1010 К/с. До початку основного впливу лазерного випромінювання

(початкова фаза менше 10-7 с) відбиття може змінитися поглинанням. Критична інтенсивність залежить від довжини хвилі лазерного випромінювання, характеристик лазерного пучка і від матеріалу. Відомо, що при інтенсивності вище критичної, дуже добре поглинають практично всі речовини. Поглинання в металах відбувається в шарі товщиною 10^{-6} – 10^{-5} см. Сфокусований лазерний промінь на поверхні виробу можна уявити для металу як двовимірне джерело тепла. Для великого числа діелектриків і напівпровідників лазерне випромінювання не можна розглядати як поверхневе джерело. Видалення матеріалу стає можливим завдяки утворенню парової та рідинної фаз. Падаюча на оброблюваний виріб енергія приводить до локального випаровування металу. Зона випаровування локалізується під вихідною поверхнею виробу на глибині 0,05 – 0,1 мкм. Завдяки цьому частина матеріалу, що розплавився за рахунок теплопровідності, видаляється у вигляді крапельок при вибуховому розширенні в зоні обробки.

Перелік джерел посилань

1. Габ'ян, Л. (2013). Розрахунок напружень в матеріалах під дією лазерних імпульсів. Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання: матеріали VI всеукр. студ. науково-техн. конф., 25-26 квітня 2013 року. – Т.: ТНТУ. – Т. 1. – С. 241. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/9968>.

УДК 313.33:621.318.122

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ СТУДЕНТСЬКОГО ГУРТОЖИТКУ ЗАСОБАМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Мущеров Г.Б., студент групи ЕЕЕ-24005М

*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ,
Україна*

Підвищення ефективності використання електричної енергії в освітніх установах стає дедалі актуальнішим завданням, оскільки витрати на електроенергію формують помітну частку експлуатаційних витрат. У більшості студентських гуртожитків, зокрема у гуртожитку №12 НУБіП України, облік електроенергії залишається застарілим і базується на ручному знятті показників. Це унеможливує оперативний контроль споживання та створює значні похибки.

Запропоноване удосконалення системи ґрунтується на впровадженні електронних лічильників із можливістю дистанційного збору даних через GSM або інтерфейс RS-485. Використання автоматизованої системи дозволяє здійснювати моніторинг параметрів у режимі реального часу, зменшувати втрати в мережах, а також формувати базу даних для подальшого енергетичного аналізу.

Порівняння ручного та автоматизованого обліку свідчить, що впровадження інтелектуальних засобів контролю може знизити небаланси електроенергії до 10–12 %, а також покращити точність вимірювання та

прозорість розрахунків. Автоматизація обліку є важливим елементом створення сучасної системи енергоменеджменту університетського кампусу.

Перелік джерел посилань

1. Кодекс комерційного обліку електричної енергії: НКРЕКП №311 від 14.03.2018.
2. ДСТУ EN 50470-1:2016 Електролічильники змінного струму.

СЕКЦІЯ 2. ПРОЦЕСИ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ ВІДНОВЛЮВАНИХ І НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

UDC 621.311+656.1/.5

OPERATION OF MOBILE CHARGING STATIONS FOR CHARGING ELECTRIC VEHICLES ON THE MOVE

*Dubovyk Volodymyr¹, senior lecturer;
Gorodetskyi Viktor¹, assoc. prof., PhD; Bosak Alla¹, assoc. prof., PhD,
Korzh Ivan¹, student; Bernatskiy Volodymyr¹, student*
*¹Institute of Energy Saving and Energy Management, National Technical University
of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

Mobile charging stations (MCSs) offer a non-intrusive, on-the-move charging solution that addresses the growing electricity demand of EVs while reducing the charging downtime in comparison with traditional fixed charging stations (FCSs). The increasing EV volumes require improving the charging infrastructure to enable faster charging. This work addresses the optimal operation problem of MCSs, by proposing an optimal EV-MCS assignment (EMA) algorithm to allow a fleet of MCSs to serve the charging demands of on-the-move EVs. These solutions aim to enhance the overall service capacity of the EV charging infrastructure by providing heterogeneous means of energy supply to the demanding on-the-move EVs. These include; dynamic wireless charging lanes (WCLs), battery swapping stations (BSSs) and MCSs. [1]. Dynamic WCLs are dedicated lanes that are equipped with charging coils, to transfer power wirelessly to on-the-move EVs while eliminating the need for an idle charging time at traditional static plug-in chargers. In addition, the power transfer efficiency of the wireless charging process between the WCLs

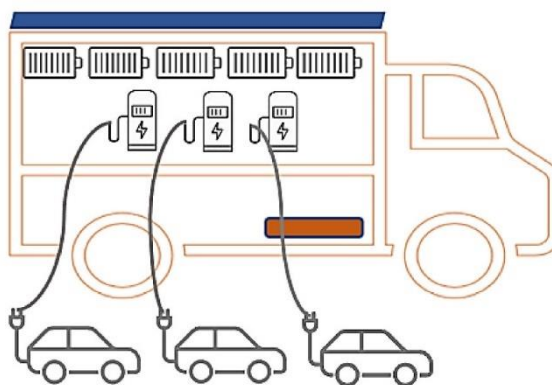


Figure 1. Illustration of the MCS truck with fast DC chargers

and mobile EVs is significantly lower compared to that of wired charging facilities, and imposes restrictions on the EV traveling velocities to ensure sufficient power delivery to the EVs. Initially, each MCS in this area reports its coordinates and available energy levels to the MCSOA to enable the optimal assignment [2]. The MCS are assumed to be identical in all other parameters and are assumed to be equipped with fast DC chargers that can deliver the required energy within 15-40 minutes. This

is demonstrated in Fig. 1. The MCSOA receives all the charging requests from EV users, performs some preprocessing steps and updates the locations and energy availability details of the MCSs. One of the main preprocessing steps is to determine the level of service requested by the EV user.

This analysis helps in providing recommendations on the optimal MCS fleet size to maximize the daily profits along with the percentage of demand covered by the fleet. Firstly, the Nearest Job-Next (NJN) approach, which makes assignment decisions based on the minimum distance, so the MCS is required to serve the closest request to its location, regardless of the output profits gained from the service. Secondly, the earliest deadline-first (EDF) approach selects the EV whose charging process has to be accomplished the earliest, allowing the MCS to assign more EVs at the same time. Third, the first come first serve approach (FCFS) works by selecting EVs according to the order of their charge request times. Finally, the proposed EMA algorithm is also compared with conventional charging method where the MCS is considered as a fixed charging station (FCS) with no mobility, and can only deliver the charging service in its respective fixed location.

This work addresses the temporal distribution of the EV charging demands by accounting for the hourly variations in the volume of incoming EV charging requests from the different regions. Accordingly, to match the hourly resolution of the data, a time-varying electricity price model is adopted to reflect the hourly change in the price of electricity purchased from the grid as well as the hourly change in the charging fees paid by the EVs. Nonetheless, the dynamic state transitions of the EVs and MCSs across the different time intervals are not considered and the model is assumed to perform a complete optimal EV-MCS assignment within each optimization interval t then start a completely new assignment phase in the next interval. An independence assumption is held between the different optimization intervals which needs to be relaxed in future extensions of this work. The effectiveness of the proposed approach is assessed by examining the revenue generated by the system and the percentage of electric vehicles served when executing the algorithm for different operational cases and charging request priorities. Finally, to prove the validity of the presented approach, it is compared with conventional fixed charging stations and other heuristic assignment approaches. This comparison reveals that the proposed algorithm performs well from the standpoint of MCS since it generates higher revenues compared to other approaches, while ensuring sufficient demand coverage and catering to different user service level requirements [3].

References:

1. S. Shafiq, U. B. Irshad, M. Al-Muhaini, S. Z. Djokic, and U. Akram, "Reliability evaluation of composite power systems: Evaluating the impact of full and plug-in hybrid electric vehicles," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 114305–114314, 2020.
2. T. Tsukiji, N. Zhang, Q. Jiang, B. Y. He, and J. Ma, "A multifaceted equity metric system for transportation electrification," *IEEE Open J. Intell. Transp. Syst.*, vol. 4, pp. 690–707, 2023.
3. Z. Zhang, Z. Y. Dong, and C. Yip, "When mobile energy meets active distribution networks: A security–economic coordination perspective," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 15, no. 3, pp. 3126–3140, May 2024.

FEATURES OF THE VEHICLE CONNECTION SCHEDULE FOR DYNAMIC WIRELESS CHARGING OF ELECTRIC VEHICLES

Dubovyk Volodymyr¹, senior lecturer;

Kravchenko Tetiana¹, assoc. prof., PhD; Samchynska Kateryna¹, student;

Lytvyniuk Maksym¹, student; Havenko Anatolii¹, student

¹Institute of Energy Saving and Energy Management, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

This work focuses on the design of a wireless charging system for EVs, considering the deployment of PTs in urban networks. In a smart city, the integration of intelligent transportation systems (ITS) and the SG forms a cohesive system. The SG manages EV charging, while ITS focuses on urban vehicle mobility [1]. Both systems coordinate EVs, combining mobility and charging operations through shared information. Creating a strategic plan for PT deployment based on transportation and EV conditions is critical for deployment [2]. The multi-stage strategy includes evaluation of energy demand and traffic data, followed by optimal PT placement (first stage) and dynamic V2G handover (second stage). EV users can choose between dynamic V2G transmission and normal travel, enabling reliable city planning. PT facilitates travel and payment planning in a multi-layered process. The effective bidirectional connection between EVs and the power grid is key to this schematic's operation. The spine of the SG is its infrastructure, which allows scheduling dynamics to be adjusted in real-time in response to changes in energy demand, the availability of renewable energy sources, and the stability of the power system [3]. Most importantly, communication protocols like MQTT and CoAP are used to set up dependable

data exchange systems that make it easier for EVs and the power grid to integrate and coordinate. This point accentuates the scientific prowess inherent in the orchestration of SG technologies and communication protocols, creating a responsive and adaptable framework that optimally manages the bidirectional energy flow between EVs and the power grid in dynamic wireless charging systems.

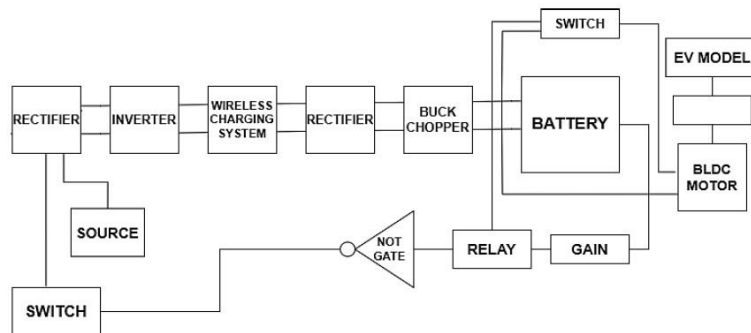


Figure 1. Block diagram of simulation of WPT power charging by Simulink

A Simulink model block diagram illustrating the WPT process is shown in Figure 4. In order to assess the model's performance, it is put through a rigorous investigation and testing process. This results in a detailed visualization of all the various parts that are involved in the wireless power transfer process. The battery percentage dips over time as the power is being used by the brushless DC (BLDC) motor of the EV. The current and voltage stay constant over the same period of time showing the stability factor of this Simulink model [4].

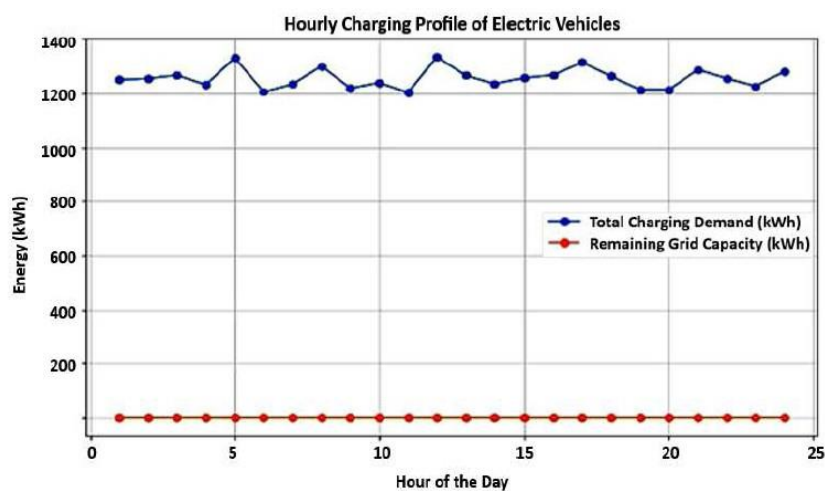


Figure 2. Hourly charging profile of EVs

The visual depiction in Figure 2 demonstrates how the requirement for charging varies throughout the day. Peak times and lulls in EV charging activity were clearly visible thanks to the excellent visualization of the whole hourly charging demand the capacity of the grid or the charging station was exceeded, warnings were produced properly, providing a proactive way to spot any operational issues. Overall, the simulation helps with informed decision-making in the design and optimization of electric car charging systems by capturing the complex dynamics of EV charging and acting as a useful tool for evaluating the reliability and effectiveness of the grid infrastructure [5].

References:

1. J. Dong and Z. Lin, "Stochastic modeling of battery electric vehicle driver behavior," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2454, no. 1, pp. 61–67, Jan. 2014, doi: 10.3141/2454-08.
2. R. O. Duda, P. E. Hart, and D. G. Stork, *Pattern classification*. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2012.
3. C.-M. Tseng and C.-K. Chau, "Personalized prediction of vehicle energy consumption based on participatory sensing," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 18, no. 11, pp. 3103–3113, Nov. 2017, doi: 10.1109/TITS.2017.2672880.
4. S. Beheshtaein, R. Cuzner, M. Savaghebi, and J. M. Guerrero, "Review on microgrids protection," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 13, no. 6, pp. 743–759, Mar. 2019, doi: 10.1049/iet-gtd.2018.5212.
5. S. Zhang and J. J. Q. Yu, "Electric vehicle dynamic wireless charging system: optimal placement and vehicle-to-grid scheduling," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 8, pp. 6047–6057, Apr. 2022, doi: 10.1109/JIOT.2021.3109956.

OPERATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS UNDER CHANGING OF SOLAR IRRADIANCE

Dubovyk Volodymyr¹, senior lecturer;

Polishchuk Valentyna¹, senior lecturer; Afanasova Anastasiia¹, student;

Dushenok Polina¹, student; Pachev Artem¹, student

¹*Institute of Energy Saving and Energy Management, National Technical University
of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

To avoid biased estimation results under solar irradiance variations, we further propose to treat the randomness of solar irradiance as the unknown input of a DSE, which is further analytically merged into the unscented Kalman filter (UKF) framework with an unbiased minimum-variance (UMV) manner [1]. Simulations performed on IEEE standard test systems reveal that even under severe variations of solar irradiation that serve as unknown inputs to the system, the proposed method can produce an unbiased estimate of the dynamic states of the PV. Fig. 1 illustrates the variable relation in the two-stage PV model. i_m , i_{sc} , u_{oc} and u_m are constant parameters, which denotes the maximum power current, short-circuit current, open-circuit voltage and maximum power voltage of the PV module, respectively [2].

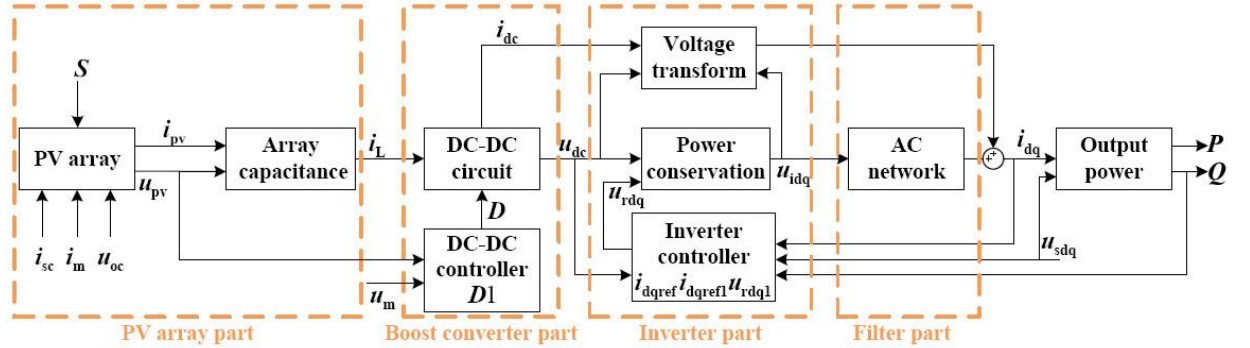


Figure 1. Configuration of the two-stage PV system model
with four modules: PV array, boost converter, inverter, and filter

Inductance current of the boost converter and duty ratio of the switch; i_{dc} and u_{dc} are the output current and output voltage of the boost converter, respectively; $D1$, u_{rd1} , u_{rq1} , i_{dref1} and i_{qref1} are the intermediate states; u_{sd} and u_{sq} are the d-axis and q-axis components of the grid-connected voltage, respectively; i_d , i_q and i_{dref} , i_{qref} are the d-axis and q-axis components of the actual output current and reference current of the PV system, respectively; u_{rd} , u_{rq} and u_{id} , u_{iq} are the d-axis and q-axis components of the modulation wave and inverter output voltage, respectively; U_{tri} is the peak of the carrier wave; q is the actual output reactive power; u_{dcref} and q_{dcref} are the reference voltage of the boost converter and reference reactive power; L_{dc} , C_{dc} , C_{pv} , L_f are circuit parameters; k_p and k_i are the proportional and integral control constants of the controller, respectively; k_{op} and k_{oi} are the proportional and integral control gains of the outer loop controller, respectively; k_{ip} and k_{ii} are the proportional and integral control gains of the inner loop controller, respectively; C_1 and C_2 are coefficients [3], [4].

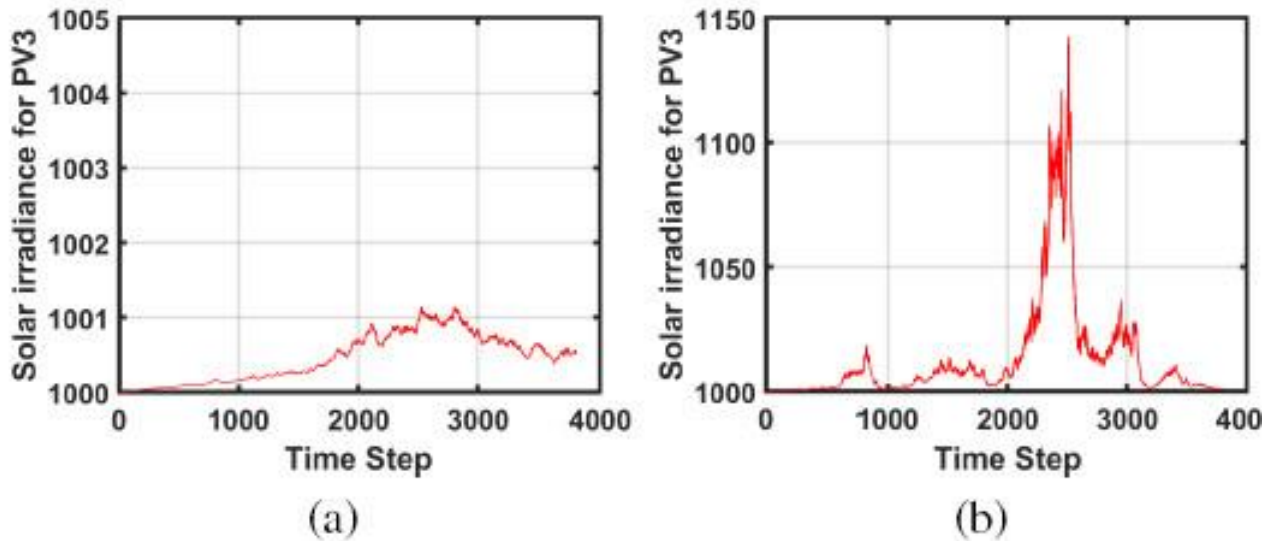


Figure 2. Solar irradiance on PV3: (a) smooth solar irradiance condition; (b) dramatic solar irradiance condition

In order to test the performance of the proposed UKF-UMV method, simulations are carried out on the modified IEEE bus system under different types of solar irradiance conditions shown in Fig. 2. Modify the IEEE bus system by connecting four two-stage PVs. The network data and the PV system parameters are available in [5]. The PVs are all initially under standard test conditions with solar irradiance of $1000 \text{ W}/(\text{m}^2)$, a module temperature of 25°C , and an AM1.5 G spectrum. A disturbance is applied by load shedding at $t = 4\text{s}$. The measurements are given by adding zero-mean Gaussian noise to the true values. In the meantime, the UKF and CKF algorithm is employed to estimate the state variables of PV, in addition to the proposed method, for comparison. The total simulation time is set to 10 s. The computing time increases as the power system scales. The computing time of our method for each iteration, though longer than UKF and CKF, is shorter than the PMU sampling time of $1/60\text{s}$, which is sufficient for our applications here.

References:

1. N. Zhou, Y. Xu, L. Luo, and G. Ma, "A sample covariance model-based method for topology change detection and location of power grids with high-level renewables," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 20, no. 8, pp. 9997–10 007, 2024.
2. M. Rostami and S. Lotfifard, "Distributed dynamic state estimation of power systems," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 14, no. 8, pp. 3395–3404, 2018.
3. R. Yildiz, M. Barut, and E. Zerdali, "A comprehensive comparison of extended and unscented kalman filters for speed-sensorless control applications of induction motors," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 16, no. 10, pp. 6423–6432, 2020.
4. A. Mocaribolhassan, G. Nourbakhsh, G. Ledwich, A. Arefi, and M. Shafiei, "Distribution system state estimation using pv separation strategy in lv feeders with high levels of unmonitored pv generation," *IEEE Systems Journal*, vol. 17, no. 1, pp. 684–695, 2023.
5. M. Gonzalez-Cagigal, J. A. Rosendo-Macias, and A. G´omez-Exposito, "Estimation of equivalent model of photovoltaic array using unscented kalman filters," *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 2023.

СПОСОБИ ОБРОБКИ СИРОВИНИ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ВМІСТУ ПОЛІСАХАРИДНОЇ СКЛАДОВОЇ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ

*Галиш В.В. д.т.н., доц., Трус І. М. д.т.н., доц., Ященко О. В. к.т.н.,
Громнадська М. О. Ph. D., Зубик П.Р.*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

З огляду на зростаючу потребу в поновлюваних джерелах енергії та екологічні проблеми, пов'язані з використанням викопного палива, все більшої уваги набуває виробництво біоетанолу – рідкого біопалива, що може частково або повністю замінити бензин. Особливо перспективним є біоетанол другого покоління, що виробляється з лігноцелюлозної сировини: соломи, тріски, кукурудзяних стебел, лушпиння соняшнику тощо. Однак складна структура такої біомаси вимагає попередньої обробки для збільшення вмісту полісахаридної складової сировини.

Відходи сільського та лісового господарства, завдяки високому вмісту вуглеводів (целюлози та геміцелюлози) є недорогою та доступною сировиною для виробництва біоетанолу «другого покоління».

У традиційному процесі біопереробки сільськогосподарські культури (зерно, цукрова тростина, цукровий буряк тощо) широко використовуються для виробництва біоетанолу «першого покоління». Однак, враховуючи дефіцит продовольчих ресурсів у країнах, що розвиваються, питання щодо використання сільськогосподарських культур як сировини для біопалива є недоцільним [1].

У порівнянні з сільськогосподарськими культурами лігноцелюлозна біомаса не може безпосередньо використовуватися як сировина для виробництва біоетанолу через її міцну структуру та наявність великої кількості лігніну. Отже, для руйнування твердої структури лігноцелюлозної біомаси для покращення її доступності для ферментативного гідролізу слід використовувати різні методи попередньої обробки [2]. Наприклад, вихід моносахаридів для зброджування після ферментативного гідролізу лігноцелюлозних матеріалів без попередньої обробки, становить менше 10 %, що є не вигідним для досягнення промислового виробництва біоетанолу [3]. Тому попередня обробка є важливим кроком для руйнування стійкої структури лігноцелюлозної біомаси для полегшення подальшого ферментативного гідролізу для виробництва моносахаридів. Попередня обробка здійснюється з використанням фізичних, хімічних або біологічних методів, сприяє розчиненню та відділенню одного або кількох основних

компонентів лігноцелюлозної маси та ефективнішого гідролізу речовин ферментами [4].

Попередньою обробкою лігноцелюлозної сировини можна досягти різних ефектів: руйнування або видалення лігніну шляхом зменшення його внутрішнього зв'язку, відділення або видалення геміцелюлози, зниження кристалічності целюлози, збільшення площі поверхні та пористості лігноцелюлози, що може збільшити доступність целюлози до дії ферменту [4]. Для забезпечення економічної ефективності, процес попередньої обробки повинен покращити перетворення моносахаридів на етапі ферментативного гідролізу, зменшуючи деградацію вуглеводів і утворенню інгібіторів гідролізу та бродіння. Фізична, хімічна та фізико-хімічна попередня обробка широко використовується для лігноцелюлозної біомаси; досліджуються механізми, переваги та недоліки попередньої обробки для визначення оптимальних умов отримання біоетанолу з лігноцелюлозної біомаси.

Проведення окисно-органосольвентної обробки стебел вівсяної соломи розчином оцтової кислоти та пероксиду водню у співвідношенні 30:70, тривалістю 60 – 120 хв, забезпечує вихід близько 47 % та збільшення вмісту целюлози в оброблених зразках до 72 % в порівнянні з 36 % вмісту целюлози у необробленій сировині.

Така обробка збільшує доступність целюлози до ферментативного гідролізу.

Перелік джерел посилань

- 1 Kumari D., Singh R. Pretreatment of lignocellulosic wastes for biofuel production: a critical review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – Vol. 90. – P. 877–891.
- 2 Yoo C.G., Meng X., Pu Y., Ragauskas A.J. The critical role of lignin in lignocellulosic biomass conversion and recent pretreatment strategies: A comprehensive review // Bioresource Technology. – 2020. – Article 122784. – DOI: 10.1016/j.biortech.2020.122784.
- 3 Geng W., Venditti R.A., Pawlak J., Chang H.M. Effect of delignification on hemicellulose extraction from switchgrass, poplar, and pine and its effect on enzymatic convertibility of cellulose-rich residues // BioResources. – 2018. – Vol. 13, № 3. – P. 4946–4963.
- 4 Khan M.U., Usman M., Ashraf M.A. та ін. A review of recent advancements in pretreatment techniques of lignocellulosic materials for biogas production: Opportunities and Limitations // Chemical Engineering Journal Advances. – 2022. – Vol. 10. – Article 100263. – DOI: 10.1016/j.ceja.2022.100263.

УДК 621.311.24

ОЦІНКА ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ВІДНОВЛЕННЯ ПІСЛЯ ВІДМОВ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНУ НАДІЙНІСТЬ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

*Раши В.Ю. к.т.н., доцент; Потапенко М.В., к.т.н., доцент
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»,
м. Бережани, Україна.*

Оцінка надійності вітроенергетичних установок (ВЕУ) є важливою умовою для більш точного прогнозування обсягів вироблення електроенергії.

Практика експлуатації показує, що фактична генерація ВЕУ, як правило, є нижчою за розрахункову через відмови її основних вузлів [1]. Відмови вузлів вітроенергетичної установки, як правило, відбуваються під час її експлуатації. Отже, період відновлення буде припадати на період вітряної погоди, сприятливої для вироблення електроенергії ВЕУ. Для визначення збитків від ненадійності обладнання необхідно знати статистичні дані щодо відмов та часу відновлення елементів та ВЕУ в цілому.

Надійність і безперебійність електропостачання значною мірою залежить від безвідмовної роботи безпосередньо джерел електроенергії, тобто від безвідмовної роботи ВЕУ. Тому і виникає необхідність забезпечення заданого рівня надійності роботи вітроенергетичної установки та її елементів. З точки зору критеріїв, що характеризують надійність, ВЕУ відносяться до відновлюваних систем. Це означає, що протягом періоду експлуатації установки допускають ремонт (відновлення).

Згідно з критеріями, що характеризують надійність, ВЕУ належать до відновлюваних систем. Це означає, що впродовж експлуатаційного періоду допускаються ремонти або заміни несправних компонентів. Процеси як відмов, так і відновлення мають ймовірнісний характер [2]. У випадку відновлення випадковою величиною виступає час усунення несправності, а ймовірністю відновлення вважається ймовірність того, що працездатність установки буде відновлена протягом заданого інтервалу часу.

Елементи ВЕУ, що вийшли з ладу, можуть бути або відремонтовані з відновленням початкових технічних характеристик, або замінені на ідентичні. Оскільки ці процеси потребують часу, відновлення працездатності розглядається як процес із кінцевою тривалістю. У цьому контексті ймовірність того, що безперервність електропостачання не буде порушена через відмову, може бути розрахована за формулою [3]:

$$P_B(t) = P_0P(t) + (1 - P_0)S(\tau)P(t - \tau), \quad (1)$$

де P_0 – ймовірність справного стану ВЕУ у початковий момент; $P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи ВЕУ за заданий час t ; $S(\tau)$ – ймовірність відновлення і перевірки установки до момент $\tau < t$; $P(t - \tau)$ – ймовірність безвідмовної роботи установки за час, що залишився ($t - \tau$).

Оперативне усунення відмов є одним із ключових факторів підвищення надійності електропостачання. Відновлювальні заходи входять до складу технічного обслуговування і залежать від: ремонтпридатності елементів ВЕУ, чисельності та кваліфікації обслуговуючого персоналу, наявності вимірювального та діагностичного обладнання, організації процесу технічного обслуговування та ін. У таких умовах особливе значення має визначення оптимального періоду планового контролю та проЛисведення регламентного технічного обслуговування саме в ці періоди. Це дозволяє зменшити ймовірність відмов у критичні моменти та забезпечити безперервність енергопостачання.

Перелік джерел посилань

1. Manwell J. F., McGowan J., Rogers A. Wind energy explained: Theory, design, and application. 2nd ed. Hoboken, NJ : John Wiley, 2009. 689 p.

2. Васілевський О. М., Ігнатенко О. Г. Нормування показників надійності технічних засобів: навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2013. 160 с.
3. Рамш В.Ю., Потапенко М.В., Дарморіс П.М. Шаршонь В.Л. Оцінка експлуатаційної надійності вітроенергетичних установок. *Енергетика і автоматика*. 2024. №2. С.128-135. URL: <https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/uk/article/view/energiya2%2872%29.2024.128>

УДК 621.352:621.311.243+621.548

ОБҐРУНТУВАННЯ АЛГОРИТМУ РОБОТИ СИСТЕМИ АКУМУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ГІБРИДНОЇ ВІТРО-СОНЯЧНОЇ УСТАНОВКИ

*Сиротюк С. В.¹, к.т.н., доцент; Гальчак В. П.¹, к.т.н., доцент;
Коробка С. В.¹, к.т.н., доцент; Станицький Т.О.¹, старший викладач;
Болтянський Б. В.², к.т.н., доцент; Болтянський О. Б.², асистент*

*¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та
біотехнологій імені С.З. Гжицького, м. Львів, Україна.*

*²Таврійський державний агротехнологічний університет імені Д. Моторного,
м. Запоріжжя, Україна.*

Гібридні електрогенераторні установки, які реалізуються із використанням обладнання відновлюваної енергетики набувають все більшої популярності. Серед таких установок можна виділити фотоелектричні, вітроелектричні, а також вітро-сонячні електрогенераторні установки. В основі їх гібридизації є спільна робота обладнання відновлюваної енергетики, системи акумулювання електроенергії та зовнішньої електромережі.

Ключовим структурним компонентом таких гібридних енергоустановок є акумулятор електроенергії. Застосування акумулятора електроенергії дозволяє реалізувати низку завдань, серед яких: накопичення необхідного обсягу електроенергії для використання у період відсутності електрогенерації з боку вітро-сонячної установки; зміщення часового режиму споживання електроенергії споживачем відповідно до зонних періодів вартості електроенергії; створення оптимальних умов навантаження електрогенерувальних засобів для підвищення рівня їх ефективності; створення необхідного рівня запасу електроенергії для подолання короткочасних та тривалих періодів відсутності електроенергії у зовнішній електромережі тощо.

Спільна робота вітро-сонячних електрогенераторних установок може бути побудована на різних структурних варіантах: з спільним використанням DC силового кола, з розділеними DC силовими колами, а також з спільним AC силовим колом. Відповідно до вибраної структурної схеми змінюється алгоритміка та апаратна частина системи керування енергетичними потоками. Зокрема, для першого варіанта характерна розробка гібридних контролерів, які формують необхідний рівень напруги DC, який визначається напругою системи акумулювання електроенергії. У другому випадку застосовуються окремі контролери для сонячної та вітрової установки, які працюватимуть на спільний

акумулятор. В третьому випадку кожна із систем працює за власним алгоритмом керування з відповідною перетворювальною апаратурою, і їх об'єднання відбувається на етапі видачі змінного струму споживачу.

В будь-якому варіанті, реалізована система байпасного живлення споживачів від зовнішньої електромережі, система заряду акумуляторів від зовнішньої електромережі, всі рівні захисту акумуляторів від надлишкового розряду та перезаряду, обмеження струму зарядки акумулятора тощо. Причому значна частина перелічених функцій можуть бути реалізовані жорстко лише на апаратному рівні, або на апаратно-програмному рівні із використанням користувацького меню інвертора.

Хорошим прикладом реалізації апаратно-програмного керування режимами заряд-розрядного циклу акумулятора є меню "Time of Use" гібридного інвертора марки SUN-6K-SG03LP1-EU китайського виробника Ningbo Deye Inverter Technology Co., Ltd [1], в якому можна налаштувати часові терміни та рівень розряду акумулятора, за умови пріоритетної електрогенерації від фотоелектричних панелей.

Однак, ця функція має одну певну незручність, яка полягає у необхідності постійного внесення коригувань налаштування відповідно до поточної погодної ситуації. Це можна здійснити в користувацькому меню на інверторі, або ж дистанційно у відповідному мобільному додатку та лаптопній версії програми моніторингу. Нехтування ж регулярними змінами налаштувань призводить до технологічних втрат потенційного виробництва електроенергії тощо.

Уникнути необхідності регулярного виконання ручного налаштування системи можна за рахунок удосконалення алгоритму роботи системи керування інвертором, який для цього слід додатково обладнати зовнішніми давачами метеорологічної ситуації (давачами температури, тиску та вологості). За рахунок використання вказаних давачів буде можливо формувати короткотерміновий метеорологічний прогноз, який, наприклад, може бути реалізований з інструментарієм Fuzzy Logic. Одним із варіантів може бути отримання необхідної метеорологічної інформації на кліматичних інтернет-ресурсах.

Завдяки очікуваній метеорологічній ситуації буде можливо у автоматичному режимі формувати коригування як часових термінів, так і рівня розрядженості акумуляторної батареї. Це також вплине на формування зарядних струмів відповідних часових періодів роботи електрогенерувального обладнання, що дозволить підвищити рівень ефективності їх роботи.

Крім того, доцільним є доукомплектування апаратної частини релейними виходами, на кшталт релейного блоку WATTrouter ECO [2]. Це дозволить утилізувати надлишково вироблену електроенергію без необхідності знищення вихідної потужності інвертора. Керування релейними виходами може бути реалізоване на базі жорсткої апаратної логіки за даними давача рівня заряду акумулятора, або ж за допомогою програмної логіки, в тому числі й з інструментарієм Fuzzy Logic.

1. Гібридний інвертор SUN-6K-SG03LP1-EU. Посібник користувача. Київ : ТОВ "Дея Україна". 55 с.
2. WATTrouter ECO - user manual. https://solarcontrols.cz/archives/eshop/WATTrouter-ECO_EN.pdf.

УДК 621.355

ОБГРУНТУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АКУМУЛЯТОРІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Лисіков О.Ю. аспірант, Червінський Л.С, професор

*Національний університет біоресурсів і природокористування України
м. Київ, Україна*

Розвиток електричних транспортних засобів обумовлює потребу в моделях, що достатньо точно відображають характер процесів, які виникають в акумуляторних батареях (АКБ) при роботі електропривода, оскільки саме АКБ є основним джерелом енергії в автономному наземному електротранспорті [1]. Моделювання АКБ є складною задачею через електрохімічну природу процесів, що протікають всередині них. На характер цих процесів впливає низка факторів, такі як: температура, значення і напрямок струму, відпрацьований ресурс тощо. Врахування всіх можливих факторів сильно збільшує необхідну обчислювальну потужність керуючого пристрою [2]. Однією з головних характеристик АКБ є його ефективна ємність QEN. Фактично, вона визначає максимальну доступну кількість енергії, яку АКБ може віддати без суттєвої деградації (перерозряду).

З фізичної точки зору, ефективна ємність відповідає заряду, збереженому в АКБ за визначених зовнішніх умов (наприклад, температура, вік, кількість циклів перезаряду і т.п.). Для ефективного використання ресурсів АКБ необхідно, окрім визначення ефективної ємності, відслідковувати в реальному часі зміну доступного заряду.

Для цього вводиться поняття стану заряду (State of Charge, SOC), що вимірюється у відсотках від ефективної ємності. Адекватне відображення динамічної поведінки змінних АКБ, зокрема SOC, в різних режимах роботи є на сьогодні дуже важливою задачею електротехніки та електрохімії. Причому найбільш гострим є компроміс між точністю опису процесів і складністю обчислень.

В найпростішому випадку процес описується залежністю $u(i, q) = E0 - R0 \cdot i - K \cdot F2(i, q) + A \cdot F3(q)$, де $E0$ – напруга холостого ходу батареї; $R0$ – значення внутрішнього опору; i – струм розрядження; q – ємність батареї; $K, A, F2, F3$ – емпіричні коефіцієнти, що описують реальні характеристики акумулятора.

Метою даної роботи є обґрунтування вибору моделі АКБ для використання автономних в електричних транспортних засобах.

Перелік джерел посилань

1. Lin, C.-H. A Li-Ion Battery Charger With Smooth Control Circuit and Built-In Resistance Compensator for Achieving Stable and Fast Charging [Text] / C.-H. Lin, C.-Y. Hsieh, K.-H. Chen // IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers. — 2010. — Vol. 57, № 2. — P. 506–517. doi:10.1109/tcsi.2009.2023830
2. Chen, J.-J. A High-Efficiency Multimode Li-Ion Battery Charger With Variable Current Source and Controlling Previous- Stage Supply Voltage [Text] / J.-J. Chen, F.-C. Yang, C.-C. Lai, Y.-S. Hwang, R.-G. Lee // IEEE Transactions on Industrial Electronics. — 2009. — Vol. 56, № 7. — P. 2469–2478. doi:10.1109/tie.2009.2018435

УДК 621.33

ПЕРСПЕКТИВИ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО НАНЕСЕННЯ ПОРОШКОВОЇ ФАРБИ

*Науменко В.С, аспірант, Червінський Л.С., професор
Національний університет біоресурсів і природокористування,
м. Київ, Україна*

На сьогодні у масштабному виробництві порошкова фарба наноситься методом електростатичного напилення. Процес напилення відбувається таким чином: порошок в пістолеті-розпилювачі стає електрично зарядженим, а об'єкт на який наноситься заземлюється. Електростатична сила зв'язку достатня, щоб заряджений порошок утримувати в сухому стані на поверхні виробу до процесу полімеризації. Зарядження порошкової фарби відбувається одним зі способів: Звичайна (коронна) електростатична зарядка відбувається через проходження фарби через електростатичне поле високої напруги. Фрикційна (трибо) зарядка відбувається в процесі тертя частинок фарби по діелектрику. *Звичайна (коронна) електростатична зарядка*

На випускному отворі у розпилювача сконцентроване висока напруга 40-100 кВ. Воно викликає іонізацію повітря, який проходить через сопло. Фарба проходить через іонізований повітря отримуючи негативний заряд. Сукупність заряджених частинок порошку і вільних іонів називається просторовим зарядом. *Фрикційна (трибо) зарядка*

При швидкому терті частинок фарби по діелектричному матеріалі уздовж сопла розпилювача відбувається зарядка. При цьому на виході отримуємо позитивно заряджені частинки фарби та частина незаряджених частинок (їх потім використовуємо повторно). Одним з найкращих акцепторів в трибоелектричних рядів є політетрафторетилен (тефлон).

Коронна зарядка має більше переваг перед фрикційною: високий рівень заряду фарби; низька чутливість до вологості повітря; більш надійне і продуктивне обладнання. Але коронна зарядка має також недоліки: утруднення нанесення фарби в закутках і в глибоких виїмках у виробах.

Піч полімеризації призначена для формування покриттів з порошкових полімерних фарб шляхом нагрівання фарбованих виробів, з нанесеним порошком, до температури полімеризації і витримки при цій температурі.

Електростатичне фарбування є технологією, яка має великий потенціал щодо покращення та інновацій. Наведемо кілька *перспективних напрямків*, які можуть підвищити ефективність, естетику та екологічність цього процесу:

Удосконалення технологічного обладнання

- Системи розпилення: Розробка нових, більш ефективних сопел і пістолетів, які забезпечують рівномірніший розподіл порошку і зменшують втрати матеріалів.

- Адаптивні системи контролю: Впровадження електротехнологій, які дозволяють автоматично налаштовувати параметри розпилення в залежності від форми та розміру деталі.

УДК 621.313.8: 631.53.027

АЛГОРИТМИ ОЦІНЮВАННЯ ОБЛАСТЕЙ СТІЙКОСТІ ЗА НАЯВНОСТІ ЧАСТКОВО ФІКСОВАНИХ КРАЙОВИХ УМОВ

Панталієнко Л.А, канд.фіз.-мат.наук, доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

У ряді прикладних задач керування часто виникає необхідність дослідити на стійкість систему при фіксованих координатах у певні моменти часу [1,2]. Так, для розрахунку областей захоплення частинок у процес прискорення за радіальними координатами у несиметричних випадках зазвичай приймають у початковий момент проекції швидкостей на осі Ox , Oy нульовими. Важливим моментом тут є не тільки вийти на оптимальний режим функціонування системи, але і з'ясувати питання її стійкості при додаткових крайових умовах.

Нехай рух об'єкта описується системою диференціальних рівнянь

$$\frac{dx}{dt} = f(x, t, \alpha), \quad f(0, t, 0) \equiv 0, \quad t \in [t_0, T] \quad (1)$$

за наявності додаткових умов

$$Qx(t, \alpha) = q, \quad (2)$$

де Q – деякий оператор, що визначає початкові умови для системи (1); q – n – вимірний сталий вектор.

Припустимо, що система (1) з додатковими умовами (2) вигляду

$$Q_0 x(t_0, \alpha) + Q_T x(T, \alpha) = q$$

має єдиний розв'язок для будь-яких $\alpha \in G_\alpha$.

Тоді для випадку лінійних систем

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x + G(t)\alpha + f(t), \quad t \in [t_0, T]$$

можна чисельно оцінити множину додаткових умов $G_q = \{q : q * Bq < c^2\}$, якщо $G_0^\alpha = \{\alpha : \alpha * B_\alpha \alpha \leq c_\alpha^2\}$, а фазові обмеження $\Phi_t, t \in [t_0, T]$ – заданого типу [2].

Такі постановки стосуються задач оцінки області захоплення частинок у процес прискорення за наявності деяких фіксованих радіальних координат, якщо відомо, що частинки мають невеликий розкид за радіальними швидкостями.

Перелік джерел посилань

1. Луцька Н.М., Ладанюк А.П. Оптимальні та робастні системи керування технологічними об'єктами/ Н.М. Луцька, А.П.: Ладанюк. – К.: Ліра, 2015. – 288с.
2. Панталієнко Л.А. Оцінювання області допустимих параметрів за наявності варіації показника якості /Л.А. Панталієнко // Енергетика і автоматика. – 2023. – №1.– С. 183–191.

УДК 628.9

ПІДХОДИ ДО РОЗРОБКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ З ОПТИМІЗАЦІЄЮ СХЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

*Людвік В.В., магістр, Червінський Л.С., д.т.н., професор
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

Важливим аспектом підвищення енергоефективності систем освітлення є автоматизація методів розрахунку та їх вдосконалення. Один із шляхів вирішення цього актуального питання – є використання оптимізованих методів проектування систем освітлення. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: провести аналіз методів проектування освітлювальних установок; провести аналіз норм освітлення виробничих та промислових об'єктів; провести оптимізацію проектування сучасних систем освітлення промислових об'єктів; розробити методику вибору оптимального світлорозподілу світлових приладів; провести розробку програмного забезпечення для світлотехнічного розрахунку освітлювальної установки. В останні роки в програмах автоматизованого проектування ОУ проходять революційні зміни, пов'язані з проникненням алгоритмів і методів комп'ютерної графіки, дозволяючи відтворювати на екрані дисплея ЕОМ зображення освітлюваних об'єктів з фотографічною точністю. Це дозволяє оцінювати освітлення не тільки відповідно до норм, а й естетично, що для не виробничих приміщень є найважливішою вимогою. На сьогодні немає проблем, використовуючи креслення будівлі, підготовлені архітектором, розташувати світильники з заданими кривими розподілу сили світла, задати фотометричні характеристики всіх оптично активних поверхонь, і в результаті роботи програми отримати не тільки розподіл освітленості по робочих поверхонь, але і справжній фільм про висвітлення інтер'єру будівлі. Такий підхід дозволяє побачити і оцінити вплив окремих елементів інтер'єру на якість освітлення приміщення. При комп'ютерному світлотехнічному проектуванні, необхідно використовувати методи основні на адаптації та створення 3М освітлюваних об'єктів, дозволяють значно скоротити час розробки світлотехнічного проекту. Методи по сполученню світлотехнічних програм між собою і з конструкторськими САД додатками (AutoCAD, SolidWorks, 3D studio Max),

створюють сприятливі умови з проведення якісного світлотехнічного проектування з нуля.

Перелік джерел посилань

1. Liisa Halonen and Eino Tetri. Energy savings through energy efficient lighting // Light & engineering – 2009 – N 4 – pp. 5-12.
2. Peter Dehoff. Lighting quality and energy efficiency is not a contradiction // Light & engineering – 2012 - № 3 - P. 34-39

УДК 313.33:621.318.122

СИСТЕМИ АКТИВНО-АДАПТИВНОГО РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ

Циган П.С.¹, Ph.D.; Чайка Д.А.¹, аспірант

*¹Національний технічний університет “Дніпровська політехніка”,
м. Дніпро, Україна.*

Умови появи у необхідності систем релейного захисту з автоматичною зміною уставок раніше диктувалось наявністю мереж з двостороннім живленням та зміною пропускної здатності електроенергетичної системи в наслідок зміни конфігурації схеми системи електропостачання. В умовах сьогодення, коли в наслідок військових дій знищуються об'єкти електроенергетичного комплексу та радикально змінюються конфігурація електричних мереж з'являється необхідність у автоматичному підрахунку та встановленню уставок релейного захисту, які відповідають умовам чутливості до аварійних режимів відносно пускових та номінальних режимів роботи електрообладнання[1]. Наявність альтернативних джерел живлення ускладнює роботу систем релейного захисту через непередбачуваний характер перехідних процесів та протікання аварійного режиму, складність полягає у оцінці перебігу подій пов'язаних з перехідними процесами швидкого характеру та втратою стійкості ділянки електричної мережі або електроенергетичної системи в наслідок складних та простих видів аварій. За наявності систем накопичення та балансування електричної енергії акумуляторного типу втрачається сенс роботи певних видів протиаварійної автоматики таких як, автоматика частотного розвантаження, де при втраті синхронізму або опірної напруги джерело балансує потужності (акумуляторні накопичувачі) виходять у захист з високою швидкістю залишаючи значну кількість струмоприймачів на лінії з низькою пропускною здатністю або на джерела обмеженої потужності без додаткової підтримки. Характер таких аварій буде супроводжуватись швидким та глибоким провалом напруги та частоти, де старі системи протиаварійної автоматики розвантаження не встигатимуть реагувати на зміну параметрів. Тож єдиним доступним способом є оцінка у реальному часі кількості джерел енергії, їх миттєвої потужності та аналіз симетричних складових, які є основою для визначення початкових етапів аварійних режимів систем децентралізованої генерації з малою пропускною здатністю та обмеженою потужністю. Використання програмно-апаратних комплексів, які дозволяють в залежності від динаміки зміни параметрів у

режимах навантаження вираховувати приблизний запас потужності та пропускну здатність за співвідношеннями струмів навантаження та відхилень напруги дозволить у режимі реального часу визначати актуальні можливі струми коротких замикань та реагувати на появу можливого аварійного режиму, з використанням плаваючих уставок релейного захисту в залежності від стану головного джерела електричної енергії (дизельного, бензинового, газотурбінного, газопоршневого) генератора є можливість актуальної оцінки можливого аварійного режиму, від якого і є можливість налаштувати плаваючі уставки пристроїв захисту. Така оцінка дозволить знизити очікування у режимі обмеженої пропускну здатності та потужності джерела, тим самим, створивши запас чутливості захисту невраховуючі участь у створенні аварійного режиму систем накопичення електричної енергії та їх напівпровідникових перетворювачів, які в початковий момент часу можуть підживлювати точку короткого замикання після чого виходять у режим захисту по відсутності опірної напруги[2]. Даний опис систем активно-адаптивного релейного захисту стосується об'єктів, які працюють у режимі енергетичного острову, де в основі систем генерації та розподілу є генеруюча потужність у вигляді синхронної машини, а системи накопичення працюють у мережевому режимі або у режимі підмішування електричної енергії з метою перекриття піків електричних навантажень або пускових режимів.

Перелік джерел посилань

1. Adrián Barranco-Carlos, Cesar Orozco, Juan Guillermo Marín, Andres Ricardo Herrera-Orozco. Adaptive Protection for Active Distribution Networks: An Approach Based on Fuses and Relays with Multiple Setting Groups // IEEE Access. 2023. № PP(99). DOI:10.1109/ACCESS.2023.3261827
2. Islam Khandoker, Dowon Kim, Ahmed Abu-Siada. A review on adaptive power system protection schemes for future smart and micro grids, challenges and opportunities // Electric Power Systems Research. 2024. DOI:10.1016/j.epsr.2024.110241

УДК 621.314

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ІНВЕРТОРИ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ ЗАЛІЗНИЦЬ

*Семененко О.І.¹, к.т.н., доцент; Семененко Ю.О.¹, к.т.н., доцент;
Семененко О.Д.², асистент*

*¹Український державний університет залізничного транспорту,
м. Харків, Україна*

*²Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний
інститут», м. Харків, Україна*

В традиційних системах живлення споживачів власних потреб тягових підстанцій залізниць і пристроїв СЦБ використовують трифазну змінну напругу

від трансформаторів потужністю до 400 кВА. Для забезпечення гарантованого живлення указаних засобів при відключеннях напруги зовнішньої мережі застосовують потужні дизель-генераторні установки, які потребують якісного дизельного палива. З метою економії енергоресурсів для системи гарантованого живлення власних потреб підстанції пропонується застосувати малопотужну сонячну електростанцію, що може слугувати як доповненням до традиційної, так і основним джерелом електроенергії.

До складу такої системи живлення, яка представлена на рис. 1, входить комплект сонячних панелей СП та перетворювальне обладнання. Для підтримання стабільної напруги в ланці постійного струму застосовано широтно-імпульсний перетворювач DC/DC та акумуляторна батарея, що виконує роль проміжного накопичувача енергії ПН. В ланці змінного струму крім вихідного трансформатора ВТ пропонується застосувати трифазний інвертор напруги DC/AC з м'якою комутацією силових приладів ключів.

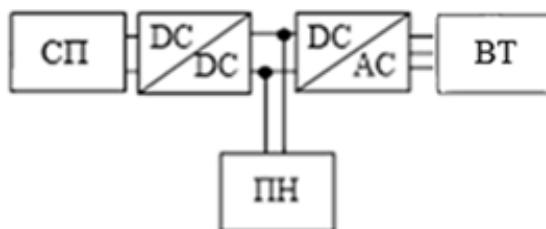


Рисунок 1. Структура сонячної електростанції гарантованого живлення пристроїв СЦБ та власних потреб тягових підстанцій

Якісне формування вихідної синусоїдальної напруги частотою 50 Гц, що подається до вихідного трансформатора, забезпечується застосуванням підвищеної частоти синусоїдальної ШІМ. Основним режимом комутації силових приладів ключів трифазних інверторів напруги енергетичної електроніки є жорстке перемикання (*Hard-Switching*), що характеризується високим рівнем комутаційних втрат енергії при підвищених частотах перетворення. Зниження рівня комутаційних втрат може досягатися завдяки застосуванню у силових приладах ключів інвертора режимів м'якої комутації (*Soft-Switching*), до яких належать перемикання за нульової напруги (*ZVS*) або за нульового струму (*ZCS*) та ін. [1-2]. На рис. 2 представлена схема фазного напівмосту трифазного мостового інвертора напруги з вузлом м'якої комутації на *IGBT* (схема на *VT1к* та *VT2к*).

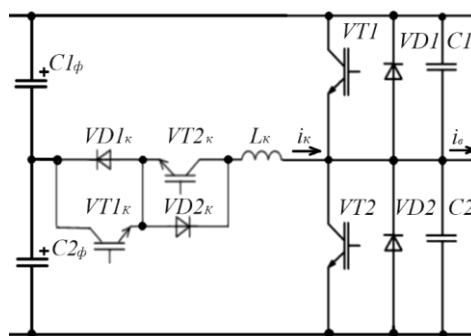


Рисунок 2. Схема фазного напівмосту трифазного інвертора напруги з вузлом м'якої комутації

У трифазному мостовому інверторі напруги ефективно може бути реалізована лише двополярна синусоїдальна ШІМ, при якій верхній та нижній ключі фазних напівмостів по чергово перемикаються. Для реалізації м'якої комутації потрібно дещо змінити алгоритм керування ключами, бо потрібно передбачити після вимикання, наприклад, $VT1$ верхнього ключа короткочасну паузу для підготовки до увімкнення $VT2$ наступного ключа напівмосту за нульової напруги на ньому (ZVS). Цю функцію виконує вузол м'якої комутації, який забезпечує розряд снаберного конденсатора чергового ключа перед увімкненням його силового транзистора.

Силові прилади ключів перетворювача та первинна обмотка вихідного трансформатора за рахунок застосування м'якої комутації захищені від дії швидкого зростання напруги і струму та виникнення перенапруг. Основна ж перевага використання м'якої комутації, як було сказано вище, пов'язана із зниженням комутаційних втрат енергії в ключах, що забезпечує підвищення ККД трифазного інвертора напруги та спрощує його систему охолодження.

Перелік джерел посилань

1. Семененко О.І. Застосування м'якої комутації у трифазних інверторах напруги тягового рухомого складу / О.І. Семененко, Ю.О. Семененко, М.М. Одогов // Зб. наук. пр. Укр. держ. ун. залізничн. трансп. – Х., 2024. – Вип. 208. – С. 222-233.
2. Deng J, Shi K, Zhao A et al. A universal zero-voltage-switching technique for multi-phase AC/DC converter. In: Proceedings of IEEE applied power electronics conference, Anaheim, USA, 17–21 March 2019, pp. 1204–1211.

УДК 621.311.001

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ НЕЙТРАЛІ В ОСТРІВНОМУ РЕЖИМІ РОБОТИ МІКРОМЕРЕЖ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ З ДЖЕРЕЛАМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

Каплун В. В., д.т.н., професор; Ремез С. М., аспірант

*Національний університет біоресурсів і природокористування України
м. Київ, 03041, Україна*

Поширення джерел розподіленої генерації (ДРГ) на базі інверторних перетворювачів суттєво змінює структуру та режими роботи мереж середньої напруги. Острівний режим стає критично важливим у випадках аварійного відокремлення від магістральної мережі, резервування електропостачання або формування автономних мікромереж. У таких умовах питання керування нейтраллю та забезпечення функціонального заземлення стає ключовим фактором стабільності, безпеки та чутливості релейного захисту.

Робота нейтралі в острівному режимі має низку унікальних особливостей, що відрізняють мікромережу від традиційної системи живлення.

Традиційні підходи до заземлення нейтралі (глухозаземлення, заземлення через опір, резонансна компенсація) розроблені переважно для радіальних мереж із синхронними генераторами та значними струмами однофазних замикань

(ОЗЗ). Проте в мікромережах з переважанням інверторних джерел струму пошкодження може знижуватися до кількох ампер, фазні напруги стають нелінійно залежними від параметрів керування інверторів. Це створює проблеми у виявленні ОЗЗ, знижує чутливість захисту, провокує перенапруги та ускладнює підтримання електромагнітної сумісності всередині мікромережі [1].

Також через компенсуючий вплив котушки Петерсона її використання під час роботи мікромережі середньої напруги в острівному режимі для традиційних струмових реле стає неефективним через малу величину струму пошкодження. Додаткові проблеми створює відсутність (дуже малі значення) негативної та нульової послідовності у струмі інверторів, а також зменшення напруги при близьких до генератора пошкодженнях, яке робить неможливим використання класичних схем порівняння фаз струму відносно напруги.

У зв'язку з цим актуальними є гнучкі, адаптивні та інтелектуальні методи управління нейтралю, здатні змінювати власні параметри в режимі реального часу, залежно від топології мережі, складу генерації та типу навантаження. Використання електронних пристроїв які функціонують як активні елементи, дають змогу формувати різні режими нейтралі від високого опору до резонансної компенсації, що стабілізує потенціал нейтралі та забезпечує зростання струму ОЗЗ до рівнів придатних для спрацювання захисту. Експериментальні дослідження підтвердили підвищення чутливості захисту в 2-3 рази [2].

Перспективним є новий алгоритм релейного захисту, що базується виключно на зміні фазового кута позитивної послідовності струму, без використання вимірювання напруги [3].

Інший підхід це використання можливості силових інверторів для формування керованої нульової послідовності та відтворення еквіваленту заземлювального імпедансу без необхідності додаткового трансформатора. Дана методика включає алгоритм керування, який дозволяє інвертору створювати штучну нейтраль та активувати заземлення лише тоді, коли мікромережа переходить в автономний режим. Результати показують що схема забезпечує стабілізацію заземлення та коректну роботу релейного захисту під час однофазних замикань на землю [4]. Запропонований підхід дозволяє зменшити апаратні витрати, усунути вплив на основну мережу в стані приєднання та забезпечити високу гнучкість при керуванні режимами нейтралі.

Сучасні підходи до побудови гнучких та керованих систем заземлення у розподільчих мережах, таких як інтелектуальні резонансні компенсатори, синхронно керовані дугогасні реактори та комбіновані гібридні схеми усувають недоліки традиційних методів заземлення в умовах зростання частки джерел відновлювальної енергії, зміни топології мережі та можливості роботи мікромережі в острівному режимі. Зокрема розробка інвертор-базованих заземлювальних пристроїв дає можливість інтеграції систем заземлення у цифрові підстанції нового покоління [5].

Аналіз сучасних наукових робіт демонструє, що традиційні методи заземлення нейтралі не забезпечують належної ефективності в острівному режимі мікромереж середньої напруги з ДРГ. Основними проблемами

залишаються низькі струми ОЗЗ, нестабільність (практично відсутність) нульової послідовності і як наслідок обмежена чутливість релейного захисту.

Найперспективнішими рішеннями є гнучкі системи формування нейтралі, включаючи інверторні схеми, адаптивні режими заземлення, що змінюються залежно від режимів роботи мікромережі, збільшення струму ОЗЗ до рівня, достатнього для селективної роботи сучасного цифрового захисту, векторні методи аналізу напруги та струмів нульової послідовності, які забезпечують точність виявлення пошкоджень навіть при мінімальних значеннях струмів.

Перелік джерел посилань

1. He, L., Li, Y., Chu, X., Shuai, Z., Peng, Y., & Shen, Z. J. Single-Phase to Ground Fault Line Identification for Medium Voltage Islanded Microgrids With Neutral Ineffectively Grounded Modes. *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 13, no. 6, 2022.
2. Li, D., Ma, Y., Su, Y., Zhang, C., Zhu, L., Yin, H., Wang, F., & Tolbert, L. M. A Controllable Distributed Energy Resource Transformer-Based Grounding Scheme for Microgrids. *IEEE Open Journal of Power & Energy*, vol. 11, 2024.
3. Mohanty R., Chen P., Tuan L. A. *Protection of converter dominated MV microgrid using changes in current's phase angle*. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 2022, Vol. 16, pp. 656–668. DOI: 10.1049/gtd2.12317.
4. Zhang, C., et al. An Inverter-Based Flexible Microgrid Grounding Scheme. *ResearchGate*, 2023. (URL: https://www.researchgate.net/publication/380280253_An_Inverter-Based_Flexible_Microgrid_Grounding_Scheme)
5. Liu, K., Zhang, S., Li, B., Zhang, C., Liu, B., Jin, H., & Zhao, J. Flexible Grounding System for Single-Phase to Ground Faults in Distribution Networks: A Systematic Review of Developments. *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 37, no. 3, 2022

УДК 620.92:621.311

ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ В ГАЛУЗІ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ В УМОВАХ ВІЙНИ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

Дмитренко Д.М., аспірант

*Бердянський Державний Педагогічний Університет,
м. Запоріжжя, Україна*

Розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) ставить перед сучасними електроенергетичними системами низку специфічних завдань: інтеграцію змінної генерації в мережу, забезпечення стійкості частоти та напруги, балансування попиту та пропозиції, а також впровадження систем автоматизації та управління (smart-grid, EMS, SCADA). В умовах війни ці завдання кратно ускладнюються через прямі пошкодження інфраструктури, перебої поставок палива та підвищені вимоги до енергостійкості та швидкого відновлення роботи мереж. [1,2]

З 2022 року електроенергетична інфраструктура України зазнає цілеспрямованих ударів: пошкоджено великі ТЕЦ/ТЕС та об'єкти передачі, зруйновано безліч розподільчих підстанцій та котелень, що призвело до втрати

значної частини генеруючих потужностей та розподільчої здатності. Оцінки збитків обчислюються мільярдами доларів та охоплюють генерацію, лінії та розподіл. Це знижує запаси резерву та можливість швидко відновлювати баланс потужності при різких коливаннях виробітку від ВДЕ [2,3].

Внаслідок виведення з ладу потужностей енергетики, Україна змушена імпортувати електроенергію та спиратися на міжсистемні зв'язки з ЄС. Інтерконнект допомагає, але має обмежену пропускну здатність і не вирішує фундаментальну проблему локальної стійкості при множинних цільових ударах по інфраструктурі. [1,4]

ВДЕ (вітер, сонце) дають непостійний потік енергії – це потребує розвинених механізмів регуляції (частота, реактивна потужність). При скороченні працюючих базових (інерційних) ТЕС/ГЕС забезпечення параметрів мережі стає складнішим. [6]

Історично Україна мала невеликі потужності накопичувачів та мало ринків для «послуг гнучкості» (регулювання частоти, симетрична/асиметрична допомога). У військових умовах потреба у сховищах та швидкореагуючих системах різко зростає. [5]

Руйнування ЛЕП та підстанцій призводять до тривалих відключень, висока частка дрібних споживачів та інфраструктури (лікарні, водопостачання) потребує безперебійних резервів та автоматичного перемикачів на локальні джерела – чого часто немає. [7]

В умовах війни нормативи, процедури підключення ВДЕ, ліцензування та інвестиційні механізми потребують швидкої адаптації. Необхідні спрощені процедури відновлення та підтримки інвестиційної привабливості, одночасно – надійні механізми контролю та координації. [3,6]

Способи вирішення та практика їх застосування

Посилення фізичних захистів, дублювання ліній передачі, підземне прокладання кабелів там, де можливо, застосування модульних станцій, що швидко відновлюються (mobile substations). Це знижує час відновлення та зменшує вразливість. [4]

Цілеспрямовані інвестиції у реконструкцію та модернізацію мереж. Реконструкція підстанцій з використанням цифрових РЗА (релейний захист та автоматика) дає більш точне дистанційне керування та швидке автоматичне переведення ділянок мережі в безпечний стан. [5]

Сховища (енергетичні накопичувачі: ESS - батареї, гідроакумулятори, P2G) компенсують змінність відновлюваної генерації та надають послуги регулювання частоти/потужності. Розміщення розподілених ESS поряд із великими сонячними/вітровими парками знижує навантаження на трансформатори та лінії. В Україні запускаються проекти щодо накопичувачів та ринків допоміжних послуг. [5]

Резервування інерційних властивостей системи (віртуальна інерція). Застосування перетворювальної електроніки з алгоритмами «віртуальної інерції» (grid-forming inverters) дозволяє ВДЕ поводитися як синхронна машина, покращуючи стійкість частоти при великих відхиленнях.

Створення автономних мікромереж (власна генерація ВДЕ + ESS + управління навантаженням) для критичних об'єктів (лікарні, комунікації, військові та логістичні вузли) забезпечує локальну енергонезалежність при пошкодженні магістралей. Мікромережі спрощують обслуговування та швидко відновлюються. [6,7]

Програми керованого споживання та інтелектуальних мереж дозволяють оперативно знижувати навантаження в пікові періоди або при аваріях, зменшуючи необхідність увімкнення дорогих резервних генераторів.

Впровадження інтелектуальних лічильників, розподілених датчиків та цифрових систем керування підвищує видимість мережі, дозволяє точніше прогнозувати виробництво відновлюваних джерел енергії та швидше реагувати на пошкодження. [5]

Для забезпечення роботи АСУ ТП в екстремальних умовах необхідні захищені канали зв'язку, стійкі до відмови архітектури і локальні алгоритми аварійного управління.

Державна підтримка, тобто швидка видача дозволів, податкові пільги при реконструкції сприяють притоку інвестицій. Енергетична спільнота та аналітичні центри пропонують конкретні дорожні карти післявоєнного відновлення сектора. [3]

Висновки

Війна різко загострила існуючі виклики в інтеграції відновлюваних джерел енергії: пошкодження генерації та мереж зменшило буфер інерції та резервні потужності, що робить керування змінною генерацією складніше. Для відновлення енергетичної стійкості необхідна одночасна робота за трьома напрямками: фізичний захист та реконструкція мереж; масштабне впровадження систем гнучкості (накопичувачі, grid-forming рішення); та децентралізація через мікромережі.

Технологічне рішення – це не єдина відповідь. Необхідні синхронізовані інституційні заходи: спрощення нормативів, створення ринків послуг гнучкості, залучення міжнародних фінансів та координація з ЄС. Технічні інновації (ESS, інтелектуальна автоматика, мікромережі) повинні супроводжуватись грамотним регулюванням та інвестиційною підтримкою.

Відновлювана енергія залишається стратегічною можливістю. ВДЕ дозволяють поступово замінити втрачену генерацію, зменшити залежність від централізованих вразливих об'єктів та прискорити «зелене» відновлення економіки. Але для цього потрібна прискорена модернізація мереж, розвиток накопичувачів та впровадження розвинених систем автоматизації управління.

Загалом, поєднання технологічних заходів, інституційної реформи та міжнародної допомоги — оптимальний шлях до того, щоб українська енергетика стала стійкішою, гнучкішою та екологічнішою у післявоєнному відновленні.

Перелік джерел посилань

1. International Energy Agency. (2024). *Ukraine's energy security and the coming winter (and related analyses)*. IEA. <https://www.iea.org/reports/ukraines-energy-security-and-the-coming-winter>

2. Kyiv School of Economics. (2024). *Assessment of damages and losses to Ukraine's energy sector*. Kyiv School of Economics. https://kse.ua/wp-content/uploads/2025/02/KSE_Damages_Report-November-2024---ENG.pdf
3. Energy Community. (2024). *Post War Development of the Renewable Energy Sector in Ukraine*. Energy Community. https://www.energy-community.org/dam/jcr%3A063d888c-dd3d-469c-a2b3-68d6130b30f5/intec_UA_postwar_RESDevelopment.pdf
4. World Bank. (2021). *Ukraine — Improving Power System Resilience for European Power Grid Integration Project*. World Bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/803731625364161631/pdf/Ukraine-Improving-Power-System-Resilience-for-European-Power-Grid-Integration-Project.pdf>
5. Ukrenergo (NPC). (2023). *Management and financial reporting; smart grid and balancing documents*. <https://ua.energy/ukrenergo-of-the-future/smart-grid/>
6. DIW Econ. (2025). *Renewable energy in Ukraine: Current institutional framework and post-war prospects*. DIW Econ report. https://diw-econ.de/wp-content/uploads/JT_UA_DIW-Econ-Report_RES-in-Ukraine_v.1.0.pdf
7. Energy Transition. (2024). *Decentralizing Ukraine's energy future: Microgrids as a path to independence*. EnergyTransition.org. <https://energytransition.org/2024/10/decentralizing-ukraines-energy-future-microgrids-as-a-path-to-independence/>

УДК 621.311.68:621.311:658.26

АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ УЗГОДЖЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ТА МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ

Забіяка Д.О.¹, аспірант 2 курсу; Петренко А.В.¹, к.т.н, доцент;

*¹Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

Стрімке зростання частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) на промислових об'єктах інтенсифікує стохастичні коливання активної/реактивної потужності. Це ускладнює забезпечення напруженої та частотної стійкості, а також підвищує вимоги до оперативного-диспетчерського керування [1, 2]. За таких умов системи накопичення енергії (СНЕ), насамперед батареїні, розглядаються як інфраструктурний інструмент підвищення гнучкості мережі, здатний забезпечити просторово-часову трансформацію енергопотоків, демпфування коливань вихідної потужності ВДЕ, реалізацію пікового зрізання та участь у сервісах частотного регулювання [3]. Водночас перевищення оптимальної встановленої потужності/ємності СНЕ призводить до недозавантаження активів і зниження економічної віддачі, а недоінвестування – до збереження системних ризиків і невикористання ринкових можливостей [4; 5]. Сучасні підходи (двоетапні, бі-рівневі та керовані даними (data-driven)) залишаються обчислювально витратними для великих мереж.

Метою роботи є розробка та аналіз комплексної методології для узгодження потужності та розташування СНЕ, яка б збалансувала обчислювальну ефективність, економічну доцільність та вимоги системної стійкості.

Для досягнення мети розглядається трирівнева схема аналізу: на верхньому рівні – попередній відбір локацій СНЕ за глобальним індексом вразливості, що є зваженою агрегацією топологічних метрик та індикаторів напругової стійкості з вагами, визначеними методом аналізу ієрархій, та балансуванням нерівномірності.

На середньому рівні – обґрунтування встановленої потужності й енергоємності за критерієм максимуму дисконтованого прибутку або мінімуму вартості життєвого циклу з урахуванням доходів (послуги з регулювання частоти, пікового зрізання та ін.) і капітальних витрат з урахуванням штрафного коефіцієнта та технічними обмеженнями стан заряду, режимів заряд/розряд і напругових порогів.

На нижньому рівні – експлуатаційна оптимізація профілів заряд/розряд у стохастичному багатосценарному середовищі та моделюванням локальних мережевих сервісів (обмеження швидкості зміни потужності для ВДЕ, і керування напругою).

Для швидкого ранжування вузлів використовується оптимізація рою частинок. Гібрид генетичного алгоритму застосовується для оптимізації розмірів за мультикритерієм «прибуток–стійкість–штрафний коефіцієнт» [6].

З практичного погляду, для промислових об'єктів очікується скорочення кількості вузлів без втрати ефективності завдяки фільтру за штрафами, підвищення напругової та частотної стійкості, узгодження економіки життєвого циклу СНЕ з вимогами системної безпеки та покращення прогнозованості доходів від додаткових сервісів.

Отже, варто відзначити, що трирівнева методологія (попередній відбір, оптимізація параметрів із штрафним коефіцієнтом та стохастична експлуатаційна координація) формує науково обґрунтовану основу для раціонального вибору потужності й розташування СНЕ на промислових об'єктах. Застосування гібридного алгоритму зможе забезпечити високу обчислювальну ефективність і стабільність, узгоджуючи стійкість мережі та економічну ефективність у контексті декарбонізації й цифровізації промисловості.

Перелік джерел посилань

1. Ghaffari A., Askarzadeh A., Fadaeinedjad R. Optimal allocation of energy storage systems, wind turbines and photovoltaic systems in distribution network considering flicker mitigation. *Applied Energy*, 2022, vol. 319. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119253>
2. Alnawafah H., Sarrias-Mena R., Harb A., Fernández-Ramírez L. M., Llorens-Iborra F. Evaluating the inertia of the Jordanian power grid. *Computers & Electrical Engineering*, 2023, vol. 109. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2023.108748>
3. Zhang H., Fu S., Jiang J. Multi-period network equilibrium in power system with energy storage on generation side. *Electric Power Systems Research*, 2023, vol. 223. URL: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109533>
4. Dozein M. G., Gomis-Bellmunt O., Mancarella P. Simultaneous provision of dynamic active and reactive power response from utility-scale battery energy storage systems in weak grids. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2021, vol. 36, 5548–5557. URL: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2021.3076218>
5. Hou T., Fang R., Yang D., Zhang W., Tang J. Energy storage system optimization based on a multi-time scale decomposition–coordination algorithm for wind–ESS systems. *Sustainable*

6. Zhao Z., Shang Y., Qi B., Wang Y., Zhang Q. Optimal sizing and siting of energy storage systems based on power grid vulnerability analysis: A trilevel optimization model. *Energy Strategy Reviews*, 2025, vol. 59. URL: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2025.101720>

УДК 621.548

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНЦЕНТАТОРА ВІТРОВОГО ПОТОКУ НА ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВІТРОГЕНЕРАТОРА

Горобець В.Г. , д.т.н., професор; Колісник О.В., аспірант

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ Україна*

В умовах глобального переходу до відновлюваних джерел енергії та децентралізації енергопостачання зростає інтерес до вітроенергетики малої потужності. Для кліматичних умов центральної частини України (зокрема Київської області), де середньорічна швидкість вітру становить 3–5 м/с, класичні лопатеві турбіни горизонтального типу часто є неефективними через високу стартову швидкість. Вертикально-осьові вітротурбіни (VAWT) позбавлені необхідності орієнтації на вітер і мають вищий коефіцієнт використання енергії вітру (КВЕВ) [1]. Актуальним завданням є зниження стартової швидкості VAWT та підвищення їх продуктивності шляхом використання додаткових аеродинамічних пристроїв у вигляді концентраторів потоку (конфузорів).

Об'єктом дослідження обрано модель трифазного генератора на постійних магнітах (номінальна потужність 20 Вт) із ротором вертикального типу. Для підвищення щільності повітряного потоку (рис. 1) запропоновано використання стаціонарного концентратора, принцип дії якого базується на ефекті Вентурі та законі нерозривності потоку. Експериментальні дослідження проводилися в аеродинамічній трубі з порівнянням двох режимів: робота відкритого ротора та робота ротора з концентратором вітрового потоку.

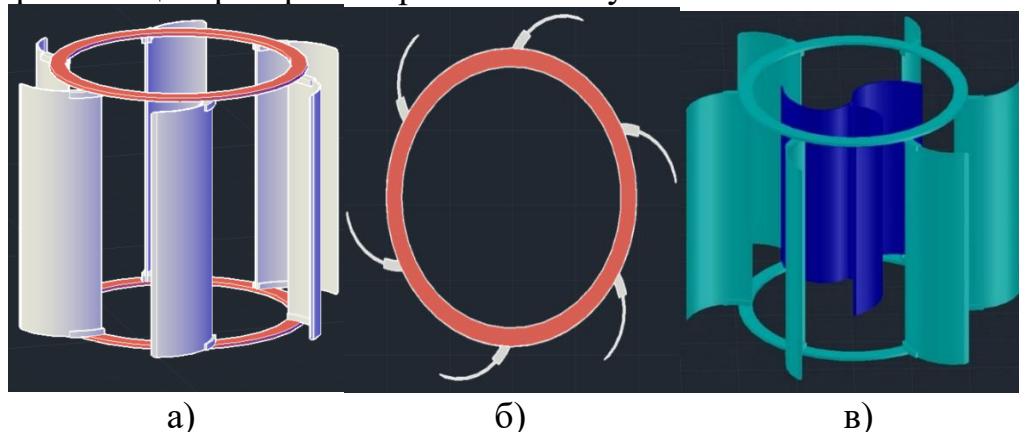


Рис. 1. Загальний вигляд ротора з концентратором потоку: а) загальний вигляд концентратора вітрового потоку; б) концентратор вітрового потоку (вигляд зверху); в) вітрогенератор з концентратором вітрового потоку.

У ході експерименту зафіксовано суттєву зміну аеродинамічних характеристик установки при використанні концентратора вітрового потоку. По-перше, вдалося значно знизити поріг стартової швидкості вітру (*cut-in speed*). Без концентратора генерація напруги розпочиналася при швидкості потоку 2,4 м/с. Використання розробленої конструкції дозволило знизити цей показник до 1,7 м/с, що розширює діапазон робочих годин установки в умовах помірних вітрів [2].

По-друге, зафіксовано приріст частоти обертання та вихідної напруги. При контрольному замірі зі швидкістю вітру 4,0 м/с відкритий ротор розвивав 390 об/хв (напруга холостого ходу після випрямляча — 2,55 В). Встановлення концентратора за тих самих умов дозволило підвищити частоту обертання до 690 об/хв, а напругу — до 4,9 В. Отримані дані корелюється із результатами міжнародних досліджень, які вказують на можливість підвищення ККД роторів Савоніуса та Дар'є за допомогою дефлекторів [3]. Зростання напруги майже в 1,9 рази свідчить про суттєве збільшення кінетичної енергії вітрового потоку, яка передається на вал генератора, оскільки потужність вітрогенератора пропорційна кубу швидкості вітрового потоку який натікає на лопаті вітрогенератора.

Застосування стаціонарних аеродинамічних концентраторів є ефективним методом модернізації вертикальних вітрогенераторів. Експериментально підтверджено, що запропонована конструкція дозволяє збільшити вироблення електроенергії на малих швидкостях вітру та знизити стартовий поріг генерації на 29%, що робить такі установки перспективними для використання в умовах щільної забудови та для регіонів з низьким вітровим потенціалом.

Перелік джерел посилань

1. Mohamed M. H. Recent advances in vertical axis wind turbines: Performance enhancement and applications / M. H. Mohamed, A. M. Elbaz // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2020. – Vol. 134. – P. 110354.
2. Alom N. Performance analysis of a Savonius wind turbine with a deflector system / N. Alom, U. K. Saha // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. – 2021. – Vol. 212. – P. 104586.
3. Zhu Y. Aerodynamic performance of a vertical axis wind turbine with a guide vane / Y. Zhu, Y. Li, Y. Wang // *Energy Reports*. – 2022. – Vol. 8. – P. 568–579.

УДК 313.33:621.318.122

ЙМОВІРНІСНИЙ АНАЛІЗ ВІДМОВ У РОБОТІ ЕНЕРГОСИСТЕМ

Пугач В. В., студентка групи ЕЕЕ-230016

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

Надійність енергетичних систем визначається їх здатністю забезпечувати безперервне та стабільне електропостачання споживачів навіть у разі відмови окремих елементів, таких як генератори, трансформатори, розподільчі пристрої чи лінії електропередачі, що є ключовим критерієм ефективності

функціонування енергетичної інфраструктури [1]. Для оцінки надійності застосовується ймовірнісний аналіз відмов, який дозволяє визначати ймовірність та частоту відмов окремих компонентів, прогнозувати їхні наслідки для системи в цілому і планувати профілактичні та ремонтні заходи [1,2]. Основними показниками надійності є ймовірність відмови, середній час безвідмовної роботи (MTBF) та середній час відновлення після відмови (MTTR), на основі яких оцінюється ефективність функціонування енергетичних об'єктів та резерви системи [2]. Для моделювання процесів відмов застосовуються різні статистичні моделі, зокрема експоненційний, нормальний та вейбулівський розподіли, останній забезпечує найбільш адекватне відображення реальних умов експлуатації, враховуючи випадкові та старінні відмови обладнання [2,3]. Основними причинами відмов є перевантаження компонентів, зношування ізоляційних матеріалів, вплив зовнішніх факторів та недоліки технічного обслуговування [1]. Для зниження ймовірності відмов застосовують дублювання критичних елементів, резервування систем, моніторинг технічного стану, своєчасне виконання профілактичних робіт та заміну зношених вузлів [3]. Використання ймовірнісного аналізу дозволяє підвищити надійність енергетичних систем, забезпечити стабільну роботу обладнання, оптимізувати планування обслуговування та запобігати виникненню аварійних ситуацій [1,2].

Перелік джерел посилань

1. Костенко М. П., Кузнецов Ю. І. Надійність електроенергетичних систем. – К.: Вища школа, 2010.
2. Гончарук М. В. Основи експлуатації енергетичного обладнання. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2014.
3. Коваленко В. І. Аналіз надійності систем електропостачання. – Харків: ХНУРЕ, 2018.

УДК 621.311

ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ПРОЦЕСИ В ЛІТІЄВИХ АКУМУЛЯТОРАХ

*Лисіков О. Ю., аспірант, Червінський Л. С., д.т.н., професор
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

Актуальність. Електрофізичні процеси в літєвих акумуляторах — це складні явища, що відбуваються на мікроскопічному рівні та забезпечують перетворення хімічної енергії в електричну та навпаки. Основними з них є *деполяризація, інтеркаляція, деінтеркаляція*. Повний процес повторюється багаторазово протягом життєвого циклу акумулятора і визначає довговічність та надійність роботи акумулятора.

Суть процесу інтеркаляція та деінтеркаляція іонів літію: Це ключовий процес, що відбувається під час заряджання та розряджання акумулятора. Він полягає у впровадженні (інтеркаляції) іонів літію в структуру електродних матеріалів (зазвичай графіту на аноді та оксидів металів на катоді) та їхньому вивільненні (деінтеркаляції). Механізм процесу наступний : Під час розряджання іони літію виходять з анода (графіту), рухаються через електроліт

до катода та вбудовуються в його структуру. Під час заряджання відбувається зворотний процес. Цей процес забезпечує перенесення заряду між електродами та визначає ємність акумулятора.

Ефективність та швидкість інтеркаляції/деінтеркаляції впливають на потужність та термін служби акумулятора.

На експлуатаційні характеристики літєвих акумуляторів також впливає твердий електролітний інтерфейс - (SEI) тонка плівка на поверхні анода (зазвичай графіту) внаслідок реакції електроліту з літєм. SEI утворюється під час перших циклів заряджання-розряджання. Вона захищає анод від подальшої деградації внаслідок реакцій з електролітом, але водночас забезпечує проходження іонів літію. SEI відіграє ключову роль у стабільності та терміні служби акумулятора. Її властивості (склад, товщина, структура) значно впливають на характеристики акумулятора.

Висновки. Вище перераховані електрофізичні процеси безпосередньо впливають на ключові характеристики літєвих акумуляторів. А саме:

Ємність: Визначається кількістю іонів літію, які можуть бути інтеркальовані/деінтеркальовані в електроди. *Потужність:* Залежить від швидкості перенесення іонів літію в електроліті та електронної провідності в електродах. *Термін служби:* Визначається стабільністю електродних матеріалів, SEI та електроліту, а також здатністю матеріалів витримувати багатократні цикли інтеркаляції/деінтеркаляції. *Безпека експлуатації:* Залежить від термічної стабільності матеріалів та електроліту, а також від властивостей SEI.

Розуміння цих процесів є важливим для розробки нових, більш ефективних та безпечних літєвих акумуляторів.

Перелік джерел посилань

1. Zhao, Y. An Aqueous Lithium-Iodine Battery with Solid Polymer Electrolyte-Coated Metallic Lithium Anode [Text] / Y. Zhao, N. B. Mercier, H. R. Byon // ChemPlusChem. — 2014. — Vol. 80, № 2. — P. 344–348. doi:10.1002/cplu.201402038
2. Шембель, О. М. Основні характеристики сучасних хімічних джерел струму різних електрохімічних систем : [укр.] / О. М. Шембель, В. А. Білогуров // Сучасна спеціальна техніка. — 2009. — № 2(17). — С. 66—86.

УДК 621.3;

ПОЄДНАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАДАЧ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ТА БАЛАНСУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ

Литвин В.І.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

Збільшення потреби в обчислювальних потужностях, зокрема для забезпечення функціонування алгоритмів штучного інтелекту потребує суттєвого нарощування виробництва електричної енергії [1], а також

будівництво нових електричних мереж. За інформацією Міжнародного енергетичного агентства потреба в енергії може подвоїтися до 2030. Якщо розглядати сервери не лише як частину інформаційної але і як частину енергетичної системи, то можна використати їх особливості для вирішення ряду задач енергетичних систем, а саме: балансування навантаження енергетичних мереж [2, 3] за рахунок розподілу задач з обчислення між різними енергосистемами або їх частинами, використання скидної теплоти в теплоенергетичних системах, завантаження відновлювальних джерел енергії в періоди пікової генерації. Якщо взяти до уваги, що передача інформації між центрами обробки даних є на декілька порядків менш енергозатратною ніж передача енергії для обробки такої інформації - то за наявності надлишкових обчислювальних потужностей матимемо можливість передавати не енергетичні потоки (з відповідними втратами в мережі та необхідністю збільшувати пропускну здатність ліній електропередач), а еквівалентну такій потужності кількість інформації. Зважаючи на те, що побічним продуктом роботи обчислювальних систем є теплова енергія, можна розрахувати еквівалент між обчислювальною потужністю дата центрів та тепловою та електричною потужністю, що дозволить моделювати енергетично-обчислювальні системи. З огляду на можливість виконання розподілених обчислень, розміщення порівняно невеликих дата-центрів в будівлях, що споживають теплову та електричну енергію, а також можуть мати надлишок власної генерації (наприклад сонячні електростанції) дозволяє знизити сумарні затрати як на енергозабезпечення об'єктів так і на виконання обчислень (з огляду на те, що вартість електричної енергії має найбільшу долю в експлуатаційних витратах дата-центрів).

Перелік джерел посилань

1. <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai/energy-demand-from-ai>
2. Rajasekar R, Mohammed Ansar Ali M. A. Energy Balancing in Data Centre Networks through Green Cloud Computing. International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER) Volume 2 Issue 3, March 2014
3. Yannick Carlinet, Nancy Perrot. Energy-efficient load balancing in a SDN-based Data-Center network [2016 17th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium \(Networks\)](https://ieeexplore.ieee.org/document/7751166) <https://ieeexplore.ieee.org/document/7751166>

УДК 621.311.1:621.311.6

КРИТЕРІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕКОНОМІЧНОЇ ОПТИМАЛЬНОСТІ УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ MICROGRID З РОЗОСЕРЕДЖЕНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ГЕНЕРАЦІЇ

Н.М. Білоус¹, Д.С. Сорокін²

*¹Національний університет біоресурсів і природокористування України,
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна,
тел.: (068) 418-77-21 e-mail: nazar.bilous@nubip.edu.ua*

Сучасний розвиток електроенергетичних систем характеризується

зростанням частки розосереджених джерел електричної енергії, впровадженням накопичувачів енергії та підвищенням вимог до енергоефективності й економічної доцільності електропостачання. У цих умовах концепція MicroGrid розглядається як перспективний напрям побудови локальних електроенергетичних систем, здатних забезпечити гнучке управління генерацією, споживанням та обміном електричною енергією з зовнішньою мережею [3, 6] (Hirsch et al., 2018; Uddin et al., 2023).

Разом з тим ефективність функціонування MicroGrid значною мірою визначається не лише складом технічних засобів, але й принципами управління електроенергетичними режимами. Традиційні підходи до управління, як правило, орієнтовані на забезпечення стійкості та безперервності електропостачання, однак не завжди враховують комплекс критеріїв енергоефективності та економічної оптимальності, особливо в умовах змінних тарифів і нестабільної генерації відновлюваних джерел [1] (Denysiuk & Voiko, 2021).

У зв'язку з цим актуальним є обґрунтування критеріїв управління режимами роботи MicroGrid, які дозволяють одночасно мінімізувати втрати електричної енергії, знизити вартість електропостачання для споживачів та забезпечити ефективне використання розосереджених джерел генерації й накопичувачів енергії.

Аналіз сучасних підходів до управління MicroGrid

У наукових дослідженнях MicroGrid розглядається як складна електроенергетична система з багаторівневою структурою управління, у якій поєднуються локальні джерела генерації, накопичувачі енергії, керовані навантаження та системи моніторингу і диспетчеризації [2] (Derev'iaňko & Perehuda, 2024). Основною задачею управління є підтримання балансу активної потужності та допустимих параметрів напруги і частоти за різних режимів роботи.

Критерії енергоефективності управління режимами MicroGrid

Енергоефективність MicroGrid визначається здатністю системи забезпечувати необхідний рівень електропостачання з мінімальними втратами електричної енергії та раціональним використанням генеруючих потужностей. Одним із ключових критеріїв енергоефективності є мінімізація втрат електричної енергії в елементах мережі та перетворювальних пристроях, що особливо актуально для локальних мереж з великою кількістю силової електроніки [4] (Savchenko et al., 2025).

Критерії економічної оптимальності управління MicroGrid

Економічна ефективність MicroGrid тісно пов'язана з особливостями тарифної політики та вартістю електроенергії на зовнішньому ринку. В умовах застосування диференційованих та динамічних тарифів управління режимами роботи MicroGrid повинно забезпечувати мінімізацію сумарних витрат на електропостачання з урахуванням вартості власної генерації, накопичення та купівлі електроенергії з мережі [2] (Denysiuk et al., 2022).

Необхідність комплексного підходу до вибору критеріїв управління

Аналіз сучасних досліджень свідчить, що ефективне управління MicroGrid

потребує комплексного підходу до вибору критеріїв оптимізації, який поєднує енергоефективні та економічні показники. Орієнтація лише на один із цих аспектів призводить до неоптимальних режимів роботи та обмежує потенціал MicroGrid як елемента сучасної електроенергетичної системи.

Висновки

Проаналізовано основні підходи до управління режимами роботи MicroGrid та обґрунтовано доцільність використання комплексної системи критеріїв енергоефективності та економічної оптимальності. Показано, що ефективне управління MicroGrid повинно забезпечувати мінімізацію втрат електричної енергії, раціональне використання розосереджених джерел генерації та накопичувачів енергії, а також зниження вартості електроенергії для споживачів.

Перелік джерел посилань

1. Denysiuk, S. P., & Voiko, I. Y. (2021). Підвищення енергоефективності MicroGrid з дизель-генераторами. *Енергетика: економіка, технології, екологія*, (2), 19–32.
<https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2021.247354>
2. Denysiuk, S. P., Derev'iańko, D. H., Bielocha, H. S., & Zaichenko, S. V. (2022). Цінові моделі агрегування для MicroGrid систем з розосередженими джерелами енергії. *Енергетика: економіка, технології, екологія*, (3).
[https://doi.org/10.20535/\[51813-5420.3.2022.270225](https://doi.org/10.20535/[51813-5420.3.2022.270225)
3. Hirsch, A., Parag, Y., & Guerrero, J. (2018). Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 402–411.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.040>
4. Savchenko, N. P., Dovhaliuk, O. M., & Tretiak, A. V. (2025). Автономна MicroGrid система для побутових споживачів на базі енергоефективних технологій з відновлюваними джерелами енергії. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність*, 1(10), 121–126.
[https://doi.org/10.20998/EREE.2025.1\(10\).332574](https://doi.org/10.20998/EREE.2025.1(10).332574)
5. Thirunavukkarasu, G. S., Seyedmahmoudian, M., Jamei, E., Horan, B., Mekhilef, S., & Stojcevski, A. (2022). Role of optimization techniques in microgrid energy management systems — A review. *Energy Strategy Reviews*, 43, 100899.
<https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100899>

УДК 658:621.311

ОСОБЛИВОСТІ ОСВОЄННЯ ГІДРОЕНЕРГІЇ МАЛИХ ГІРСЬКИХ РІЧОК ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

*Бабич М. І., к.т.н., доцент; Боярчук В. М., к.т.н., професор
Львівський національний університет ветеринарної медицини та
біотехнологій імені С. З. Гжицького, м. Львів, Україна.*

У зв'язку зі зростанням світового енергоспоживання та посиленням екологічних викликів дедалі більшого значення набуває використання відновлюваних джерел енергії, зокрема малої гідроенергетики. Цей напрям відрізняється стабільністю природного ресурсу, низькою собівартістю

виробництва електроенергії, високою надійністю функціонування та розвиненими маневровими характеристиками.

За даними «Укргідропроекту», сумарний гідропотенціал малих річок України оцінюється на рівні 2 млн кВт, з яких близько 30 % припадає на Карпатський регіон [1]. Саме гірські річки залишаються найбільш неосвоєною частиною цього потенціалу. При їх використанні необхідно враховувати такі особливості: а) стохастичний характер витрат води та сезонна нерівномірність стоку; б) неможливість спорудження водосховищ через обмежений простір, що зумовлює використання виключно природного стоку; в) залежність вибору гідроенергетичного обладнання від характеристик річки та умов експлуатації; г) досягнення максимального використання гідропотенціалу можливе лише за умови науково обґрунтованого розміщення кількох гідроелектростанцій у межах каскаду.

Враховуючи наведені особливості, до основних системних завдань такого проекту належать:

- 1) дослідження умов експлуатації (характеристик проектного середовища);
- 2) дослідження та обґрунтування параметрів гідроенергетичного обладнання;
- 3) узгодження параметрів обладнання з умовами функціонування гідросистеми.

Дослідження умов експлуатації спрямоване на визначення гідроенергетичного потенціалу. При цьому експериментальна частина має бути зосереджена не на розрахунку підсумкового енергетичного потенціалу, а на аналізі його складових. Зокрема, необхідно вивчати річну динаміку витрати води у певному створі, зміни витрати вздовж русла, а також показники статичного напору за довжиною річки.

Вибір гідроенергетичного обладнання для малих річок у гірських і передгірських районах повинен відповідати таким вимогам: екологічна безпечність, широкий діапазон витрат води, напорів і потужностей, стійкість до паводків, відсутність потреби у великих гідротехнічних спорудах та мінімальний вплив на природний режим русла. Найкраще цим умовам відповідає дериваційна схема створення напору, за якої вода подається на турбіну через спеціальний канал, що забезпечує ефективне використання гідропотенціалу за мінімального екологічного впливу.

Комплекс гідрологічних і геометричних характеристик річки у поєднанні з конструктивними та технічними параметрами гідроенергетичного обладнання створює основу для формування параметрів проектованої системи. Їх оптимізацію здійснюють шляхом розв'язання зворотної задачі, яка передбачає оцінювання впливу природних факторів на ефективність роботи станції з подальшим добором оптимальних параметрів [2].

Параметри гідроелектростанцій визначаються також способом використання виробленої електроенергії — для автономного споживача або для подачі в централізовану мережу. Автономні системи у випадку малих гірських річок є менш доцільними через високу мінливість стоку, що потребує застосування дорогих акумуляторних систем і збільшує собівартість

електроенергії. Робота станції на мережу є економічно вигіднішою, оскільки мережа виконує роль енергетичного акумулятора. У цьому контексті критерій узгодження параметрів станції з характеристиками річки формулюється як максимум прибутку від виробництва електроенергії (наприклад в межах «зеленого тарифу»). Такий підхід поєднує технологічні та економічні показники, забезпечуючи максимальний виробіток та мінімізацію витрат. Він також створює можливість науково обґрунтувати вибір найбільш перспективних ділянок річки для проектування гідроелектростанцій і повного використання гідроенергетичного потенціалу.

Перелік джерел посилання

1. Васько П. Ф., Мороз А. В. Потенціал використання гідроенергетичних ресурсів основних малих річок України. *Відновлювальна енергетика*. 2016. № 3. С. 50-56.

2. Бабич М. І., Коробка С. В. Методика обґрунтування параметрів турбіни та дериваційного каналу мікрогідроелектростанції для умов гірської річки. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання*. 2023. Вип. 13(1). <https://doi.org/10.31388/sbtsatu.v13i1.388>

УДК:621.313.333:621.314.572

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ МІКРОГРІД У СКЛАДІ «ІНВЕРТОР — АСИНХРОННИЙ ДВИГУН»

Макаревич С.С., к.т.н., доцент, Віхоть Б.М., аспірант

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

У роботі здійснено огляд сучасних підходів до дослідження та оптимізації електротехнічного комплексу «інвертор — асинхронний двигун» у складі мікрогрід. Розглянуто принципи побудови таких систем, особливості їх роботи в автономному та мережевому режимах, а також основні напрямки вдосконалення систем керування.

Відомо, що мікрогрід є одним із ключових напрямів розвитку сучасної енергетики, оскільки забезпечують підвищення надійності, енергоефективності та можливість інтеграції відновлюваних джерел енергії. Електротехнічні комплекси у складі перетворювачів енергії та електричних машин, зокрема інвертори й асинхронні двигуни, через узгоджене функціонування забезпечують високу якість електроенергії, стабільність частоти та напруги, а також підвищують загальну стійкість енергосистеми. [1], [2].

В останні роки активно досліджуються методи керування інверторами, які забезпечують стабільну роботу мікрогрід навіть при значній змінності навантаження. Серед найпоширеніших стратегій керування виділяють скалярне, векторне (FOC) та droop-керування. Скалярне керування залишається простим і надійним для систем зі сталими параметрами, проте не забезпечує високої точності регулювання в динамічних режимах. Векторне керування (Field Oriented Control) дає можливість точно контролювати момент і швидкість асинхронного

двигуна, що підтверджено у дослідженнях з аналізу якості енергії в інверторних приводах [1]. Droop-керування, у свою чергу, дозволяє узгоджувати роботу декількох джерел у мікрогрід без централізованого контролера [3].

Сучасні мікрогрід [2, 4] потребують інтелектуальних систем керування інверторами, здатних адаптуватися до зміни умов роботи, наприклад, під час пуску асинхронного двигуна чи переходу з мережевого на автономний режим. Це особливо важливо для зменшення коливань напруги, просідань при пуску двигуна та забезпечення стабільної частоти.

Правильний вибір алгоритму керування інвертором [1, 5] дає змогу зменшити гармонійні спотворення, підвищити коефіцієнт потужності та загальну енергоефективність системи. Векторне керування з адаптивним droop-регулюванням вважається найбільш перспективним напрямом розвитку таких електротехнічних комплексів.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на створення адаптивних систем керування, здатних підтримувати стабільність і якість електроенергії при змінних навантаженнях і коливаннях генерованої потужності.

Перелік джерел посилань

1. Vasantharaj, S.; Indragandhi, V.; Bharathidasan, M.; Aljafari, B. Power Quality Analysis of a Hybrid Microgrid-Based SVM Inverter-Fed Induction Motor Drive with Modulation Index Diversification. *Energies*, 2022, 15(21), 7916.
2. Wang, J. Study of Inverter Control Strategies on the Stability of Microgrids Toward 100% Renewable Penetration. National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2022.
3. Khaledian, A.; Golkar, M.A. Analysis of droop control method in an autonomous microgrid. *Journal of Applied Research and Technology*, 2017.
4. Yusuf, S.; Abubakar, A. A Comprehensive Review on Grid-forming Inverter: Potential and Future Trends. *Majlesi Journal of Electrical Engineering*, 17(1), 2023.
5. Mencou, S. Advanced control of induction motors (2019–2025). *ScienceDirect*, 2025.

УДК 621.316.1.05

МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКОРОЗПОДІЛУ ДЛЯ ЕНЕРГООСТРОВА З УРАХУВАННЯМ КРИТИЧНОСТІ СПОЖИВАЧІВ В УМОВАХ ДЕФІЦИТУ ПОТУЖНОСТІ

В.В. Войтенко, аспірант

*Національний університет біоресурсів та природокористування України
м. Київ, Україна*

У роботі представлено тривірневу оптимізаційну модель потокорозподілу, розроблену для функціонування енергоострова в умовах обмеженої доступної генерації та можливих аварійних відключень елементів мережі. Метою моделювання є забезпечення гарантованого електропостачання споживачів різних категорій критичності в умовах дефіциту потужності, а також мінімізація сумарного моменту потужності в мережі. Модель формує ієрархічний опис енергосистеми у вигляді структури $A \rightarrow B \rightarrow F$, де:

- A — вузли генерації та передачі рівня 330/110 кВ;

- В — розподільчі підстанції 110/35/10 кВ;
- F — фідери 10 кВ, що є найнижчим керованим рівнем, на якому приймається рішення щодо подачі/відключення навантаження.

Оскільки технологічно часткове живлення фідера неможливе, модель використовує бінарні змінні стану, що забезпечує повне або нульове заживлення фідера в кожному часовому циклі. Ураховано три категорії критичності споживачів (CRIT, MID, NON) із відмінними вимогами до кількості циклів живлення та заборонами на послідовні відключення. Для моделювання добового режиму застосовано розбиття на шість чотиригодинних циклів. У роботі розглядається аварійний режим, за якого вузли А1 та А4 виведено з роботи як джерела живлення, і вони можуть функціонувати лише як транзитні. Доступна генерація забезпечується вузлами А2, А3 та А5 із сумарною доступною потужністю 1800 МВА ($\approx 58\%$ від номінальних 3100 МВА). Для діючих джерел дозволено відхилення від номінальних рівнів у межах $\pm 10\%$, що забезпечує гнучкість у розподілі навантаження.

Цільова функція моделі має лексикографічну структуру, що забезпечує пріоритетність вимог щодо критичності споживачів:

1. максимізація сумарного зваженого показника покриття фідерів з урахуванням їх критичності;
2. мінімізація сумарного моменту потужності за всіма маршрутами потоків.

Розроблена модель дозволяє визначити оптимальні маршрути перетоків між рівнями А–В–F, отримати добовий графік заживлення фідерів та оцінити вплив обмежень генерації на режим роботи енергоострова. Математична постановка реалізована в середовищі AMPL [1] та розв'язана на сервері NEOS за допомогою солвера CPLEX [2,3].

Перелік джерел посилань

1. AMPL Optimization Inc. AMPL: A Modeling Language for Mathematical Programming.
2. NEOS Server for Optimization. URL: <https://neos-server.org/>
3. Біла Г. Д., Корчинський О. О., Стецюк П. І., Хом'як О. М., Шеховцов С. Б. (2022). Використання NEOS-сервера для розв'язання двох класів оптимізаційних задач. Кібернетика та комп'ютерні технології.

УДК 621.311.25;

ДОСЛІДНА УСТАНОВКА ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ ВИСОКОЇ НАПРУЖЕНОСТІ ТА ПІД РІЗНИМ ОПТИЧНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

Червінський Л.С., Макода О.А.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

У статті описано дослідну установку для вирощування рослин в електричному полі високої напруги та під впливом різних спектрів оптичного випромінювання. Оцінюються впливи на ріст, розвиток та врожайність рослин,

що використовуються в теплицях з високим рівнем енергоефективності. Показано, що комбіноване використання електричних полів та оптимізованого освітлення на основі LED-технологій значно підвищує фотосинтетичну активність рослин та сприяє зниженню витрат на електроенергію.

У агропромисловому виробництві важливим аспектом є створення оптимальних умов для розвитку рослин, що включає використання інноваційних технологій для покращення освітлення та управління мікрокліматом. Традиційні методи освітлення часто не відповідають сучасним вимогам енергоефективності, що створює необхідність для пошуку нових рішень. Одним із таких рішень є використання електричного поля високої напруги в поєднанні з LED-освітленням.

Дослідження проводились за допомогою інтегрованої установки, що включала генератори високої напруги для створення електричного поля та світлодіодні лампи для точного регулювання спектру та інтенсивності світла. За допомогою автоматизованої системи управління вимірювались основні параметри: інтенсивність світла, фотосинтетична активність, ріст рослин, а також споживання електроенергії.

Дослідження показали, що застосування електричного поля високої напруги в поєднанні з різними спектрами оптичного випромінювання значно покращує фотосинтетичну активність рослин. Однак, найбільший ефект спостерігався при застосуванні червоного та синього спектрів світла, що стимулюють відповідно процеси цвітіння та вегетативного росту.

Використання електричних полів та LED-освітлення дозволяє оптимізувати умови для розвитку рослин в теплицях. Різні етапи розвитку рослин вимагають різних спектрів світла, що має велике значення для максимізації ефективності фотосинтезу. Впровадження даної технології дозволяє значно знизити енергоспоживання та підвищити врожайність. Використання високої напруги і точного налаштування спектра світла сприяє сталому розвитку агропромислового виробництва.

Перелік джерел посилань

1. Кирилук, А. І., & Сидоренко, С. С. (2017). Енергоефективність світлодіодних ламп у системах освітлення теплиць. Науковий журнал "Енергоефективність". <https://www.energyjournal.ua>
2. Коваленко, І. В., & Чернявський, О. І. (2019). Оптимізація світлових умов для рослин в закритих приміщеннях. Сучасні проблеми аграрної науки. <https://www.agrovesti.com>
3. Мельник, В. І., & Ткаченко, В. П. (2020). Використання світлодіодного освітлення для покращення фотосинтетичних процесів у теплицях. Агротехніка та енергозбереження в аграрному секторі. <https://www.agrartech.com.ua>
4. Sharma, R., & Chandra, S. (2020). Lighting and Plant Growth: Spectral Effects on Photosynthesis. *Agricultural and Environmental Science Journal*.
5. Chen, L. (2020). Effects of UV and Visible Light on Plant Physiology and Growth. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 10(3), 456-462.

ПІДВИЩЕННЯ УРОЖАЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ

Червінський Л.С., професор

*Національний університет біоресурсів і природокористування України
м. Київ, Україна*

Врожайність сільськогосподарських культур в значній мірі визначається якістю посівного матеріалу, яка залежить від умов формування насіння в період вегетації, своєчасної і якісної підготовки в передпосівний період. Насіння та його якість є найважливішим фактором, що визначає величину врожаю і якість продукції, оскільки воно являється носієм біологічних і смакових якостей майбутньої рослини [2]. В літературі з технології підготовки насіння агроприйом передпосівної обробки різноманітними зовнішніми впливами називають стимуляцією проростання або активацією насіння. За результатами наукових досліджень та виробничих випробувань можна систематизувати методи стимуляції насіння і активації росту в наступну схему [1]. Застосування електротехнологій дозволяє покращити посівні якості насіння та підвищити врожайність сільськогосподарських культур.



Перелік джерел посилань

1. Никифорова Л.С. Огляд існуючих способів підвищення врожайності овочевої продукції в захищеному ґрунті / Л.С. Никифорова. // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. «Проблеми енергозбереження в АПК України». – Х.: ХДТУСГ, 2004. – Вип. 27, Т. 2. – С. 85-89.
2. Стимулятори насіння сільськогосподарських культур: СОУ 29.3-37-433:2006 – К.: Мінагрополітики України, 2007. – 9 с. (Нормативний документ Мінагрополітики України. Загальні технічні вимоги).

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА З ВИКОРИСТАННЯМ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

*Фемяк В.В., магістр, Червінський Л.С., д.т.н., професор
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

Ультразвукова пастеризація – це нетермічна альтернативна технологія, яка використовується для знищення або дезактивації організмів та ферментів, що сприяють псуванню харчових продуктів. Ультразвук можна використовувати для пастеризації консервованих продуктів, молока, молочних продуктів, яєць, соків, напоїв з низьким вмістом алкоголю та інших рідких продуктів. Завдяки низькій температурі обробки поживні речовини та ароматизатори запобігають термічному розкладанню.

Ультразвукова пастеризація викликається в основному впливом акустичної кавітації. Явище акустичної / ультразвукової кавітації відоме своїми локально високими температурами, тиском і відповідними перепадами, які виникають в найдрібніших кавітаційних бульбашках і навколо них.

Так, встановлено, що застосування ультразвуку в технології молока дозволяє підвищити його харчову цінність шляхом обробки ультразвуком. В молоці жир розподілений в вигляді жирових кульок, оточених білковою оболонкою. Розмір жирових кульок коливається від 1 до 5 мкм, при цьому кількість кульок з розміром більше 2 мкм становить більше 50%. Подрібнення жирових кульок молока до менших, ніж в похідному стані, розмірів, майже на третину підвищує харчову цінність молока. Встановлено, що обробка молока ультразвуком при температурі 55-700С, дозволяє отримати більше ніж 80% від загального числа жирових кульок розміром менше 2 мкм. При цьому спостерігається ще один важливий позитивний ефект – пастеризація молока [1]. Проведені дослідження дозволили встановити, що стерилізуюча дія ультразвуку виявляється на частотах 20 кГц та вище при інтенсивності більше ніж 0,5 Вт/см². А оптимальна інтенсивність ультразвукових коливань, які використовують при очищенні поверхонь, складає 3-5 Вт/см² для водних розчинів і 1-3 Вт/см² для органічних розчинників [1].

Перелік джерел посилань

1. Мирошник Д. и др. Вплив ультразвукової кавітації на життєдіяльність мікроорганізмів. Інновації молоді в машинобудуванні. 2020. №. 2. С. 366–370.
2. Misra N. N., Schlüter O., Cullen P. J. (ed.). Cold plasma in food and agriculture: fundamentals and applications. Academic Press, 2016.
3. 3. Ільїн С. В., Іванісова А. П. До питання про вплив ультразвуку на теплообмін. Альманах науки. № 6/1 (27) червень 2019 р. С. 36–38.

ОПТИМІЗАЦІЯ ГІБРИДНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМ ІЗ АДАПТИВНИМ КЕРУВАННЯМ АКУМУЛЯТОРНИМИ БАТАРЕЯМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Вихневич Юрій

м. Київ, Україна

Анотація

Розглянуто метод оптимізації енергоспоживання гібридних систем живлення, які поєднують акумуляторні батареї, відновлювані джерела енергії та резервні генератори. Запропоновано алгоритм адаптивного керування, що динамічно змінює пріоритети джерел енергії залежно від стану батарей, рівня заряду, прогнозу навантаження та зовнішніх умов. Такий підхід забезпечує скорочення витрат палива, зменшення деградації елементів і підвищення стабільності енергопостачання критичних об'єктів.

1. Вступ

Війна в Україні спричинила масштабні руйнування енергетичної інфраструктури, що створило значні ризики для безперервного функціонування телекомунікаційних мереж, енергетичних вузлів і об'єктів критичної інфраструктури. Під час тривалих відключень електроенергії спостерігається збільшення енергоспоживання телекомунікаційних вузлів через необхідність підтримання резервних каналів та охолодження обладнання. Тому актуальною є розробка систем, які автоматично адаптуються до умов експлуатації, мінімізуючи втрати енергії та продовжуючи строк служби акумуляторів.

2. Методика дослідження

Система містить контролер із модулями вимірювання напруги, струму та температури, блок балансування комірок, адаптивний силовий модуль (CC/CV з імпульсним керуванням), термічну підсистему (підігрів при низьких температурах і активне охолодження при перегріві), а також інтерфейси Ethernet, RS-485, CAN, LoRa. Контролер підтримує протоколи Modbus і SNMP, забезпечуючи сумісність із системами моніторингу. Хмарна аналітична платформа використовує MQTT і REST API для збору телеметрії SoC (State of Charge), SoH (State of Health) та ESR (Equivalent Series Resistance). Для моделювання процесів заряджання застосовано MATLAB/Simulink, що дозволило проаналізувати вплив ESR, температури та струму на енергетичну ефективність системи.

3. Результати експериментів

Випробування проводились на трьох телекомунікаційних вузлах у Львівській, Волинській і Київській областях у період з грудня 2024 по березень 2025 року. Середній час переходу системи на автономне живлення становив 18 с, а відновлення заряду до номінального рівня — 120 ± 10 хв. За рахунок адаптивного алгоритму знижено використання дизельного генератора на 32 %, скорочено витрати палива на 28 %, підвищено автономність вузлів на 2–3 год, а кількість виїздів технічного персоналу — на 40 %.

4. Сфера застосування розробки

Розробка призначена для максимально ефективного використання систем резервного живлення та надшвидкого заряду акумуляторних батарей. Вона має потенціал застосування у різних галузях: індустрія, транспорт, житлово-комунальна сфера та технологічна інфраструктура. Система забезпечує стабільне живлення промислових підприємств, швидке заряджання електротранспорту, та безперебійне енергопостачання дата-центрів і телекомунікаційних вузлів.

5. Висновки

Результати підтверджують ефективність інтеграції адаптивного керування батареями в гібридні енергосистеми. Система забезпечує стабільне живлення критичних вузлів, скорочує витрати палива, підвищує автономність і знижує експлуатаційні витрати. Попередній економічний аналіз показує, що зменшення витрат палива на 28 % та скорочення виїздів персоналу на 40 % забезпечує окупність системи (ROI) протягом 1,5–2 років від моменту впровадження.

Перелік джерел посилань

1. Vykhnevych, Y. (2024). Energy Storage and Accumulation Systems under Prolonged Disruptions of Centralized Power Supply. *European Journal of Interdisciplinary Issues*, 1(1), 61–68.
2. Vykhnevych, Y. (2025). System Integration Methods in the Development of a Universal Battery Management Device. Self-published. ISBN 979-8263003500.
3. Keyser, M., et al. (2017). Enabling fast charging – Battery thermal considerations. *Journal of Power Sources*, 367, 228–236.
4. Ghasemkhani, B., et al. (2024). Machine Learning Model Development to Predict Power Outage Duration (POD): A Case Study for Electric Utilities. *Sensors*, 24(13), 4313.
5. Ali, Z. M., et al. (2024). Advancements in Battery Thermal Management for Electric Vehicles: Types, Technologies, and Control Strategies including Deep Learning Methods. *Ain Shams Engineering Journal* (Elsevier).

УДК 621.311.24+004.8

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА ВИКЛИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ MICROGRID СИСТЕМ

Н.М. Білоус, Д.С. Сорокін

¹*Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна, тел.: (068) 418-77-21 e-mail: nazar.bilous@nubip.edu.ua*

Ключові слова: *MicroGrid, інтелектуальне управління, децентралізована енергетика, штучний інтелект, цифрові двійники, відновлювана енергія, енергетична автономність.*

У контексті глобального переходу до стійкої енергетики та зростання ролі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), MicroGrid системи (мікромережі) виступають як перспективне рішення для забезпечення надійного та ефективного енергопостачання. MicroGrid — це локальна енергосистема, яка

об'єднує різні джерела генерації, накопичувачі енергії, навантаження та елементи управління, здатна працювати як у зв'язаному режимі з основною мережею, так і автономно. Завдяки цьому MicroGrid може забезпечувати енергетичну автономність окремих об'єктів або навіть цілих громад.

Інтелектуальні системи управління (ІСУ) відіграють ключову роль в ефективному функціонуванні MicroGrid, забезпечуючи адаптацію до динамічних змін у споживанні, генерації, цінах на електроенергію та інших важливих параметрах. Застосування штучного інтелекту (ШІ), машинного навчання, цифрових двійників та Інтернету речей (ІоТ) є основою для оптимізації процесів виробництва, зберігання та споживання енергії в таких системах. Інтелектуальне управління, як ключова складова сучасної MicroGrid, дозволяє не лише гнучко реагувати на зміни умов та оптимізувати розподіл ресурсів, але й забезпечувати балансування навантаження, прогнозувати виробництво та споживання енергії, а також ефективно інтегрувати нові джерела генерації, значно підвищуючи загальну ефективність та надійність MicroGrid.

Однак, попри перспективи, впровадження інтелектуального управління стикається з низкою технічних, інфраструктурних та економічних викликів, що потребують системного аналізу та нових підходів до розробки управлінських моделей.

Упродовж останніх років спостерігається активна трансформація енергетичного сектору, в основі якої лежать принципи децентралізації, цифровізації та інтеграції інтелектуальних технологій. MicroGrid системи є ключовим елементом цього процесу, забезпечуючи гнучкість та адаптивність для задоволення нових вимог і потреб.

Впровадження цифрових платформ для моніторингу, аналітики та управління мікромережею, а також інтелектуальних алгоритмів на основі великих даних, сприяє прогнозуванню навантаження, генерації від ВДЕ та оптимізації роботи обладнання, що не лише автоматизує процеси керування та знижує витрати на обслуговування, але й значно підвищує загальну ефективність мікромережі. Завдяки цифровізації можливе:

- оперативне збирання й аналіз даних з численних сенсорів;
- прогнозування генерації й споживання енергії;
- виявлення та реагування на аварійні ситуації в режимі реального часу.

Однією з головних проблем є забезпечення стабільності роботи MicroGrid в умовах змінних режимів генерації та навантаження. Координація різнорідних джерел енергії вимагає складних механізмів синхронізації. Ефективне прогнозування споживання і виробітку енергії потребує якісних даних і вдосконалених моделей машинного навчання. Адаптивність до зовнішніх змін (відмови обладнання, погодні коливання, зміни тарифів) також ставить високі вимоги до систем самонавчання та обчислювальних ресурсів.

Перелік використаних джерел

1. Каплун В. В., Заблудський М. М., Троханяк В. І., Шворов С. А., Радько І. П., Станиціна В. В., Нечаєва Т. П., Тесленко О. І., Макаревич С. С., Сорокін Д. С., Ковальчук С. І., Горський В. В., Якименко І. Ю. Формування технологічних структур енергонезалежних громад : монографія / за заг. ред. В. В. Каплуна / Національний університет біоресурсів і природокористування України ; Інститут загальної енергетики НАН України. – Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2024. – 312 с.

2. І.В. Касаткіна, С.М. Бойко, О.А. Жуков. Інтелектуальні системи електропостачання: навч. посіб. Варшава: iScience Sp. z o. o, 2023. – 151 с.

3. С.П. Денисюк, Р. Стшелецькі. Smart grid системи та технології. *Енергетика: економіка, технології, екологія № 3* : наук.журнал. Київ, 2019. – С. 7-22

4. Стаднік М., Штуць А., Колісник М., Григоренко Н. Застосування інтелектуальних систем для підвищення надійності та ефективності функціонування електроенергетичних мереж. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. Том 347 № 1. 2025. - С. 291–299

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-347-38>.

5. Smart Grids and Microgrids / eds. Prajof Prabhakaran, S. Mohan Krishna, J. L. Febin Daya, Umashankar Subramaniam, P. V. Brijesh. – Hoboken: Wiley, 2022. – 584 p.

УДК 628.385

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАМКНЕНИХ ЕКОЛОГО-БІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ В ТВАРИННИЦТВІ

Чміль А.І., д.т.н., професор

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Взаємовідносини людини з природою в процесі виробництва різко ускладнюються. Безперервно зростаючий обмін речовин та енергії, що виявляється в розширеному використанні природних ресурсів і збільшенні тваринницьких та інших видів відходів, які повертаються в навколишнє середовище, різко підсилює загальну дію сільськогосподарського виробництва на природу. Здатність же природи до природного відтворення інтенсивно використовуваних ресурсів та самоочищення від забруднення є обмеженою. Тому проблема попередження забруднення природного середовища тваринницькими відходами визначає необхідність створення замкнених еколого-біотехнічних систем.

Виходячи з екологічних, енергетичних та санітарно-ветеринарних вимогами розроблено інтегровану енергозберігаючу і природоохоронну технологію утилізації органічної маси тваринницьких комплексів [1].

Суть замкненої системи полягає в комбінованій біоконверсії органічних відходів у три етапи, шляхом передачі відходів одного технологічного модуля іншому, для якого відходи служать сировиною, з метою отримання добрив, кормів і палива, інтенсифікації процесу біодеградації, повної утилізації мінеральних речовин, що знаходяться у відходах, захисту навколишнього природного середовища та попередження поширення епідемій.

Формально задачу можна сформулювати таким чином: є множина {О} тваринницьких відходів і множина {Т} технологій, що обробляють {О}, у

результаті чого утворюються множина $\{PP\}$ продуктів і множина $\{S\}$ відходів, що відповідає множині $\{G\}$ обмежень.

Обмеженнями є види відходів $(O_1, \dots, O_n) \in O$, які можна обробляти за деякою множиною $(T_1, \dots, T_n) \in T$ технологій з отриманням $(PP_1, \dots, PP_n) \in PP$ продуктів і $(S_1, \dots, S_l) \in S$ відходів.

Ставиться задача визначення вектора (T_1, \dots, T_n) керуючих дій, який формує вектор $\{S\}$, елементи якого належать множині $\{O\}$ при дотриманні $\{G\}$ обмежень.

Перелік джерел посилань

1. Чміль А.І. Енергетична ефективність і екологічна безпека замкнених еколого-біотехнічних систем в тваринництві/ А.І. Чміль: Монографія. – К.: ЦК «Компринт», 2015. – 163 с.

УДК 621.3

УНІВЕРСАЛЬНІ МОДУЛІ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Разінков В. О.¹, Ph.D, старший викладач, Коваленко Н. М.², викладач вищої категорії

¹Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна

²ВСП Новокаховський політехнічний фаховий коледж «Одеської політехніки»

Проблема оптимізації режимів роботи електроенергетичних систем шляхом вирівнювання графіків навантаження залишається однією з найважливіших у світовій енергетиці. Сучасний етап її розвитку характеризується двома ключовими тенденціями: стрімким зростанням частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), зокрема сонячної та вітрової генерації, та переходом до децентралізованих, розподілених енергосистем. Як зазначають дослідники з Массачусетського технологічного інституту у своїй роботі, інтеграція значних обсягів стохастичних ВДЕ неможлива без розгортання масштабних систем накопичення електроенергії, які виконують функції буферизації та підвищення гнучкості системи [1].

Сьогодення української енергосистеми яскраво демонструє ці глобальні виклики. Згідно з даними Оператора ринку електроенергії України, влітку 2025 року в обідні години спостерігалися ціни на електроенергію на рівні 10-100 грн/МВт·год, тоді як у вечірній пік вони регулярно перевищували 9000 грн/МВт·год. Така розбіжність в ціні зумовлена надлишком сонячної генерації в денний час та різким зростанням споживання ввечері, створює ідеальні економічні умови для арбітражу – технології, коли енергія купується за низькою ціною, накопичується та продається за високою. Саме на цьому принципі базується пропонування концепція універсального модуля накопичення (УМН).

Теоретичним підґрунтям для таких рішень слугують роботи Міжнародного енергетичного агентства, зокрема звіт «Energy Storage» [3], де наголошується, що майбутнє за гібридними модульними системами, які можуть одночасно вирішувати кілька завдань від стабілізації мережі до забезпечення резервного

живлення. Пропонована концепція УМН розвиває цю ідею, пропонуючи стандартизований комплекс на базі літій-залізо-фосфатних акумуляторів та гібридних інверторів, здатних до функціонування в кількох ключових режимах.

По-перше, це режим арбітражу в парі з сонячними електростанціями. Модуль акумулює надлишкову енергію СЕС у денний час і віддає її в мережу під час вечірнього піку. Ефективність такої моделі підтверджується досвідом, описаним у науковій статті «Economic viability of battery storage system based on price arbitrage» [5], де детально розглянуто алгоритми оптимізації моментів заряду та розряду для максимізації прибутку.

По-друге, УМН може ефективно інтегруватися з зарядними станціями для електромобілів. Проблема одночасного підключення великої кількості електромобілів до мережі ввечері створює серйозне додаткове навантаження, що може призвести до перевантаження розподільчих трансформаторів. Дослідження, представлене Національною лабораторією Лоуренса Берклі у звіті «Load balancing with energy storage systems in electric vehicle charging stations», показує, що накопичувачі можуть урівноважити це навантаження, заряджаючись у нічний час або від місцевих СЕС, і віддаючи потужність для швидкої зарядки автомобілів у пікові години, не перевантажуючи мережу.

По-третє, УМН виконує функцію вирівнювання графіка навантаження в розподільчих мережах. Встановлений у критичних точках, наприклад, в кінці лінії електропередач, модуль дозволяє створити ефект джерела живлення, зменшуючи струмове навантаження на кабелі та трансформатори. Ця концепція, відома як «*deferral of grid upgrades*», детально проаналізована у звіті Європейської технологічної та інноваційної платформи з накопичення енергії (EASE) та Європейської комісії «*Energy storage: A key enabler for the decarbonisation of the EU energy system*» [6]. Використання накопичувачів для відстрочення витратних модернізацій мережі є одним з найбільш економічно обґрунтованих сценаріїв їх застосування.

Запропонована концепція універсального модуля накопичення електричної енергії має достатнє науково-практичне підґрунтя, вона інтегрує низку апробованих у світовій практиці підходів, зокрема ціновий арбітраж, розвантаження мережевої інфраструктури та конвергенцію енергетичного і транспортного секторів. Незважаючи на існування технологічних обмежень, зокрема обмежений життєвий цикл акумуляторних батарей, впровадження даних модулів становить стратегічний напрям для посилення стійкості, адаптивності та економічної ефективності національної енергосистеми в контексті її структурної трансформації та децентралізації.

Перелік джерел посилання

1. Massachusetts Institute of Technology. (2022). The Future of Energy Storage. MIT Energy Initiative. URL: <https://energy.mit.edu/research/future-of-energy-storage/>
2. Оператор ринку електроенергії України «ЕНЕРГОРИНОК». Офіційний веб-сайт. URL: <https://www.oree.com.ua/>
3. International Energy Agency. (2022). Energy Storage. IEA. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-storage>

4. Nyamdash, B., Denny, E., & O'Malley, M. (2010). The viability of energy storage systems in electricity markets. *Applied Energy*, 87(6), 1879-1891. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261919317342>

5. Fitzgerald, G., Mandel, J., Morris, J., & Touati, H. (2015). The Economics of Battery Energy Storage: How multi-use, customer-sited batteries deliver the most services and value to customers and the grid. Rocky Mountain Institute. URL: <https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/03/RMI-TheEconomicsOfBatteryEnergyStorage-FullReport-FINAL.pdf>

6. European Association for Storage of Energy & European Commission. (2021). Energy storage: A key enabler for the decarbonisation of the EU energy system. Publications Office of the European Union. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/59e803e8-7cef-11eb-9ac9-01aa75ed71a1>

УДК 535.372; 538.9

АМОРФНІ ОКСИДНІ СТЕКЛА, ЩО МІСТЯТЬ ЄВРОПІЙ (III) ЯК ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ КОНЦЕНТРАТОРИ ДЛЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Теребленко К.В., д.х.н.доцент; Слободяник М. С., д.х.н., проф; Сасенко Л.Д., студ.; Зозуля В.О.², Ph D, м.н.с.

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
м. Київ, Україна*

Одним із шляхів покращення ефективності сонячних панелей є модифікація кремнієвих пластин конвертуючим склом на основі оксидів перехідних елементів [1]. До таких матеріалів висувається ряд вимог, що включають термічну стійкість, стійкість до вологи та температурних перепадів та стабільність аморфної складової системи [2]. Особливу увагу приділено вибору складу, який би забезпечував одночасно високу оптичну прозорість і ефективне поглинання ультрафіолетової частини спектра. Розроблення таких матеріалів дозволяє не лише підвищити коефіцієнт корисної дії сонячних елементів, а й збільшити їхній термін експлуатації.

Для досягнення поставлених задач в роботі запропоновано використання аморфних систем, до складу яких введено два склотвірних агенти: оксид фосфору та бору, а в якості модифікаторів MoO_3 , WO_3 , Eu_2O_3 , V_2O_5 , K_2O та Na_2O . Використання такого люмінесцентного концентратора, який поглинає сонячне світло у діапазоні 250–450 нм за рахунок збудження люмінесценції в йоні європію(III) та перетворює його в більш довгохвильове випромінювання.

В роботі аналізуються результати дослідження процесів склоутворення у високотемпературних розплавах, де йон європію(III) знаходиться в межах концентрацій 0,5–1,5 % мол., а ефективно конвертування реалізується завдяки сенсibiliзуючій ролі оксидів перехідних елементів. Наявність фосфатних, боратних, молібдатних та вольфраматних груп у склі підтверджено ІЧ- та КР-спектроскопією, а також іонів Eu^{3+} у кристалі, що забезпечує інтенсивне поглинання в області 250–450 нм та випромінювання в області 580–740 нм.

Отримані закономірності дозволяють виділити оптимальний вміст

перехідних елементів та активаторів у склі, що задовольняють вимоги, висунуті до конвертуючого скла як концентратора сонячних панелей.

Перелік джерел посилань

1. Dhilipan J., Vijayalakshmi N., Shanmugam D. B., et al. Performance and efficiency of different types of solar cell material—A review. Mater Today Proc. 2022;66:1295–1302.
2. Terebilenko K. V., Chornii V. P., Zozulia V. O., et al. Crystal growth, layered structure and luminescence properties of $K_2Eu(PO_4)(WO_4)$. RSC Adv. 2022;12(15):8901–8907.

УДК: 621.3

ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ ПРИСТРІЙ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

*Клендій П.Б., к.т.н., доцент; Подобайло В.Г., к.т.н., доцент
Західноукраїнський національний університет
Тернопіль, Україна*

Процес виробництва біогазу оснований на зброджуванні біомаси, тобто розкладання її різними групами бактерій. На життєдіяльність бактерій, які беруть участь при виробництві біогазу, як і на більшість живих організмів, значно впливає середовище їх перебування. Для підвищення ефективності біогазових установок застосовують додавання спеціальних ензимів, підтримування відповідного теплового режиму і перемішування, однак останні вимагають суттєвих витрат енергії, що підвищує собівартість такого виробництва.

Під впливом низькочастотного електромагнітного поля у процесах анаеробної ферментації спостерігається збільшення інтенсивності виходу біогазу та біометану в міру споживання субстрату відповідно в 1,5 та 1,7 рази, частка біометану у складі біогазу збільшується на 5 % порівняно з контрольним зразком; Крім того, відзначено значне збільшення інтенсивності в початковий період ферментації [1]. У діапазоні 2-6,5 мТл колонієутворююча здатність збільшується практично для всіх бактеріальних клітин, що пов'язано, ймовірно, із впливом зовнішнього магнітного поля на внутрішньоклітинні ферментативні іон-радикальні процеси [2]. Виходячи з вище сказаного потрібна технічна система, яка об'єднує електромеханічну, механічну і теплові підсистеми, джерела електромагнітного поля для реалізації інтегральної цільової функції за сукупності функціональних ознак приводного двигуна.

Структура, функції і вихідні параметри поліфункціонального електромеханічного пристрою (ПЕМП) визначаються технологічним процесом і загальною технічною системою, що реалізовує цей процес. Логічну схему формування можна представити у вигляді такої послідовності: вибір технологічних режимів; вибір загальної конструкції і структури підсистем ПЕМП; розрахунки (тепловий, електромагнітний, гідродинамічний і ін.) ПЕМП; розрахунок технологічних показників ефективності кожній з підсистем і ПЕМП в цілому.

Перелік джерел посилань

1. The Influence of a Rotating Magnetic Field on the Intensity of Methane Formation in a Bioreactor. Mykola Zablodskiy, Petr Klendiy and Volodymyr Gritsyuk. 2019 IEEE 3rd International Conference on electronics and nanotechnology.
2. Methods and means of increasing the efficiency of biogas installations. Zablodskiy M.M., Klendiy P.B., Shvorow S.A., Dudar O.P. Lambert Publishing , Riga 2022. 212с

УДК: 621.3

СТАТИСТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІННОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

*Мейш Ю.А., д.т.н., професор, Гозуля Т.А., студент ТЕ-250016
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

Актуальність та виклики відновлюваної енергетики. Глобальний енергетичний ландшафт стрімко змінюється, адже під впливом загроз зміни клімату та потреби в екологічно орієнтованому економічному розвитку відбувається прискорений перехід до сталих джерел енергії. Сонячна, вітрова та гідроенергетика стають дедалі привабливішими для інвестицій завдяки нижчій собівартості та значним екологічним перевагам порівняно з традиційними викопними паливами. Однак, незважаючи на ці переваги, їхня природна мінливість і пряма залежність від погодних умов створюють серйозні труднощі для стабільного та надійного функціонування енергомереж. Саме тому точне прогнозування виробництва відновлюваної енергії є абсолютно ключовим завданням для успішної інтеграції цих джерел, підтримання необхідного балансу між попитом і пропозицією, а також мінімізації ризиків дефіциту чи надлишку енергії.

Основи прогнозування на основі даних. Сучасні методи прогнозування значною мірою ґрунтуються на статистичних даних, які відображають історичні тренди, метеорологічні умови, а також технічні параметри виробничих об'єктів. Аналіз таких даних дозволяє операторам енергомереж оцінювати майбутній виробіток енергії. Наприклад, для прогнозування сонячної генерації критично важливими є дані про інсоляцію, температуру та сезонність, тоді як для вітрової генерації враховуються швидкість вітру, характеристики турбін і топографія місцевості. Ця інформація є критично важливою, оскільки допомагає забезпечувати безперебійну роботу енергомережі.

Для досягнення високої точності сучасні моделі машинного навчання вимагають формування великих, багаторічних баз даних. Ці бази включають не лише обсяги щоденного виробництва та погодні умови, але й технічні характеристики станцій та ринкові ціни на електроенергію. Проаналізувавши такий об'ємний набір даних, моделі отримують здатність передбачати виробництво сонячної та вітрової енергії як на локальному, так і на національному рівнях. Як приклад, модель може прогнозувати виробіток

вітрової генерації в певному регіоні, спираючись на багаторічні дані про напрям вітрових потоків і технічний стан турбін.

Передові статистичні та ML-підходи. Одним із найефективніших напрямів сучасного прогнозування є застосування моделей машинного навчання (МН), які здатні працювати з просторово деталізованими погодними даними. Для обробки цих складних просторових метеоданих використовуються різноманітні підходи. Просторове усереднення допомагає спростити дані, згладжуючи локальні коливання. Аналіз головних компонент (зменшення розмірності) дозволяє визначити ключові фактори, що найбільше впливають на виробництво енергії. Крім того, архітектури комп'ютерного зору можуть інтерпретувати погодні карти як зображення, розпізнаючи складні закономірності, які можуть бути недоступні традиційним статистичним методам.

При цьому, нейронні мережі часто демонструють вищу точність прогнозів порівняно з класичними статистичними моделями, особливо в умовах зростання потужностей відновлюваних джерел. Якість та ефективність цих моделей оцінюється за метриками, зокрема за нормалізованою середньоквадратичною похибкою (nRMSE), яка показує різницю між реальним і прогнозованим виробітком; низькі значення nRMSE свідчать про високу точність моделі.

Окрім складних алгоритмів МН, традиційні статистичні методи залишаються важливими, оскільки дають змогу будувати надійні моделі незалежно від складності даних. Однією з передових моделей у цій сфері є динамічна накопичувальна сіра сезонна модель. Ця модель є високо ефективною, оскільки вона автоматично визначає оптимальний ступінь накопичення на основі структури часового ряду, а також включає сезонні та трендові компоненти, що дозволяє їй точно відображати періодичні коливання у виробництві енергії. У низці досліджень було доведено її високу ефективність у прогнозуванні середньострокового й довгострокового виробництва, зокрема, сонячної та вітрової генерації.

Перспективи та напрямки розвитку.

Перспективи подальших досліджень включають розвиток гібридних методів, які поєднують сильні сторони як статистичних моделей, так і алгоритмів машинного навчання. Такий підхід має потенціал суттєво підвищити точність прогнозів у різних регіонах та часових горизонтах. Крім того, перспективним є використання трансферного навчання, яке дозволяє застосовувати знання, набуті моделлю в одному регіоні, для прогнозування в іншому, схожому за кліматичними умовами.

Узагальнюючи, точні та надійні методи прогнозування є необхідною передумовою для сучасного розвитку відновлюваної енергетики. Поєднання статистичних моделей та алгоритмів машинного навчання вже сьогодні демонструє значний потенціал для подолання викликів, пов'язаних із мінливістю цих джерел. Подальше вдосконалення моделей, підвищення якості даних та впровадження інноваційних підходів, таких як гібридні моделі та трансферне навчання, сприятимуть побудові більш стабільної, ефективною та екологічно безпечною енергетичною системи.

Перелік джерел посилань

1. Benti, N., Chaka, M., & Semie, A. (2023). Forecasting Renewable Energy Generation with Machine Learning and Deep Learning: Current Advances and Future Prospects. *Sustainability*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/su15097087>
2. IRENA (2020). Innovation landscape brief: Advanced forecasting of variable renewable power generation. International Renewable Energy Agency. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Advanced_weather_forecasting_2020.pdf?la=en&hash=8384431B56569C0D8786C9A4FDD56864443D10AF

СЕКЦІЯ 3. ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ

УДК 621.313.13

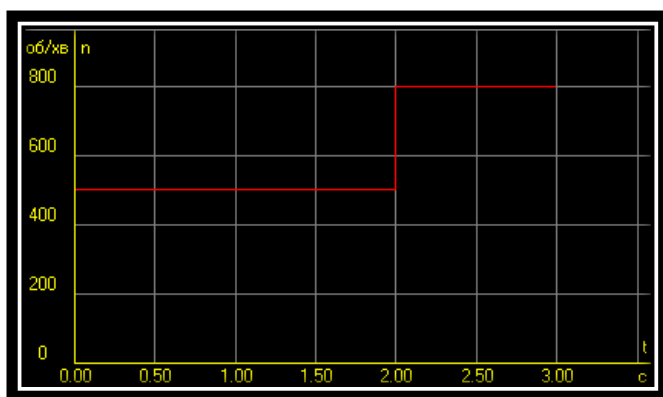
МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА В ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ СИСТЕМ ПОДАВАННЯ ПОВІТРЯ ПРИ СПАЛЮВАННІ ВУГЛЕВОДНЕВОЇ СУМІШІ

*Генералов Б.М.; Заблодський М.М. д.т.н., професор
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

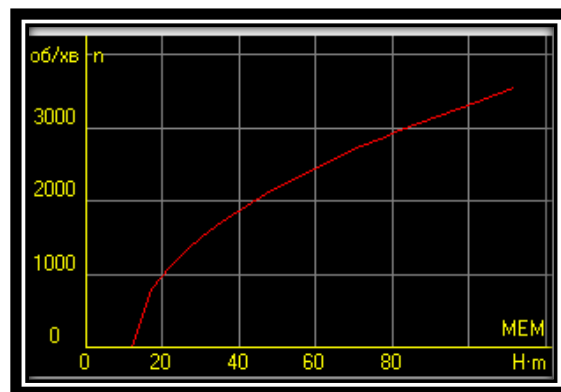
Під час посилення вимог до енергоефективності та екологічної безпеки процесів спалювання вуглеводневого палива, пошук методів інтенсифікації горіння та зниження шкідливих викидів є актуальною задачею. Подавання повітряного окислювача (кисню) в камеру спалювання є важливим процесом, оскільки співвідношення палива до окисника є визначальним фактором, що впливає на повноту згоряння, температуру полум'я та, особливо, на рівень емісії. Ефективне застосування електричного ковзного розряду часто спрямоване на ініціювання та стабілізацію горіння саме в бідних вуглеводневих сумішах, де досягти сталого полум'я традиційними методами вкрай складно. Це, в свою чергу, висуває жорсткі вимоги до системи регулювання подачі окисника для забезпечення стабільних та контрольованих умов експерименту [1]. Отже, інженерний розрахунок та підбір двигуна в частотно-регульованому електроприводі вентиляторної установки, здатної забезпечити необхідну продуктивність та тиск для подолання аеродинамічного опору тракту камери згоряння при різних режимах з урахуванням можливостей промислового масштабування, є невід'ємним підготовчим етапом для коректного проведення даного дослідження.

За допомогою програмного забезпечення DIMASDrive [2,3] було здійснено моделювання і аналіз роботи асинхронного двигуна 4A160M8 в частотно-регульованому електроприводі при різних налаштуваннях перетворювача для вентиляторного навантаження. В системі використовувався напівпровідниковий перетворювач частоти з широтно-імпульсною модуляцією. До налаштувань перетворювача відносяться закон частотного керування, налаштування базового значення частоті перетворювача, введення бустерної напруги. Послідовно проаналізовані характеристики двигуна при завдані вищезгаданих налаштувань. Для цього усі потрібні характеристики повинні бути відображені попарно з базовим варіантом при тих чи інших налаштуваннях

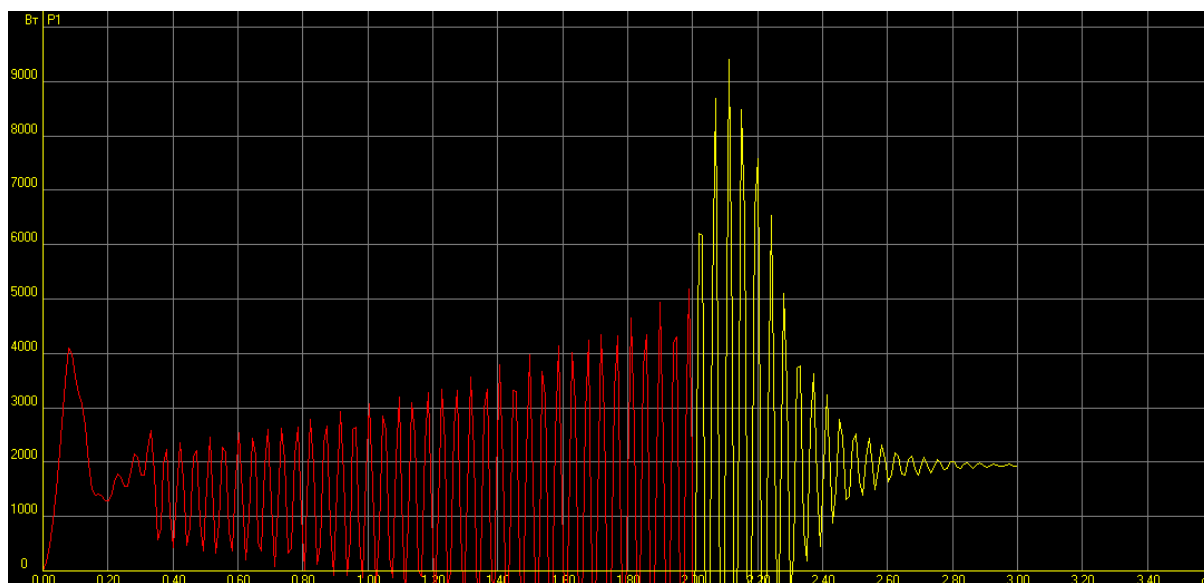
На рисунку представлені деякі результати моделювання. Аналіз роботи пов'язано з отриманням регульовальних характеристик, а саме: залежностей електричних, енергетичних, механічних, теплових, віброакустичних показників від частоти обертання при роботі електропривода на певне за характером та величиною навантаження.



а)



б)



в)

Рисунок: а – тахограма при змінах режиму; б – механічна характеристика; в – перехідний процес щодо споживаної потужності при змінах режиму

Отримані значення основних критеріїв при заданому діапазоні регулювання або тахограми із визначеними тривалостями роботи на конкретних частотах обертання. До основних критеріїв роботи двигуна віднесені ККД та коефіцієнт потужності, а також зведені витрати АД та усього електроприводу.

Перелік джерел посилань

1. Zablodskiy, N., Kovalchuk, O., Kovalchuk, S., & Nasieka, I. (2024, December). Numerical Modeling and Investigation of Streamer Breakdown in a Coaxial Plasma Torch Based on Townsend Processes. In 2024 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET) (pp. 1-5). IEEE.
2. Петрушин В.С., Рябінін С.В., Якимець А.М. Програмний продукт "DIMASDrive". Програма аналізу роботи, вибору та проектування асинхронних короткозамкнених двигунів систем регульованого електроприводу (свідцтво про реєстрацію програми ПА №4065).
3. https://library.kpi.kharkov.ua/files/JUR/ee_2016_4.pdf

STRAINS in SiO₂, CONCRETES, NANOCOMPOSITES of MULTIWALLED CARBON NANOTUBES and POLYMERS, SCIENTIFIC and TECHNICAL PRINCIPLES of ENSURING the SUSTAINABILITY of LAND RECLAMATION HYDROTECHNICAL STRUCTURES in the CONDITIONS of CLIMATIC and ANTHROPOGENIC CHALLENGES

Ilyin P. P.¹, Ph.D., Assistant Professor; Onanko Y. A.², Ph.D., Senior Researcher; Kuzmych L. V.², Sc.D., Professor; Yatsiuk M. V.², Sc.D., Professor; Voropai G. V.², Sc.D., Professor; Kuzmych S. A.², Postgraduate; Onanko A. P.³, Ph.D., Senior Researcher; Dmytrenko O. P.³, Sc.D., Professor; Kulish M. P.³, Sc.D., Professor, Naumenko A. P.³, Ph.D., Senior Researcher; Pinchuk-Rugal T. M.³, Ph.D.; Rugal A. G.³, Engineer; Pavlenko O. L.³, Sc.D., Professor; Busko T. O.³, Ph.D.; Popov S. A.³, Ph.D., Head of laboratory; Gaponov A. M.³, Ph.D.; Kurochka L. I.³, Head of laboratory

¹National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine, Kyiv, Ukraine ²Institute of Water Problems and Land Reclamation NAASU, Kyiv, Ukraine ³Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Results and discussion

Strains in SiO₂, radiation and structural functionalized nanocomposites of multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs) and polymers: polyamide-6 (NH(CH₂)₅CO)_n in Fig. 1, polyvinylchloride (C₂H₃Cl)_n, polyethylene (C₂H₄)_n were researched.

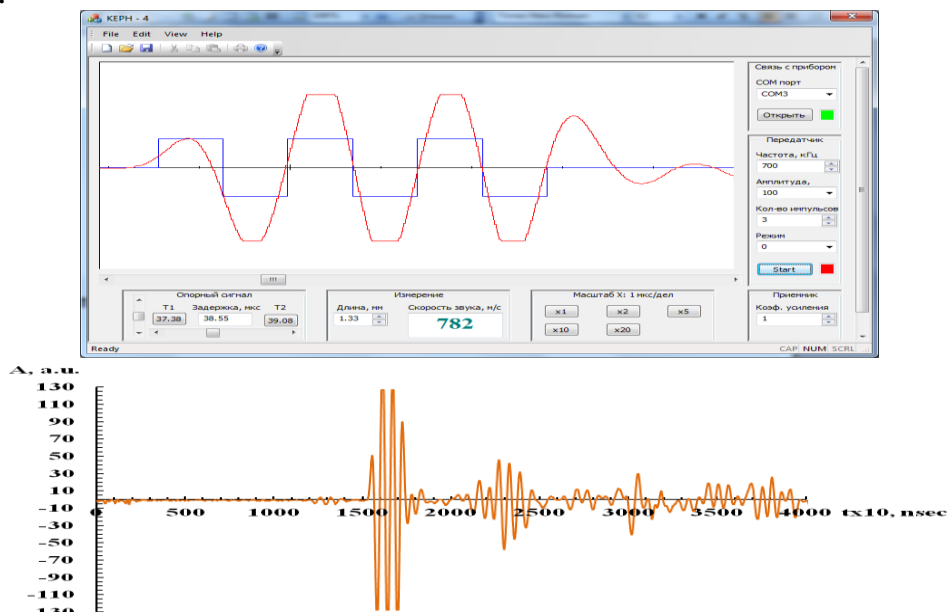


Fig. 1 - Illustration of the window for processing data of quasitransversal elastic waves velocity measuring $V_{\perp} = 782$ m/sec in nanocomposite polyamide -6 (NH(CH₂)₅CO)_n + 0,1% MWCNTs by impulse phase ultrasonic (US) method at frequency $f_{\perp} \approx 0,7$ MHz after electron irradiation with dose $D_e \approx 20$ Mrad with energy $E_e \approx 2.0$ MeV.

Logarithmic decrement of attenuation $\delta = \ln \left(\frac{A_{n+1}}{A_n} \right) = \ln \left(\frac{127}{90} \right) \approx (3,44 \pm 0,1) \times 10^{-1}$

Illustration of the window for processing data of quasilongitudinal elastic waves velocity measuring $V_{\parallel} = 2585 \pm 10$ m/sec in concrete ZSh-14p by pulse-phase US method at frequency $f_{\parallel} \approx 1$ MHz [1,2] is represented in Fig. 2.

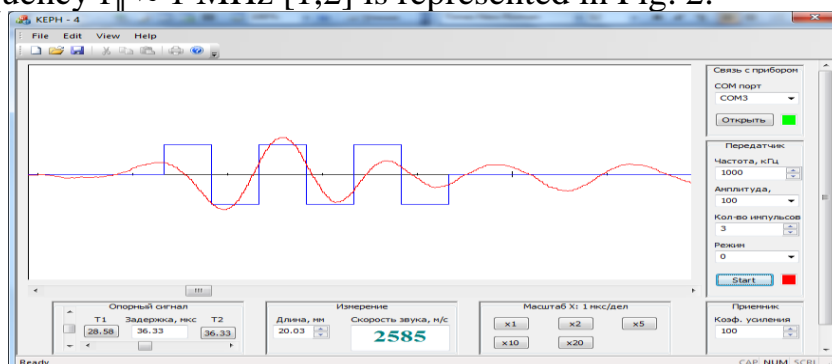


Fig. 2 - Illustration of the window for processing data of quasilongitudinal elastic waves velocity measuring $V_{\parallel} = 2585$ m/sec in concrete ZSh-14p by pulse-phase US method at frequency $f_{\parallel} \approx 1$ MHz

Conclusions

1. After electron irradiation with dose $D_e \approx 20$ Mrad with energy $E_e \approx 2.0$ MeV the presence of the strong interaction for nanocomposites between multiwalled carbon nanotubes and polymers was confirmed by mechanical studies.

2. After electron irradiation the value of internal friction background Q^{-1}_0 after mechanical treatments, temperature describes the changes of the elastic stress σ_i fields in SiO_2 , concrete, nanocomposite.

Acknowledgements

This work has been supported by Ministry of Education and Science of Ukraine: Grant of the Ministry of Education and Science of Ukraine for perspective development of a scientific direction "Mathematical sciences and natural sciences" at Taras Shevchenko National University of Kyiv.

References

1. Onanko Y. A., Kuzmych L. V., Onanko A. P. et al. Influence of irradiation on indicatory surface of anelastic-elastic body of AgZn alloy. (Q2)Materials Research Express. 2025; 12(1): 016516(8).
DOI: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2053-1591/adabbc>
2. Onanko Y. A., Kuzmych L. V., Onanko A. P. et al. Indicatory surface of anelastic-elastic properties of Ti alloys. (Q2)Materials Research Express. 2023; 10(10): 106511(7).
DOI: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2053-1591/acfecc>

УДК 621.313.333:681.518

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ І ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПОТУЖНІСТЮ ДО 20 кВт

*Окушко О.В., к.т.н, доцент, Кудрук Д.Р., магістр
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

Електродвигуни потужністю до 20 кВт широко застосовуються у

промислових, транспортних, сільськогосподарських та побутових установках. Вони є ключовими споживачами електроенергії в більшості технологічних процесів. Від їхньої надійності та енергоефективності залежить стабільність виробництва, собівартість продукції, а також енергетична безпека підприємства.

Однак статистика свідчить, що понад 40 % відмов електродвигунів відбуваються через несвоєчасне виявлення несправностей або неадекватне технічне обслуговування. Тому актуальним завданням є підвищення ефективності систем моніторингу та прогнозування стану електродвигунів, зокрема малопотужних (до 20 кВт), які зазвичай не оснащені складними засобами діагностики через економічні причини.

Традиційно технічне обслуговування електродвигунів виконується за планово-попереджувальним принципом або після виникнення відмови. Такий підхід не враховує реальний технічний стан двигуна, що призводить або до надлишкових витрат на обслуговування, або до незапланованих простоїв.

Системи моніторингу, що застосовуються для великих електродвигунів (понад 100 кВт), зазвичай базуються на складних і дорогих сенсорних комплексах, SCADA/АСУТП, а також методах спектрального аналізу вібрацій та струмів. Для малопотужних машин подібні рішення є економічно невиправданими.

Отже, постає завдання розробки більш доступних і простих систем моніторингу для двигунів малої потужності, які можуть забезпечити достатню точність прогнозування стану без суттєвого зростання вартості обслуговування.

Найпоширенішими відмовами є: пошкодження підшипників (до 40 % випадків), міжвиткові замикання в обмотках статора (20 – 25 %), несправності ротора (злам стрижнів клітки, ексцентриситет), порушення балансу або вібраційні дефекти, перегрів і старіння ізоляції тощо.

Для виявлення таких дефектів використовуються різні діагностичні параметри – вібрація, температура обмоток і підшипників, споживаний струм і його гармоніки, зміна швидкості обертання тощо.

Нами пропонується побудова інтелектуальної системи моніторингу, яка б поєднувала апаратну частину (сенсорний модуль) і програмну (аналітичну) частину. Так, наприклад, апаратна складова містить в собі датчики вібрації, датчики температури, датчики струму, мікроконтролер для збору та попередньої обробки сигналів та інтерфейс для передачі даних. При цьому програмна складова повинна містити алгоритми аналізу сигналів у часовій та частотній областях, методи статистичного аналізу трендів, машинне навчання для прогнозування стану та хмарне або локальне сховище для накопичення історії параметрів. Таким чином, система має забезпечувати безперервний моніторинг, автоматичне виявлення аномалій та прогнозування залишкового ресурсу двигуна.

Висновки

1. Електродвигуни потужністю до 20 кВт становлять значну частку промислового електроприводу, тому підвищення ефективності їхнього моніторингу є важливою складовою енергоменеджменту підприємств.

2. Запропонована система моніторингу забезпечує баланс між функціональністю, точністю та вартістю, що робить її придатною для широкого впровадження.

3. Використання інтелектуальних алгоритмів дозволяє прогнозувати відмови заздалегідь, підвищуючи надійність обладнання та знижуючи експлуатаційні витрати.

Перелік використаних джерел

1. Melo, J. J. R., Ishraque, M. F., Shafiullah, G. M., & Shezan, S. A. (2023). Centralized monitoring of a cost-efficient PLC-SCADA based islanded microgrid considering dispatch techniques. *The Journal of Engineering*, 2023(8), 1–11. <https://doi.org/10.1049/tje2.12293>

2. Іноземцев Г. Б., Окушко О. В., Козирський В. В. Енергозбереження в системах електропостачання сільського господарства: навч. посіб. / за ред. Г. Б. Іноземцева. – Київ: ЦП «Компринт», 2015. – 151 с.

3. Денисюк, С. П., & Бойко, І. Ю. (2021). Підвищення енергоефективності Microgrid з дизель-генераторами. *Енергетика: економіка, технології, екологія*, 2, <https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2021.247354>

4. Nalyvaiko, V., Radko, I., Okushko, O., Bereziuk, A., Antypov, I., & Mrachkovska, N. (2023). Research of roof solar power plant in hot water supply installations. *Przegląd Elektrotechniczny*, 99(4), 98–101. <https://doi.org/10.15199/48.2023.04.17>

5. Радько І. П., Лут М. Т., Наливайко В. А., Окушко О. В. Розробка проекту теплового пункту навчального корпусу НУБіП України // *Енергетика і автоматика*. – 2021. – С. 86–94.

УДК 621.3.066.5/6:636

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ КОНТАКТНИХ ВУЗЛІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПУСКАЧІВ 1 ВЕЛИЧИНИ

*Коробський В. В., к.т.н., доцент; Васюк В. В., к.т.н., доцент;
Костенко А. О., магістр*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

Пускачі, які випускаються в Україні, за своїми технічними параметрами, в основному, відповідають сучасному світовому рівню, але з урахуванням тенденцій і динаміки розвитку галузі електромагнітних пускачів за кордоном, можливе відставання по ряду параметрів від зразків іноземних фірм. Всі вітчизняні пускачі, подібні до пускачів типу ПМЛ, і майже не поступаються аналогічним закордонним пускачам, за виключенням зручностей безпечного обслуговування і експлуатації (відсутня ступінь захисту IP20), мають масу та габарити в 1,5-2 рази менші, ніж у пускачах застарілих серій. Тому, для дослідження надійності використовуються пускачі ПМЛ 1 величини, контакт-деталі яких виготовляються з матеріалу на основі срібла (СрН-90, СрМ-0,2+М1).

Дослідження для серійних контакт-деталей пускачів ПМЛ-11000_x4 (А, Б і В) проводяться з метою визначення математичного закону зміни маси контакт-деталей як функції наробітку.

Загальна кількість комутаційних циклів увімкнення-вимкнення для всіх пускачів приймається однаковою і рівною 300 тис. Необхідні вимірювання

проводяться через кожні 50 тис. комутаційних циклів. Струмові навантаження вибираються для пускачів 1 величини, виходячи із тезису, що номінальні робочі струми пускачів є: 4; 6,3; 10А. Контакт-деталі зважуються разом із контактотримачами. Випробування здійснюються для трьох пускачів кожної величини відкритого виконання без теплового реле.

Обробка експериментальних даних з метою визначення математичного закону зміни маси контакт-деталей як функції наробітку проводиться за стандартною методикою. Результати обробки і коефіцієнти інтенсивності зношування заносяться до спеціальних таблиць.

Величина електроерозійного зношування визначається на основі зміни маси:

$$m_2 = m_1 - k \cdot n, \quad (1)$$

де m_1 - маса контакту перед початком комутаційних випробувань, г; m_2 - маса контакту після серії комутаційних випробувань, г. k - коефіцієнт інтенсивності зношування, г/цикл; n - кількість комутаційних циклів, цикл.

Надійність електричного контакту здебільшого визначається його складовими компонентами, структурою і властивостями поверхневих шарів, які утворюються в результаті ерозії і переносу контактного матеріалу в електричній дузі. При комутації змінного струму постійно змінюється полярність протікання струму через контакт і за експериментальними даними встановлено негативний (тобто зменшення маси) коефіцієнт інтенсивності електричної ерозії у нерухомих контакт-деталей (1, 2, 3, 4, 5, 6) і в рухомих (мостики 1-2, 3-4, 5-6). Але рухомі контакт-деталі зношуються інтенсивніше на 10÷27%. Це явище характерне для контактів змінного струму і його можна пояснити тим, що при випробуваннях температура рухомих мостиків була вища, ніж температура нерухомих контактів, на величину 25-30°C. Маса рухомого контакту мостикового типу зменшується трохи більше, ніж маса нерухомих контактів, тому що процеси при дуговій ерозії супроводжуються інтенсивнішим випаровуванням і розбризкуванням матеріалу контакт-деталі з більш високою температурою.

Перелік джерел посилань

1. He L., Hassani M. A Review of the Mechanical and Tribological Behavior of Cold Spray Metal Matrix Composites. *Journal of Thermal Spray Technology*, 2020, 29:1565–1608. DOI: 10.1007/s11666-020-01091-w.
2. Morales A., Muñoz-Arroyo R., Vargas F., et al. Influence of Gas Pressure on the Mechanical and Tribological Properties of Thermally Sprayed Coatings. *Coatings*, 2019, 9(11):722. DOI: 10.3390/coatings9110722.
3. Sun K., Ma J., Wang Y., et al. Study on the Microstructure, Corrosion Resistance and Mechanical Properties of Y₂O₃ Coatings Prepared by Atmospheric Plasma Spraying. *Coatings*, 2024, 14(4):377. DOI: 10.3390/coatings14040377.
4. Yang R., Liu S. Quasi-Continuous Network Structure Greatly Improved the Anti-Arc-Erosion Capability of Ag/Y₂O₃ Electrical Contacts. *Materials*, 2022, 15:2450. DOI: 10.3390/ma15072450.
5. Zhang X., Ma Y., Li X. Arc Erosion of Silver/Tungsten Contact Material under Low Voltage and Small Current and Resistive Load at 400 Hz and 50 Hz. *IEICE Transactions on Electronics*, 2011, E94.C(9):1356–1361. DOI: 10.1587 / transele. E94.C.1356.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПОРОШКОВОГО ФАРБУВАННЯ

*Науменко В.С., аспірант, Червінський Л.С. д.т.н., професор
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

Актуальність. Аналізуються особливості електростатичного та трибостатичного методів нанесення фарби. Обґрунтовуються перспективи та визначаються напрямки досліджень щодо підвищення їх ефективності.

Об'єкт дослідження. Електростатична порошкова фарба є високотехнологічним декоративним і захисним покриттям, яке наноситься на поверхні за допомогою електростатичного розпилення.

Основні матеріали дослідження. Електростатичне фарбування базується на принципі взаємодії протилежних електричних зарядів. Популярність нанесення порошкової фарби електростатичним напиленням обумовлена наступними факторами: висока ефективність зарядки майже всіх порошкових фарб, висока продуктивність при порошковому фарбуванні великих поверхонь, відносно низька чутливість до вологості навколишнього повітря підходить для нанесення різних порошкових матеріалів зі спеціальними ефектами: глянець, муар і т.д.). Основне обладнання для порошкового фарбування – електростатичний пістолет-розпилювач. Поряд з перевагами електростатичне напилення має ряд недоліків, які обумовлені сильним електричним полем між пістолетом-розпилювачем та деталлю, яке може утруднити нанесення порошкового покриття в кутах та в місцях глибоких виїмок.

Трибостатичне фарбування. На відміну від електростатичного напилення, у цій системі немає генератора високої напруги для розпилювача. Порошок заряджається у процесі тертя. Головне завдання в цьому процесі – збільшення числа та сили зіткнень між частинками порошку та заряджаючими поверхнями пістолета розпилювача.

Одним із кращих акцепторів у трибоелектричному ряду є політетрафторетилен (тефлон), він забезпечує хорошу зарядку більшості порошкових фарб, має відносно високу зносостійкість та стійкий до налипання частинок під дією ударів.

Трибостатичне фарбування має ряд специфічних переваг:

1. У розпилювачах із трибостатичною зарядкою не створюється ні сильного електричного поля, ні іонного струму, тому відсутній ефект клітки Фарадея та зворотної іонізації. Заряджені частинки можуть проникати в глибокі приховані отвори та рівномірно фарбувати вироби складної конфігурації.

2. Можливе нанесення кількох шарів фарби для отримання товстих порошкових покриттів.

3. Розпилювачі з використанням трибостатичної зарядки конструктивно більш надійні, ніж пістолети розпилювачі із зарядкою в полі коронного розряду,

оскільки вони не мають елементів, що перетворюють високу напругу. За винятком заземлення, ці розпилювачі є повністю механічними, чутливими тільки до природного зносу.

Перелік джерел посилань

1. R.A.Coffee, "Basic principles and advantages of the: Electrostatic paint spraying process", *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 1963, Vol. 10 No. 12, pp. 323-324.
2. Patel, MK, Sahoo, HK, & Ghanshyam, C. (2016). Высоковольтная генерация для зарядки жидких распылителей в системе электростатических форсунок с воздушной поддержкой. *IETE Journal of Research*, 62 (3), 424–431. <https://doi.org/10.1080/03772063.2015.1135087>

УДК 621.316.728; 621.316.729

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ ПРОМИСЛОВИХ УСТАНОВОК

Серба С. Р. асистент

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького, Україна.

Компенсація реактивної потужності стала невід'ємною складовою для надійної і якісної роботи будь-якої електроніки. До цього дійшли у зв'язку з негативним впливом реактивної потужності по типу втрат електроенергії та зниження ефективності, перевантаження обладнання, зниження коефіцієнтів потужності, резонансних явищ та перенапруги. Для асинхронних двигунів, які й самі в достатніх кількостях генерують реактивну потужність, стали застосовувати компенсаційні пристрої, а у випадку з синхронними двигунами, для компенсації реактивної потужності з мережі стали використовувати синхронні компенсатори. При такому вирішенні проблеми в разі скоротили значення реактивної потужності, що підтверджується у численних наукових публікаціях [1, 2], так і практичними результатами авторів.

Для початку розглянемо вузол електричного навантаження з асинхронними приводами в якому відсутня компенсація реактивної потужності

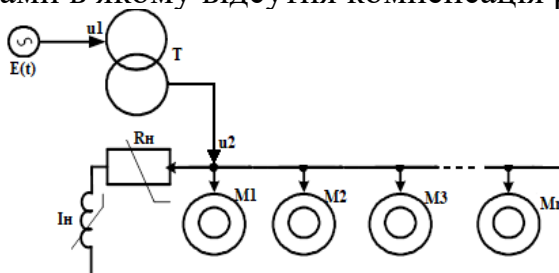


Рис. 1. Модель вузла електричного навантаження виключно з асинхронними двигунами,

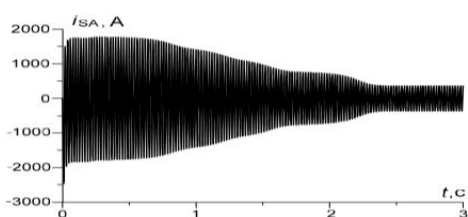


Рис. 2. Струми трансформатора для вторинних обмоток

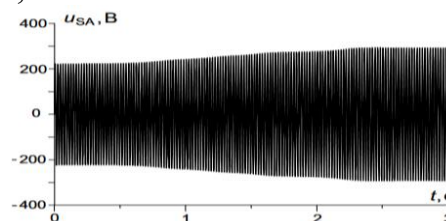


Рис. 3. Напруга вузла електричного навантаження.

Якщо розглянути рис. 2 і 3, то можна спостерігати ступінчастий характер зміни величини, що призведений у зв'язку з тим, що кожен наступний асинхронний двигун вузла навантаження, який з'єднаний послідовно починає входити в усталений режим роботи, що призведе до порушення нормальної роботи всієї системи.

Тепер розглянемо вузол електричного навантаження з асинхронними приводами в якому для компенсації реактивної потужності використовується конденсаторна батарея (С)

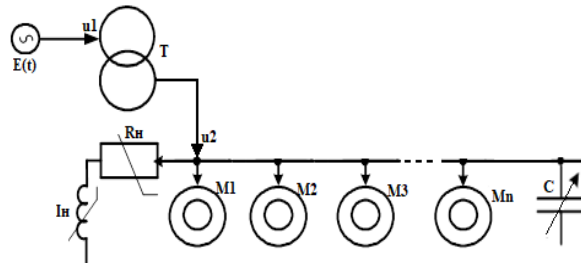


Рис. 4. Модель вузла електричного навантаження з асинхронними двигунами та компенсаційними пристроями

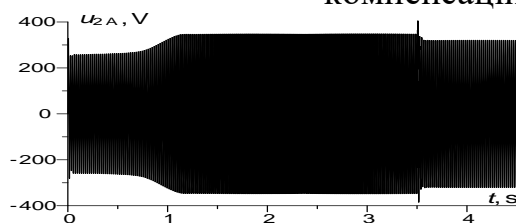


Рис. 5. Фазна напруга вузла з асинхронними двигунами за використання конденсаторної батареї.

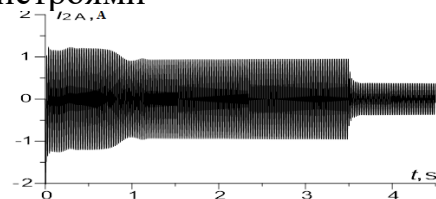


Рис. 6. Фазний струм у вузлі з асинхронними двигунами за використання батареї.

Як результат з рис 5 і 6 ми отримуємо параметри фазної напруги і струму, які при пуску певної кількості двигунів будуть в допустимих значеннях, а при досягненні двигунами усталених режимів роботи, напруга і струму електричного вузла прямують до номінальних значень.

Використаємо ідентичну схему вузла, але замінімо всі асинхронні двигуни на синхронні двигуни і подивимося на скільки зміниться ситуація.

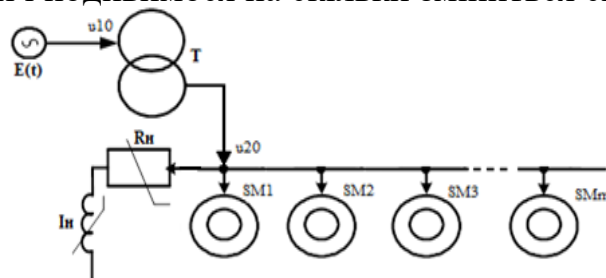


Рис. 7. Модель вузла електричного навантаження з синхронними приводами.

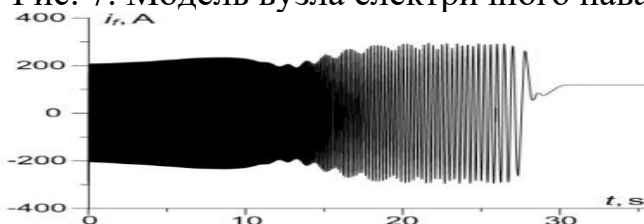


Рис. 8. Струм обмотки збудження для ротора синхронного приводу після синхронізму

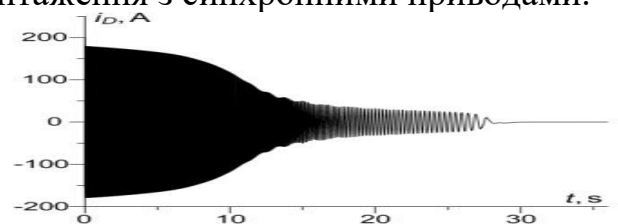


Рис. 9. Струм обмотки ротора синхронного приводу після синхронізму

Розглянувши рис. 8 і 9 можна чітко побачити, що при стрімкому зростанні

швидкості обертання ротора призводить до падіння частот струмів, це відноситься до обох рисунків. В момент коли ротор машини приводиться в режим синхронізму струми в обмотках прямують до нуля, а струми збудження в свою чергу входять в сталий режим роботи. На рахунок напруги все також дуже просто, її значення після синхронізму становлять номінальні значення для вузла електричного навантаження.

Перелік джерел посилань

1. Malyar V., Dobushovska I. Reactive power compensation in asynchronous electric drives. *Electrical Engineering & Electromechanics* 2013. No. 5. P. 36–38.
2. Kosobudzki G. Reactive power compensation for single-phase AC electrical machines *Energies*. 2025. Vol. 18(3). P. 988.

УДК 621.436.2:697.9

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ МІКРО-КГУ НА БАЗІ ДВИГУНА СТРІЛІНГА ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ З НАКОПИЧУВАЧАМИ ЕНЕРГІЇ

*Нікітін Є.С., аспірант 2 курсу; Павленко В. М., к.т.н., доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

Мікро-когенераційні установки (мікро-КГУ) на базі двигунів Стірлінга дозволяють досягти високого загального ККД за рахунок одночасного виробництва електричної та теплової енергії та демонструють гнучкість у використанні палива, включаючи природний газ та біомасу, що відповідає сучасним тенденціям енергозбереження та використання відновлюваних джерел енергії [1]. Це робить їх ідеальними кандидатами для децентралізації енергопостачання локальних об'єктів. Проте, з точки зору динамічної роботи електромеханічного комплексу, основною технічною перешкодою для широкого впровадження Стірлінг-генераторів є їхня значна теплова інерційність. На відміну від двигунів внутрішнього згорання, де зміна потужності відбувається майже миттєво, робочий цикл Стірлінга базується на повільному процесі теплообміну. Це призводить до істотної затримки між зміною електричного навантаження в мережі локального об'єкта та відповідною зміною механічної потужності, яку виробляє двигун. Під час різкого підвищення або скидання електричного навантаження виникають неприпустимі відхилення частоти та напруги (перехідні процеси), що порушує вимоги до якості електроенергії та може призвести до спрацювання захисту або пошкодження чутливого обладнання [2]. Особливо гостро ця проблема стоїть в умовах автономної роботи, коли КГУ є єдиним джерелом живлення. Таким чином, забезпечення надійності роботи мікро-КГУ вимагає активного управління перехідними режимами. Ключовим рішенням для компенсації теплової інерційності двигуна Стірлінга є інтеграція системи накопичення електричної енергії (НЕЕ). Саме тому, для обґрунтування технічного рішення, критично важливим є динамічне математичне моделювання електромеханічного комплексу в середовищі САПР. Моделювання дозволяє кількісно оцінити величину енергетичного дисбалансу, що виникає в перші мілісекунди, і, відповідно, обґрунтувати необхідну

потужність та ємність системи НЕЕ. Інверторний комплекс НЕЕ має бути налаштований на пріоритетну роботу в режимі регулювання напруги та частоти, а не лише як джерело постійної потужності. Це забезпечує надійність навіть при роботі з гнучкими джерелами тепла (твердопаливними котлами). НЕС, що складається, як правило, з літій-іонних або літій-залізо-фосфатних (LiFePo4) акумуляторів, підключених до мережі за допомогою інвертора, виконує функцію динамічного буфера. Її основне завдання – миттєво збалансувати енергетичний дисбаланс у локальній мережі. У разі зростання електричного навантаження, НЕЕ моментально подає потужність, заповнюючи тимчасовий дефіцит, поки система автоматичного керування (САК) не скоригує тепловий потік двигуна Стірлінга. І навпаки, при різкому скиданні навантаження, НЕЕ поглинає надлишкову потужність, запобігаючи неконтрольованому зростанню частоти. Крім динамічної компенсації, НЕЕ та її інверторний комплекс відіграють вирішальну роль у підтримці якості електроенергії, зокрема у зниженні коефіцієнта гармонічних спотворень. САК НЕЕ повинна бути пріоритетно налаштована на забезпечення стабільності частоти та напруги в локальній мережі, а вже потім – на оптимізацію власних режимів заряду/розряду. Таким чином, інтеграція накопичувачів енергії є ключовим інженерним рішенням для подолання вродженого недоліку мікро-КГУ Стірлінга. Практична значущість полягає у розробці інженерно обґрунтованих рекомендацій щодо проектування устаткування, яке підвищує загальну надійність системи, знижує експлуатаційні ризики та покращує економічні показники.

Перелік джерел посилань

1. Nikitin, Y. Combined energy production systems with Stirling engines: Analysis of global experience and local prospects. *Technologies and Engineering* (2025), 26(3), 66–76.
2. R. Singh and M. Kirar, "Transient stability analysis and improvement in microgrid," 2016 International Conference on Electrical Power and Energy Systems (ICEPES), Bhopal, India (2016), 239-245.

УДК 621.3.066.5/6:636

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОНТАКТНИХ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПУСКАЧІВ

*Коробський В. В.¹, к.т.н., доцент; Васюк В. В.¹, к.т.н., доцент;
Боярчук О. В.¹, магістр*

*¹Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

Нанесення покриттів газоплазмовим розпиленням – один з найбільш простих, економічно-доцільних і розвинених процесів відновлення розмірів зношених поверхонь деталей машин і, зокрема, робочих поверхонь контакт-деталей електричних комутаційних апаратів.

Цікавість до технічних можливостей газотермічного нанесення покриттів пояснюється, перш за все, тими перевагами, які дають плазмові покриття при відновленні робочої поверхні, зокрема контактів. Плазмова технологія відкрила нові

шляхи отримання високомодульних і високоміцних композиційних матеріалів, що армовані волокнами (матрицею) і застосовуються для захисту від нагрівання, корозії, ерозійного впливу високотемпературних газових потоків, підвищення зносо- і жаростійкості тощо.

Застосування газоплазмового напилення в електротехніці пов'язано, з однієї сторони, з покращенням експлуатаційних характеристик електричних апаратів за рахунок застосування покриттів контактів зі спеціальними ерозієстійкими характеристиками, а з іншої сторони, - з підвищенням надійності самого апарату та всього електроустаткування.

При газотермічному напилюванні покриттів нарощування деталей відбувається з порівняно високою швидкістю, тобто приблизно в 10 - 20 разів швидше, ніж електролітичне нанесення сталі та приблизно в 100 - 200 разів швидше, ніж електролітичне хромування [1].

1. Механічні властивості металізованих покриттів до і після комутаційних випробувань (100 тис. циклів комутацій)

Метал	Тимчасовий опір, кг/см ²				Твердість за Бринелем, НВ	
	при розтягуванні		при стисканні		до	після
	до	після	до	після		
1 Мідь М1	8,2	5,4	28,4	32,0	66	64
2. Латунь Л62	3,8	5,2	18,5	20,4	50	63
3. Алюміній А99	5,4	5,0	14,2	13,1	27	26
4. Цинк Ц1	3,4	3,2	11,5	10,7	20	20
5 СОК 15: 85%Ag+15%CdO	9,1	5,7	28,2	33,0	105	110
6. 85%Cu+10%Mo+ +2%MoO ₃ +1%С+2%Ni	8,7	5,3	18,9	19,7	85	95
7. 94,5% Ag+ +2,0%Сo ₂ O ₃ + +2,0%С+1,5% Y ₂ O ₃	8,9	6,1	26,5	34,5	95	98

Для відновлення робочого шару контактів електромагнітних пускачів ПМЛ-1200.04 пропонуються дослідні контактні матеріали на основі міді та срібла. Для порівняння фізико-механічних властивостей були взяті матеріали: мідь, латунь, алюміній, матеріал СОК15. Визначалися в процесі дослідження наступні фізико-механічні властивості: твердість при комутаційних випробуваннях, густина напилених матеріалів, пористість газоплазмового покриття, міцність на втому напилених матеріалів, визначення товщини покриттів. Природно, що всі наведені фізико-механічні властивості напиленого матеріалу обумовлюються технологічними параметрами режиму напилювання, які суттєво впливають на радіус розсіювання матеріалу, який залежить від конструкції плазмотрону (діаметру аноду, способу газової стабілізації тощо) та режиму напилювання (електричної потужності, складу і витрати плазмоутворюючого газу, відстані напилювання). Як правило, його значення знаходиться в діапазоні 4 - 8 мм. Нанесення покриття на задану площу відбувалося за рахунок лінійного переміщення плазмотрону в поєднанні або з поперечним зміщенням плазмотрону або контакт-деталі.

Специфічний механізм утворення покриттів з напилених матеріалів і складність виготовлення експериментальних зразків визначили необхідність проведення спеціальних досліджень властивостей напилених покриттів: визначення твердості, міцності при розтягуванні і стисканні, пружних характеристик напруженого стану, теплового розширення і теплопровідності та комутаційної зносостійкості відновлених контактів. Наприклад, дані про зміну величини твердості покриттів та тимчасового опору до та після випробувань на комутаційну зносостійкість наведено в табл.1.

Перелік джерел посилань

1. Артемчук В.В. Amorphous coating forming in the conditions of gas thermal spraying. *Science and Transport Progress — Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2010. DOI: 10.15802/stp2010/8920.
2. Артемчук В.В. Special technologies of applying thermal regenerative coatings. *Science and Transport Progress — Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2010. DOI: 10.15802/stp2010/8888.
3. Захарова І. Determination of adhesion of the coating deposited by arc spraying with pulsation of atomizing air flow. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2021, 3(12(111)):39–47. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.235775.
4. Pratiwi I., Ardy H., Prawara B., Ramdan R.D., Muttaqien F. Synthesis of NiCrAlY nano-scale powder by high-energy ball milling process for thermal spray coating application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2024, 3(12(129)):56–61. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.307040.
5. Guzmán D., González F., Muranda D., Aguilar C., et al. Fabrication and Arc Erosion Behavior of Ag–SnO₂–ZnO Electrical Contact Materials. *Materials*, 2023, 16(10):3618. DOI: 10.3390/ma16103618.

УДК 621.65

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОВУВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ В НАСОСНИХ АГРЕГАТАХ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Суржик В.В., аспірант; Заблодський М. М., д.т.н., професор
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.

Проблема високої енергоємності систем централізованого водопостачання [1] та опалення в Україні є критичною в умовах обмеженої генерації. Активно цей процес проявляється під час початку опалювального сезону, коли для роботи систем централізованого опалення необхідно задіяти велику кількість насосних агрегатів. Наприклад, в структурі тарифу на послуги централізованого водопостачання витрати на електроенергію перевищують 30% і це значення буде тільки зростати через поступове зростання тарифу на електроенергію, особливо для комерційних споживачів.

Є досить багато варіантів по зменшенню енергоємності систем водопостачання. Виділимо два основних напрямки:

- 1) використання високоефективних електродвигунів класу ІЕ4 та ІЕ5 [2];

2) впровадження перетворювачів частоти.

Застосування зазначених заходів забезпечує суттєвий техніко-економічний ефект з комерційно обґрунтованим терміном окупності, що, за результатами практичних розрахунків, становить близько 12 місяців..

Системи централізованого водопостачання характеризуються значною динамікою зміни навантаження протягом доби. У типовому режимі експлуатації подача насосного агрегату може змінюватися від 12,5 до 100% номінальної продуктивності. Така варіативність визначає необхідність урахування режимних параметрів при проектуванні систем електроприводу та під час оцінювання ефективності впроваджуваних заходів.

На сьогодні найбільш поширеними методами регулювання продуктивності насосних агрегатів є такі:

1) Дроселювання подачі — механічне обмеження продуктивності шляхом часткового перекриття засувки або іншої запірної арматури. Такий спосіб дає змогу лише обмежити максимальну витрату насоса, але не забезпечує ефективного регулювання подачі відповідно до фактичних потреб споживачів упродовж добового циклу. Як наслідок, спостерігаються значні перевитрати електроенергії та зниження загального ККД системи.

2) Частотне регулювання електропривода — найбільш перспективний з точки зору енергозбереження та адаптивності метод. Він дозволяє здійснювати плавну зміну частоти обертання двигуна відповідно до потреб системи. Незважаючи на вищу вартість впровадження порівняно з дроселюванням, застосування перетворювачів частоти у поєднанні з високоефективними двигунами класів IE4 та IE5 забезпечує максимальний енергетичний ефект.

Зазначений метод має обмеження щодо мінімально допустимої частоти обертання. Як правило, рекомендоване мінімальне допустиме значення робочої насоси НА частоти становить 15–20 Гц. Разом з тим, результати експлуатаційних спостережень свідчать, що в системах водопостачання фактичний діапазон регулювання зазвичай не перевищує 1–10 Гц. Це пояснюється стабільністю гідравлічних параметрів системи водопостачання.

Таким чином, застосування високоефективних електродвигунів класу IE4 [3] дає змогу знизити споживання електроенергії приблизно на 12%, тоді як використання двигунів класу IE5 — більш ніж на 25%.

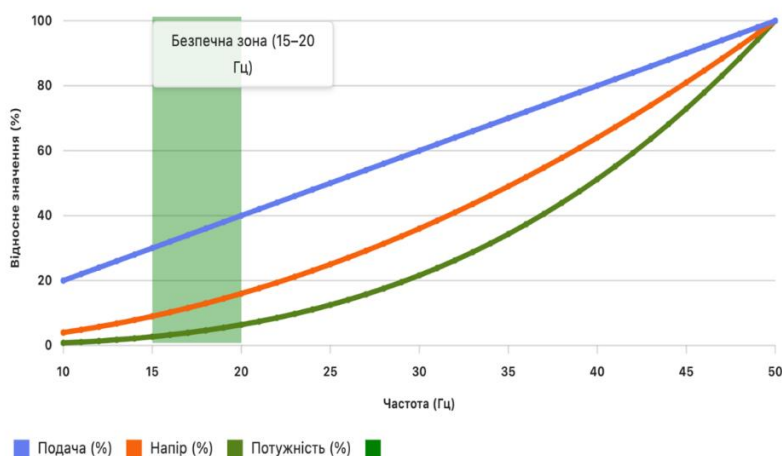


Рис.1. Типовий графік залежності робочих характеристик НА від частоти

Зменшення енергоємності систем централізованого водопостачання та є ключовим завданням в умовах зростання тарифів та обмеженої генерації. Аналіз показав, що впровадження високоефективних електродвигунів класу IE4–IE5 у поєднанні з перетворювачами частоти забезпечує найбільший техніко-економічний ефект, дозволяючи знизити споживання електроенергії до 12–25% при комерційно обґрунтованому терміні окупності від одного року. Використання частотного регулювання значно підвищує ефективність роботи насосних агрегатів порівняно з традиційним дроселюванням, що підтверджує доцільність комплексного впровадження енергоефективних технологій у системах водопостачання України.

Перелік джерел посилань

1. Augustyn, T. (2012). Energy efficiency and savings in pumping systems—The holistic approach. 2012 Southern African Energy Efficiency Convention (SAEEEC), 1–7. <https://doi.org/10.1109/SAEEEC.2012.6408587>
2. Water Pumps—European Commission. — 2024, https://energy-efficient-products.ec.europa.eu/product-list/water-pumps_en
3. Заблудський М. М., Суржик В.В. Шляхи підвищення енергоефективності насосних агрегатів систем водопостачання з урахуванням динаміки зростання вартості електроенергії. Енергетика і автоматика. 2025. №2. С. 13-29

УДК 621.313.333:681.518

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПОТУЖНІСТЮ ДО 20 кВт

Окушко О.В., к.т.н, доцент, Палевич В.В., магістр

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

Електродвигуни потужністю до 20 кВт широко застосовуються у промислових, транспортних, аграрних та комунальних системах. Вони є основними споживачами електроенергії у виробничих процесах, що визначає їхнє значення в енергетичному балансі підприємств. Ефективність роботи таких двигунів безпосередньо впливає на собівартість продукції, надійність технологічного обладнання та стабільність енергопостачання.

Водночас, невчасне виявлення дефектів електродвигунів призводить до аварійних зупинок, втрати виробничого часу та додаткових витрат на ремонт. Тому актуальним напрямом дослідження є розроблення та вдосконалення методів прогнозування технічного стану електродвигунів, що дозволить перейти від реактивного або планово-попереджувального обслуговування до прогнозного (predictive maintenance).

Сучасні тенденції промислової автоматизації (Industry 4.0) орієнтуються на використання інтелектуальних систем моніторингу з функціями аналізу трендів і прогнозування. Для цього застосовуються як традиційні методи аналізу сигналів (спектральний, часовий, статистичний), так і методи машинного

навчання та штучного інтелекту, які дозволяють визначати приховані закономірності у зміні параметрів роботи електродвигуна.

Малопотужні асинхронні електродвигуни (до 20 кВт) характеризуються типовими несправностями, серед яких можна виділити механічні дефекти (знос або пошкодження підшипників, неврівноваженість ротора, порушення центрування), електричні дефекти (міжвиткові замикання, пробої ізоляції, порушення симетрії фаз), теплові відмови (перегрів обмоток, деградація ізоляційних матеріалів) та динамічні дефекти (вібраційні збурення, деформація вала, зміна частоти обертання).

Виявлення і прогнозування цих дефектів можливе шляхом аналізу відповідних діагностичних параметрів, а саме температури, струму, вібрації, акустичних сигналів, частоти обертання, тощо.

Серед основних методів прогнозування, згідно наших досліджень, можна поділити аналітичні, статистичні та інтелектуальні. Так, аналітичні методи базуються на математичних моделях електродвигуна та процесах його старіння. До них можна віднести теплові моделі, що описують залежність температури обмоток від струму навантаження та умов охолодження, моделі зносу підшипників, які базуються на теорії надійності, та електромагнітні моделі, що дозволяють оцінити зміни параметрів індукції та опору при розвитку дефектів.

Такі методи дають точний фізичний опис процесів, але потребують великої кількості параметрів і часто не враховують стохастичну природу відмов.

Статистичні методи здійснюють прогнозування на основі історичних даних про зміни характеристик електродвигуна. Вони використовують методи регресійного аналізу, експоненціальне згладжування трендів, моделі ARIMA (autoregressive integrated moving average) для часових рядів та аналіз кореляцій між різними параметрами (струм, температура, вібрація).

Ці методи є ефективними при наявності довготривалих спостережень і стабільних режимів роботи двигуна.

В той же час, інтелектуальні методи, які базуються на штучному інтелекті є найперспективнішими сьогодні. До цих методів можна віднести машинне навчання, що дозволяє прогнозувати відмови без попереднього знання фізичних моделей. До них належать: нейронні мережі (ANN, CNN, LSTM), які аналізують складні нелінійні залежності у часових рядах параметрів, метод опорних векторів (SVM) – добре підходить для класифікації станів «нормальний»/«дефектний» тощо

Ці методи забезпечують високу точність прогнозування (до 90 – 95 %), але потребують навчання на репрезентативних наборах даних.

Висновки

Методи прогнозування технічного стану електродвигунів до 20 кВт є важливою складовою сучасних систем технічного обслуговування.

Найефективнішими є інтелектуальні підходи, які забезпечують раннє виявлення дефектів і дозволяють оптимізувати графіки ремонту.

Інтеграція таких методів у систему енергоменеджменту підприємства сприяє підвищенню енергоефективності та надійності технологічного обладнання.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на створення цифрових двійників електродвигунів і розроблення хмарних платформ аналітики стану.

Перелік використаних джерел

1. Кравчук В.І., Савчук О.П. Діагностика та моніторинг електричних машин. – Київ: Техніка, 2018. – 312 с.
2. Іванов С.М., Литвиненко Ю.О. Сучасні методи технічної діагностики асинхронних двигунів. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Електроенергетика. – 2020. – № 3. – С. 42–50.
3. Pavlovskiy O., Korenivska O., Baranov A. Smart monitoring systems for small induction motors in industrial applications. // Journal of Electrical Engineering and Automation. – 2021. – Vol. 9(2). – pp. 65–74.
4. ISO 13373-1:2012. Condition monitoring and diagnostics of machines – Vibration condition monitoring – Part 1: General procedures. – ISO, 2012.
5. Ткаченко С.В. Енергозбереження та прогнозна діагностика електроприводів малих потужностей. // Енергетика і електрифікація. – 2022. – № 4. – С. 28–34.

УДК 621.313.13

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО НАНОГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВІ ПУХО-ПР'ЯНОЇ СИРОВИНИ

Коваль Є.В.; Заблодський М.М. д.т.н., професор

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

Відходи курячого пір'я від птахівництва, які становлять близько 3600 мільйонів тон на рік у всьому світі, вважаються критичною проблемою в багатьох країнах. Тому актуальною задачею є розробка електротехнології для конверсії відходів курячого пір'я у продукти з доданою вартістю в багатьох сферах застосування. В Національному університеті біоресурсів і природокористування України запропоновано спосіб і пристрій для виготовлення білкового борошна з перо-пухової сировини [1].

Крім системи електропривода шнеків для транспортування і забезпечення температурного режиму обробки сировини, пристрій містить систему автоматичного контролю та управління процесом гідролізу, до складу якої входить частотний регулятор, мікроконтролер з запрограмованим алгоритмом на базі нечіткої логіки, давач вимірювання швидкості обертання шнеку, давачі контролю температури і кислотно-лужного балансу сировини, давачі контролю тиску. Один з давачів контролю тиску розташований в зоні конуса, змонтованого в центральній ділянці шнеку, і виконаний у вигляді п'єзоелектричного генератора, що складається з двох електродів.

Прикладене ззовні механічне напруження до перо-пухової сировини при її переході під тиском до 10 МПа з ущільнюючої порожнини у реакційну порожнину з тиском 5,0 МПа формує між першим електродом давача контролю тиску та конусом, виконаним з міді, пружну деформацію у

нецентросиметричному діелектрику, яким є куряче пір'я, і спричиняє електричну поляризацію, тобто перерозподіл в ньому електричних зарядів. Цей лінійний електромеханічний ефект прямо пропорційний величині деформації. Причиною п'єзоелектричного ефекту є електричні диполі, які спонтанно виникають в структурі високовпорядкованих кератинових волокнин за рахунок утворення внутрішньо-молекулярних і міжмолекулярних водневих зв'язків, які з'єднують між собою та одна з одною α -спіралі та β -листки [2]. Еквівалентний п'єзоелектричний коефіцієнт курячого пір'я, що характеризує поздовжній п'єзоефект, знаходиться в інтервалі від 1.6 пКл/Н до 2.1 пКл/Н. Структура шару курячого пір'я формує напругу більше 10 В, що достатньо для використання цієї функції п'єзоелектричного генератора як джерела живлення другого датчика тиску або одночасного живлення усіх світлодіодів індикації систем контролю і керування електричного гідролізатора. Створений електричний сигнал також використовується для безпосереднього визначення тиску в реакційній зоні шляхом попереднього градування вихідної напруги п'єзоелектричного генератора (датчик тиску) за величиною деформації. Для валідації способу розроблена і виготовлена експериментальна установка для дослідження п'єзоелектричного наногенератора (рис.1), до складу якої входить: 1 - станина, 2 - електропривод, 3 - шнек, 4 - ізоляційна муфта, 5 - конус шнека, 6 - корпус шнека, 7 - нагрівач, 8 – ковзний електричний контакт з шнеком, 9,10 – завантажувальний і вивантажувальний бункери, 11,12 – підшипникові втулки з ізоляційного матеріалу, 13 -нерухомий електричний контакт з корпусом шнека, 14 – вимірювальний прилад.

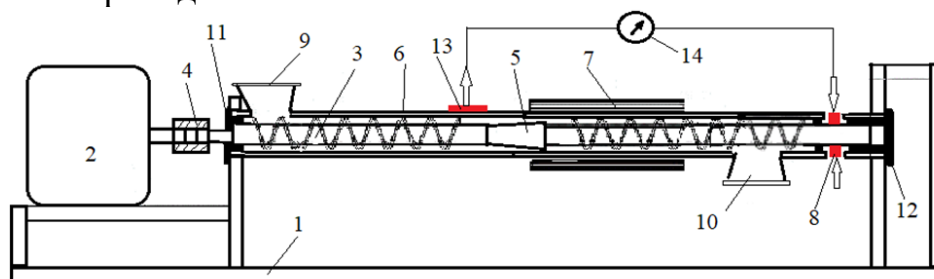


Рис. 1. Експериментальна установка для дослідження п'єзоелектричного наногенератора

Еквівалентний п'єзоелектричний коефіцієнт (d_{33}) функціонального матеріалу розраховують за допомогою одного з основних п'єзоелектричних рівнянь

$$d_{33} = \frac{C \times V_0}{F},$$

де: C і V_0 – ємність і середня вихідна напруга п'єзоелектричного генератора; F – застосована сила.

Безпосередній контроль тиску в зоні розташування конусів відомими вимірювальними засобами практично важко реалізувати, оскільки в означеній зоні діють такі фактори як висока температура і тиск, а також обмеженість об'єму для розташування датчика. Отже, запропонований спосіб використання природнього п'єзоелектричного ефекту пір'я може бути застосований у промислових технологіях гідролізу.

Перелік джерел посилань

1. Патент України на корисну модель № 158661. МПК А23К 10/26 (2016.01) В03С 1/02 (2006.01). Електричний гідролізатор для виготовлення білкового борошна з перо-пухової сировини./ Заблодський М. М., Каплун В. В., Троханяк В. І., Коваль Є. В., Васюк В. В. / Національний університет біоресурсів і природокористування України. Опубл. 05.03.2025, Бюл. № 10.
2. Біоматеріали у мікро- та наноелектроніці [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальностей 161 «Хімічні технології та інженерія» і 176 «Мікро- та наносистемна техніка» / Барбаш В.А., Клочко Н.П., Копач В.Р.; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 13,96 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 327 с..
УДК 621.313.334:621.867.2

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДЛЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

Васюк В. В., к.т.н, доцент, Бурдик Н.І., магістр

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

Підвищення енергоефективності електроприводів залишається одним із найбільш актуальних завдань сучасної енергетики та промислової автоматики. Значна частка виробленої електричної енергії споживається асинхронними електродвигунами, які широко застосовуються в транспортних механізмах, зокрема в стрічкових конвеєрах. Тому питання оптимізації режимів їх роботи, забезпечення стабільності швидкості та мінімізації втрат електроенергії має важливе теоретичне і практичне значення.

У роботі проведено аналіз скалярних та векторних систем керування, які використовуються у частотнорегульованих електроприводах. Визначено закономірності формування потоку та крутного моменту двигуна при різних методах регулювання. Окрему увагу приділено порівнянню тиристорного регулятора напруги та перетворювача частоти з автономним інвертором напруги, що реалізує широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ). На основі заданих технічних параметрів АД типу 5АС160М6 номінальною потужністю 16 кВт сформовано вихідні дані для розрахунку характеристик перетворювача частоти. Проведено визначення параметрів схеми заміщення, оцінено втрати в силових ключах, визначено ККД електроприводу та побудовано енергетичні характеристики обох варіантів системи керування.

Результати досліджень засвідчили, що застосування ШІМ-перетворювача забезпечує більш стабільне потокозчеплення та значно кращі енергетичні показники порівняно з тиристорним регулятором. Зниження втрат у силових елементах та підвищення ККД системи дозволяє оптимізувати роботу конвеєра, забезпечити плавний пуск, точне регулювання швидкості та підвищити ресурс обладнання. Отримані результати можуть бути використані при модернізації існуючих конвеєрних ліній, розробленні енергоефективних систем керування та впровадженні автоматизованих електроприводів у сфері природокористування та агропромислового виробництва.

Висновки

1. Використання частотного перетворювача з автономним інвертором напруги дозволяє підвищити енергоефективність стрічкового конвеєра на 10–15% у порівнянні з тиристорним регулятором напруги.
2. Розроблена система керування забезпечує стабільність потокозчеплення статора, зменшує коливання крутного моменту та покращує динамічні характеристики електроприводу.
3. Проведена оцінка втрат у силових ключах та двигуні підтверджує доцільність застосування ШІМ-алгоритмів у промислових конвеєрних системах.
4. Запропоноване технічне рішення може бути використане для модернізації існуючих конвеєрних ліній, зменшення витрат електроенергії та підвищення надійності роботи механізмів у сфері природокористування та агропромислового виробництва.

Перелік джерел посилань

1. ПУЕ. Правила улаштування електроустановок. – К.: Мінпаливенерго України.
2. ПТЕЕС. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів.
3. Соколовський Г. М. Електропривод: теорія та системи керування. – К.: НУЕП, 2019.
4. Васюк В. В., Савченко В. В. Енергоефективні системи електроприводу. – Київ: НУБіП України.
5. Костенко М. П., Ляшенко В. О. Перетворювачі частоти в системах автоматизованого електроприводу. – Харків: ХНЕУ, 2020.

УДК 621.3.066.5/6:636

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПУСКАЧІВ З ВИЗНАЧЕННЯМ ПЛАНУ ВИПРОБУВАННЯ ТА НЕОБХІДНОЇ КІЛЬКОСТІ ОДИНИЦЬ

Коробський В. В., к.т.н., доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

Перевірка надійності електричних апаратів є ключовою умовою забезпечення безпеки, стабільності функціонування та економічної ефективності електротехнічних систем. В умовах інтенсивного розвитку енергетичних технологій, інтеграції відновлюваних джерел енергії, автоматизації та цифровізації, правильне визначення плану випробувань і обсягу вибірки набуває критичного значення. Помилки у плануванні можуть спричинити підвищення ризику відмов, аварійних ситуацій, зростання вартості ремонту та гарантійного обслуговування, а також негативно вплинути на репутацію виробника чи експлуатанта.

По-перше, чинні стандарти та нормативи здебільшого містять загальні вимоги, не враховуючи специфіку окремих типів апаратів або особливості умов їх експлуатації. Тому розроблення адаптивних схем випробувань, що дозволяють

збалансувати повноту контролю з раціональним використанням ресурсів, має як наукову, так і практичну значущість.

По-друге, модернізація електричних апаратів і поява нових матеріалів (у тому числі контактних сплавів на основі міді) вимагають уточнення критеріїв вибірки та підходів до визначення необхідного обсягу випробувань. Науково обґрунтоване визначення мінімальної кількості об'єктів дозволяє оптимізувати процеси тестування, уникнути надлишкових витрат і зберегти достовірність оцінки надійності.

По-третє, економічні та екологічні аспекти стимулюють пошук шляхів оптимізації. Зменшення кількості випробуваних одиниць при збереженні статистичної достовірності результатів скорочує витрати матеріалів, енергії, трудових ресурсів і мінімізує негативний вплив на довкілля.

По-четверте, наукова новизна дослідження полягає у поєднанні статистичних методів оцінювання надійності (планування експерименту, аналіз дисперсії, визначення довірчих імовірностей) з інженерними критеріями (ступінь критичності відмов, ремонтпридатність, умови експлуатації). Такий підхід забезпечує узгодженість результатів між різними виробниками й лабораторіями, сприяє стандартизації методів випробувань і підвищує ефективність процедур сертифікації.

Планування випробувань на надійність здійснювалося за схемою [NUT], відповідно до якої одночасно випробовуються N об'єктів, без заміни тих, що відмовили під час експерименту. Тривалість випробувань визначається заданим часом роботи або кількістю комутаційних циклів T для кожного непошкодженого зразка. Таким чином, обсяг випробувань за планом [NUT] характеризується кількістю об'єктів N (полюсів пускачів) і тривалістю T (тисячі циклів комутації).

Для порівняння результатів застосовано перерахунок у відносні одиниці (в.о.) з урахуванням теоретично розрахованих мас. Результати подано у табл. 1, де наведено різницю між експериментальними та розрахунковими значеннями зносу й визначено дисперсію процесу, яка становить $S = 0,158$.

Під час планування прийнято довірчу імовірність $g = 0,95$ та відносну похибку $\varepsilon = 0,10$, що відповідає допустимим межам $g = 0,90-0,95$, $\varepsilon = 0,05-0,20$ [3]. За даними джерел [4], зазначеним значенням відповідає кількість об'єктів у вибірці $N = 7$.

Таблиця 1. Результати обчислення дисперсії електроерозійного зносу

№ дослід (за кількістю комутаційних циклів, тис.)	1	2	3	4	5	6	Сума
Відносний знос мостика $X_i = \Delta m_{\text{дос}} / \Delta T$, в.о.	1,10	2,15	2,84	3,92	4,83	6,17	-
Теоретичний знос мостика X_T , в.о.	1	2	3	4	5	6	-
Різниця $\Delta X_i = X_i - X_T$	+0,1	+0,15	-0,16	+0,08	-0,17	+0,17	-
$(\Delta X_i)^2$	0,010	0,0225	0,0256	0,0064	0,0289	0,0289	0,1254

Перелік джерел посилань

1. Volodymyr Korobskiy, Kamil Witaszek, Volodymyr Reshetiuk, Krzysztof Pilarski. Research on the Morphology of the Working Surfaces of Contacts Used in Starters in the Agro-Industrial Sector. *Materials* 2024, 17(1), 145.

2. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними: ДСТУ 3004-95. – [Чинний від 01.01.1996], - К.: Держспоживстандарт України, 1995. – 129 с.

3. IEC 60068 — Environmental testing = Випробування на вплив навколишнього середовища. — Женева : Міжнародна електротехнічна комісія (IEC), 2013. — Част. 1 : General and guidance / МЕК. — 68 с.

4. Reliability Engineering: Data analytics, modeling, risk prediction (Stefan Bracke, 2024) — англomовне, 2024 р.

УДК: 621.315.22:621.3.014.24

ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ 10 КВ

*Коробський В. В., к.т.н., доцент; Скороход О. С., магістр
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

Існує кілька методів оцінки стану силових кабелів, і в енергосистемі, де компоненти старіють, вони стають дедалі важливішими. В статті зроблена спроба надати огляд різних методів діагностування та оптимізувати стратегію обслуговування кабелів.

Статистика несправностей силових кабелів не лише надає уявлення про ймовірність різних причин несправності, але й допомагає у прийнятті рішень щодо стратегій технічного обслуговування залежно від її типу, а також технічної зрілості з плином часу. Загальна статистика відмов кабелів живлення середньої напруги узагальнена на основі статистичних даних польових досліджень різних країн, включаючи Україну, США, Данію, Великобританію, Китай тощо. У них близько 50% відмов спричинені пошкодженнями третьої сторони, тобто ці пошкодження не пов'язані ні з роботою електромережових компаній, ні з якістю самого силового кабелю, типовими випадками є відмовки, спричинені земляними роботами. Інші 50% відмов, пов'язані з якістю та експлуатацією кабелю, можна додатково класифікувати наступним чином:

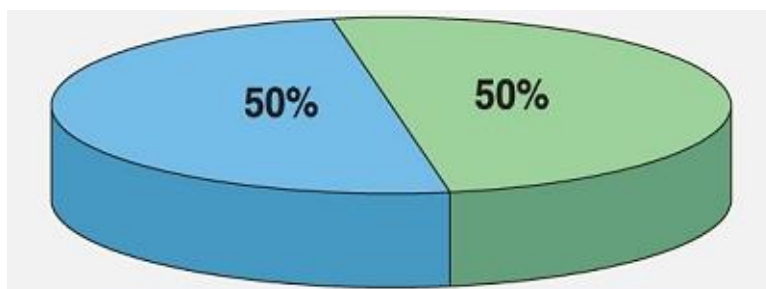
- 10-20%: збої, пов'язані зі старінням;
- 10%: збої, пов'язані із монтажем та встановленням;
- 7-15%: збої, пов'язані з якістю виробництва;

- 10%: інші збої, включаючи перенапругу, погодні умови, експлуатаційні умови тощо.

Дещо відмінні статистичні дані щодо відмов були виявлені в системах силових кабелів високої напруги (35, 110 та 220 кВ), що вказує на відмінності в обробці та зрілості виробництва. При цьому відмови, пов'язані з якістю, зростають до 42%, а відмови, пов'язані з монтажем та старінням, зменшуються до половини статистики кабелів середньої напруги.

Слід зазначити, що технічний стан українських силових кабельних ліній істотно нижче, ніж європейських кабельних ліній однакового класу напруги. Про поганий технічний стан українських силових кабельних ліній напругою 6...35 кВ свідчить велика кількість статистичних даних.

Тривожні статистичні показники технічного стану кабельних ліній підтверджує приведена на рис. 1 діаграма для силових кабельних ліній, що отримали негативний висновок за технічним станом. Діаграма показує, що 50% українських кабельних ліній необхідно міняти або повністю, або частково, а решта кабельних ліній може бути приведена до робочого стану лише після проведення ремонту кінцевих або сполучних муфт.



КЛ, що потребують повної або часткової заміни.
КЛ, що потребують ремонту муфт.

Рис. 6.7. Діаграма для силових кабельних ліній, що отримали негативний висновок за технічним станом

Діаграма переконливо свідчать про виняткову важливість впровадження в електротехнічну практику неруйнуючої діагностики як для отримання повної картини технічного стану кабельної лінії з локалізацією наявних проблемних місць, так і для ухвалення на основі результатів діагностики рішення про можливість продовження ресурсу роботи кабельної лінії понад нормативний термін служби.

Перелік джерел посилань

1. IEEE 400.2. Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency (VLF).
2. СОУ НЕК 29.240.6-23:2021. Діагностування та випробування кабельних ліній.
3. Tao J. et al., "A review of power cable aging monitoring and diagnostics," *Electric Power Systems Research*, 2024–2025.

4. Михайлов О.В. Діагностика силових кабельних ліній: особливості та проблеми, що виникають під час експлуатації / О.В. Михайлов, О.О. Вакуленко // IV Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». Тези доповідей. том 2. Тернопіль: ТНТУ, 2015. –С.117-118.

УДК 621.313.13

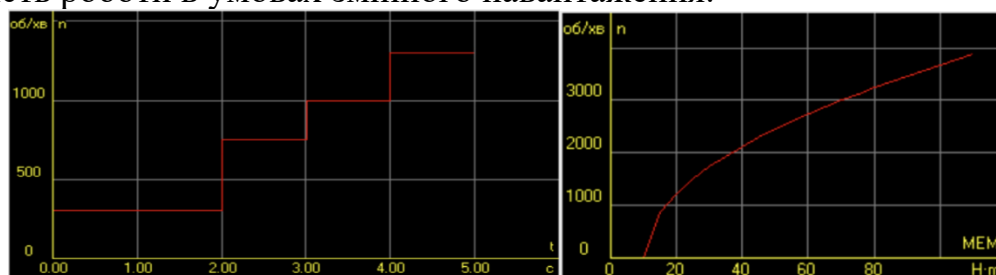
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГІДРОЛІЗЕРА

Сирота А.А.; Заблодський М.М. д.т.н., професор

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

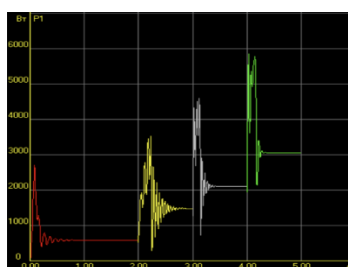
У сільському господарстві зростає потреба у продуктах переробки кератиновмісних відходів. Актуальною задачею є удосконалення методів гідротермічного гідролізу кератинових матеріалів. Метою роботи було дослідження шнекового електромеханічного гідролізера та визначення параметрів, що забезпечують ефективне перетворення кератинових відходів у продукт з доданою вартістю. У результаті переробки отримано сипуче гідролізоване пір'яне борошно коричневого кольору зі специфічним запахом. Математична модель електромагнітної системи гідролізера дала змогу визначити особливості просторового розподілу магнітної індукції та температурних полів у шнеку та корпусі. Тривимірні карти нагріву дозволили оцінити рівномірність та інтенсивність теплового впливу. Порівняння даних моделювання з експериментальними результатами підтвердило адекватність створеної моделі[1].

Для приводу шнека застосовано асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором, що забезпечує стабільний обертальний момент та можливість роботи в умовах змінного навантаження.



а)

б)



в)

Рисунок: а – тахограма при змінах режиму; б – механічна характеристика; в – перехідний процес щодо споживаної потужності при змінах режиму.

За допомогою програмного забезпечення DIMASDrive [2] було здійснено моделювання і аналіз роботи асинхронного двигуна 4A132M6 в частотно-регульованому електроприводі при різних налаштуваннях перетворювача для вентиляторного навантаження. В системі використовувався напівпровідниковий перетворювач частоти з широтно-імпульсною модуляцією. До налаштувань перетворювача відносяться закон частотного керування, налаштування базового значення частоти перетворювача, введення бустерної напруги. Послідовно проаналізовані характеристики двигуна при завдані вищезгаданих налаштувань. Для цього усі потрібні характеристики повинні бути відображені попарно з базовим варіантом при тих чи інших налаштуваннях. На рисунку представлені деякі результати моделювання. Аналіз роботи пов'язано з отриманням регульованих характеристик, а саме: залежностей електричних, енергетичних, механічних, теплових, віброакустичних показників від частоти обертання при роботі електропривода на певне за характером та величиною навантаження.

Отримані значення основних критеріїв при заданому діапазоні регулювання або тахограми із визначеними тривалостями роботи на конкретних частотах обертання. До основних критеріїв роботи двигуна віднесені ККД та коефіцієнт потужності, а також зведені витрати АД та усього електроприводу.

Перелік джерел посилань

1. Zablodskiy, N., Kovalchuk, O., Kovalchuk, S., & Nasieka, I. (2024, December). Numerical Modeling and Investigation of Streamer Breakdown in a Coaxial Plasma Torch Based on Townsend Processes. In 2024 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET) (pp. 1-5). IEEE.
2. Петрушин В.С., Рябінін С.В., Якимець А.М. Програмний продукт «DIMASDrive». Програма аналізу роботи, вибору та проектування асинхронних короткозамкнених двигунів систем регульованого електроприводу (свідоцтво про реєстрацію програми ПА №4065).

УДК 62-83:692.66

СУЧАСНИЙ БЕЗРЕДУКТОРНИЙ ЛІФТОВИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД З БЕЗКОЛЕКТОРНИМ ДВИГУНОМ

*Бойко А.О., д.т.н., професор; Астапенко І.О.; Брем П.В.; Токарчук Д.С.
Національний університет» Одеська політехніка»,
м. Одеса, Україна.*

Ліфтове господарство України налічує більш 100 тисяч пасажирських ліфтів. Більш, ніж одна третина із них вже відпрацювала свій розрахунковий термін експлуатації і потребує оновлення [1]. Сучасний ліфт повинен мати керований енергоощадний електропривод (ЕП), який забезпечує швидке, комфортне і економічне переміщення вантажу з точною зупинкою на заданому поверсі. Беручи до уваги сучасні тенденції ліфтобудування, неможливо обійти питання синтезу лебідок нових типів, насамперед, безредукторних. Проблема

синтезу безредукторних ліфтових лебідок безпосередньо пов'язана з відсутністю серійних тихохідних двигунів, що мають необхідні властивості і параметри. Для вирішення проблеми пропонується використовувати інноваційний безколекторний двигун постійного струму з безобмоточним ротором [2]. Подібний двигун виконується з ротором торцевого або циліндричного типу та статора, які не мають загального ярма. Ротор являє собою кілька феромагнітних полюсів 1, закріплених на немагнітному диску 2 (рис. 1,а). Статор складається з ряду окремих магнітно не пов'язаних феромагнітних елементів (зубців) 3, закріплених на немагнітному торцевому щиті 4 (рис. 2,б). На внутрішній поверхні статора розташована тороїдальна котушка обмотування збудження 5. Зубці 3 утворюють зубцеві зони, в проміжках (пазах) яких укладені провідники обмотки якоря 6 [2]. За рахунок особливостей конструкції, запропонований двигун в тихохідному виконанні характеризується прийнятними масогабаритними показниками і мінімальною інерційністю ротора.

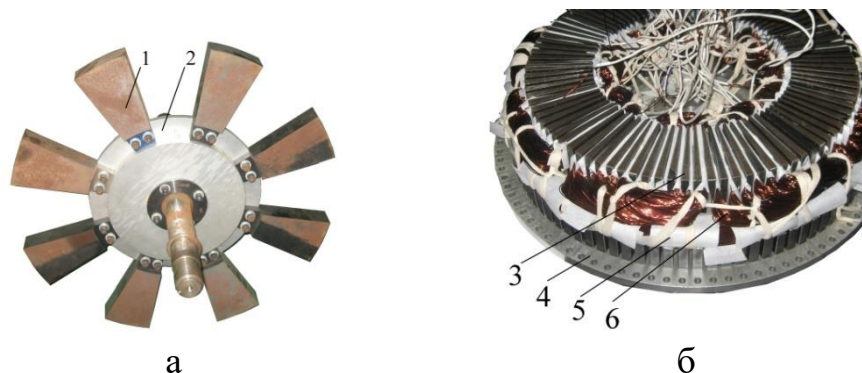


Рис. 1. Зовнішній вигляд ротора (а) та зовнішній вигляд статора (б) безколекторного двигуна

Відмова від редуктору забезпечує відносний перерозподіл інерційних мас механізму та ЕП у бік зменшення впливу останнього, що підвищує ефективність перетворення енергії в перехідних процесах [3]. Робота двигуна забезпечує точне відтворення заданої оптимальної діаграми руху і точне позиціонування. За рахунок цього, зупинка кабіни ліфта виконується на необхідному поверсі без додаткових попередніх операцій. Рух реалізується з необхідними обмеженнями заданої швидкості, прискорення і ривка, що відповідає умовам комфортного переміщення пасажирів. Максимальна похибка з переміщення кабіни відносно завдання не перевищує 4,5 мм. Різниця між величинами, отриманими в результаті дослідження роботи за допомогою математичною і фізичною моделями, не перевищали 4,3-7,0 % у статичних та 10,2-12,4% – у динамічних режимах [4].

Виконувалося порівняння енергетичних показників нового безредукторного ліфтового ЕП з:

- традиційним ЕП з черв'ячним редуктором, двошвидкісним асинхронним двигуном та релейно – контакторною системою управління;
- з сучасним редукторним ЕП з швидкісним асинхронним двигуном та перетворювачем частоти, в якості системи управління [5].

При аналізі враховувалось те, що двигун на окремих часових ділянках може працювати у генераторному режимі, а середньостатистичне завантаження кабіни значно нижче номінального, крім того для житлових будинків характерна відмінність між режими ранкового та вечірнього навантаження. Обчислювалася енергія, яка споживалась або генерувалась ЕП за типові поїздки – у ранковому, та у вечірньому режимах. Отримані данні показали, що режимі вечірнього навантаження, новий безредукторний ЕП споживає енергії в 2,7 рази менше, порівняно з традиційним, та у 1,3 рази менше, порівняно із найближчим конкурентом – асинхронним з частотним керуванням. Якщо провести усереднення енергії ранкового та вечірнього режимів, то наведені різниці в енергоспоживанні досягають значень 5,32 та 1,68 разів, відповідно.

Перелік джерел посилань

1. Далека В. Х., Кайлюк Є. М., Пилипенко І. О. Концепція управління технічним станом основних засобів ліфтового господарства в містах України. Комунальне господарство міст. Харків: Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, 2020. Т. 7, вип. 160. С. 26–33. DOI: 10.33042/2522-1809-2020-7-160-26-33.
2. Патент України №116924, МПК (2018), НО2К 29/06. Електрична машина бііндукторного типу (варіанти) / В.В. Булгар, А.О. Бойко, Івлєв Д.А., Яковлев О.В., Косенков В.Д. // — а201606821, заявл. 22.06.2016, опубл. 25.05.2018, Бюл. №10.
3. Schmidt, R., & Müller, H. (2018). Energy-efficient elevator drive systems: A comparative study of gearless solutions. *Journal of Building Engineering*, 18, 123–130. DOI: [10.1016/j.jobe.2018.03.015](https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.03.015)
4. Boiko, A., Ivanov, V., Klymchuk, I. i Ihnatenko, D. 2025. Питання моделювання тихохідного ліфтового електродвигуна бііндукторного типу. *Праці Одеського політехнічного університету*. 2(70), 72–80. DOI: [10.15276/opus.2.70.2024.09](https://doi.org/10.15276/opus.2.70.2024.09)
5. Shuang Chang F., Jie C., Z. Yanbin Z., Zheyi L. Discussion on Improving Safety in Elevator Management. 2020 2nd International Conference on Machine Learning, Big Data and Business Intelligence (MLBDBI), Taiyuan, China, 195–198 (2020). DOI: 10.1109/MLBDBI51377.2020.00043

УДК 62-83:692.66

ОБМЕЖЕННЯ НЕСТІЙКИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТИРИСТОРНИХ ЛІФТОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

Бойко А.О., д.т.н., професор; Пахомов О.С.; Соколов Є.О.; Чебан В.В.

Національний університет» Одеська політехніка»,

м. Одеса, Україна.

У ряді режимів роботи, що визначаються збігом параметрів, в розімкнених системах ліфтових електроприводів (ЕП) з тиристорним пускателем (тиристорним перетворювачем напруги (ТПН), Soft-starter) виникають нестійкі режими, які характеризуються коливаннями вихідних координат, за своїм проявом (рис. 1) [1]. Незагасні гармонійні коливання швидкості і моменту порушують нормальну роботу підйомного механізму, ускладнюють розрахунок і налаштування замкнених ЕП, значно погіршують якість регулювання та енергетичні показники [2]. Цей режим супроводжується великими ударними навантаженнями, шумом, вібраціями, і його слід уникати.

Можна виділити два види коливальних процесів. Першому відповідають

коливання коли швидкість двигуна лебідки не перевищує синхронну, тобто коливання обмежені межами I квадранта [3]. Другий варіант відповідає випадку, коли швидкість двигуна перевищує синхронну і область коливань охоплює два квадранти. При швидкості вище за синхронну, коли фаза струму стає більше 90 ел. град, процес супроводжується практично повним відкриттям вентилів ТПН, незалежно від заданого кута включення [4].

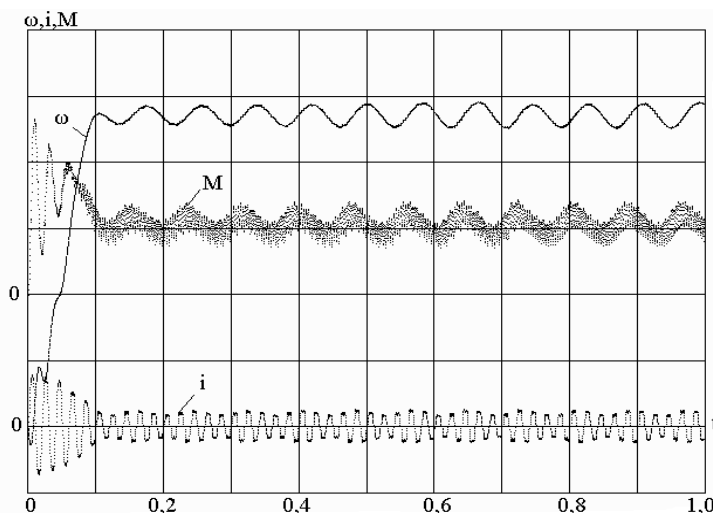


Рис. 1. Осцилограми швидкості, моменту та струму АД 4А80В4 у режимі «малих» коливань; $\alpha = 50$ ел. град., $M_c = 1,1M_n$, $J_\Sigma = J_{дв}$. Масштаби: $m_i = 4I_n/дел.$; $m_M = 1M_n/дел.$; $m_\omega = 0,2\omega_0/дел.$

Фізично, подібні коливання пов'язані з обміном енергії між електромагнітними контурами ЕП та інерційними масами ліфтового підйомного механізму. Експериментально підтверджено, що наявність і вид коливань залежить від параметрів і пружних властивостей підйомного механізму, параметрів АД, ТПН і початкових електромагнітних умов, поточного завантаження кабіни [5]. В результаті досліджень визначені технічні способи та робочі фактори, які обмежують перехід ліфтового електроприводу в нестійкий режим, або повністю запобігають такій можливості [2].

1). При пуску (гальмуванні) по оптимальним трикутним діаграмам (великий трикутник) за заданий час, перехідний процес, АД не переходить в аварійний режим. Наприкінці пуску вентилі ТПН повністю відкриваються, при цьому характерних гармонійних коливань вже не може бути принципово.

2). Обмеження пружної коливності елементів багатомасової системи ПМ зменшує ймовірність переходу ЕП в коливальний режим.

3). При суттєвому зменшенні напруги живлення АД (більше 15 - 20%), ймовірність виникнення нестійкості ЕП збільшується.

4). При використанні замкнутих ЕП (обмеження пускових струмів, регулювання швидкості, оптимізація енергетики) розвиток коливальних режимів повністю обмежується за рахунок дії зворотних зв'язків.

5). Перехід до іншого способу синхронізації вентилів – зі струмом навантаження, дозволяє уникнути виникнення нестійкості.

б). Застосування інноваційного способу управління ТПН, при якому забезпечується задана вихідна напруга, інваріантна фазі струму навантаження, повністю запобігає можливості переходу ліфтового ЕП в режим коливань.

Перелік джерел посилань

1. Xie, P., Zhang, L., Shing, M., Huang, J.: Elevator vibration signal denoising by deep residual U-Net. *Measurement* 225, 113976 (2024). DOI: 10.1016/j.measurement.2023.113976
2. Бойко А.О. Питання стійкості та спеціальні режими роботи асинхронного електроприводу з ТПН: монографія / А.О. Бойко. — Одеса: Екологія, 2024. — 138 с. <http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/14593>
3. Boiko, A., Naidenko, E., Besarab, O., Bondar, O. (2025). Dynamics Analysis of Elevator Winches with Thyristor Control System. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G. (eds) *Advanced Manufacturing Processes VI. Interpartner 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-031-82746-4_43
4. Han, Q., Zhang, X., Lu, Y., Wang, L.: Experimental investigation on the in-plane mechanical behavior of elevator guidance system. *J. Build. Eng.* 76, 107333 (2023). DOI:10.1016/j.jobbe.2023.107333
5. Vodopija, A., Stork, J., Bartz-Beielstein, T., Filipič, B.: Elevator group control as a constrained multiobjective optimization problem. *Appl. Soft Comput.* 115, 08277 (2022). DOI:10.1016/j.asoc.2021.108277

УДК 621.3:621.4

ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРМЕТАЛІДУ САМІТАЛ У ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ ОБЕРТОВОГО МОМЕНТУ ТЕПЛОВОГО ДВИГУНА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТИПУ З МЕТОЮ ПОДАЛЬШОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

*Козирський В.В.¹, д.т.н., професор, директор з дослідження та розвитку
компанії «ALOTEK technology»; Бунько В.Я.², к.т.н., доцент*

¹Компанія «ALOTEK technology», Польща.

*²Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і
природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»,
м. Бережани, Україна.*

Сучасний розвиток науки і техніки забезпечує постійне впровадження нових функціональних мідно-алюмінієвих сплавів та технологій, що визначає напрям інноваційних змін у виробництві. Вказані матеріали лежать в основі різноманітних конструкцій і широко використовуються в авіаційній, ракетно-космічній та атомній промисловості [1], а також у медицині, енергетиці й галузі зв'язку.

Використання матеріалів із унікальними властивостями відкриває перспективи для формування інноваційних інженерних рішень [2]. Прикладом є функціональний інтерметалід Samital – сплав з пам'яттю форми, виробником якого є компанія ALOTEK technology [3].

На сьогоднішній день компанія [3] являється єдиним виробником сплавів з пам'яттю форми на основі міді та засобів і механізмів на їх основі у Європі. На даному етапі вирішуються задачі створення теплових двигунів та електростанцій на їх основі, які працюють від низькопотенційних джерел енергії (теплова

енергія у водосховищах атомних електростанцій, вторинних теплових ресурсів на виробництвах). На кожен 1 грам сплаву з пам'яттю форми можливо отримати до 3 Вт потужності, а використання сплаву Camital, який є дешевшим у 14-17 разів з широко відомим сплавом Nitinol робить ще більш ефективним створення новітніх систем диверсифікації використання вторинних теплових ресурсів [2].

Основні переваги таких двигунів [4]:

✓ висока ефективність при низьких температурах – здатність функціонувати за умов незначних температурних перепадів, що забезпечує можливість використання низькопотенційних джерел теплової енергії (сонячної, геотермальної, теплових відходів промисловості тощо).

✓ безшумність та конструктивна простота – відсутність тертя між рухомими елементами сприяє зменшенню зношування деталей і скороченню витрат на технічне обслуговування.

✓ екологічність – робота без спалювання палива, із застосуванням природних джерел теплової енергії.

✓ компактність – можливість створення мініатюрних і легких систем, що є суттєвим фактором для автономних пристроїв.

Принцип дії теплових двигунів на основі сплавів з пам'яттю форми ґрунтується на здатності матеріалу змінювати конфігурацію під впливом температури. Зазначене явище забезпечує пряме перетворення теплової енергії у механічну роботу без застосування традиційних поршневих або турбінних механізмів, а отримана механічна робота може бути використана для виробництва електричної енергії.

Для застосування елементів в тепловому двигуні використовуються пластини з функціонального сплаву Cu-Al-Mn (рис.1).



Рис.1 – Пластини з функціонального сплаву Camital



Рис.2 – Робоче колесо теплового двигуна горизонтального типу з елементами із сплаву Camital [4]

Як ілюструє рис. 2, інтеграція інтерметаліду Camital у конструкцію такої технологічної системи відкриває можливість реалізації процесу, що охоплює створення обертового моменту в тепловому двигуні, конверсію теплової енергії в механічну роботу та її подальше перетворення в електричну енергію.

Отже, застосування функціональних сплавів з ефектом пам'яті форми створює значні перспективи для побудови систем, призначених для генерації електричної енергії з різноманітних джерел, зокрема теплових електростанцій, водойм атомних станцій та вторинних теплових ресурсів промислового виробництва.

Перелік джерел посилань

1. Калініна, Н.Є. Використання алюмінієвих сплавів в авіаційній та ракетно-космічній техніці : навч. посіб. /Н.Є. Калініна, О.В. Бондаренко. Д.: РВВ ДНУ, 2011. 64 с.
2. <https://glavred.net/ukraine/alotek-technology-innovaciji-dlya-virishennya-problem-v-energetici-10646015.html> (дата звернення 25.09.2025)
3. <https://alotek.international/uk> (дата звернення 26.09.2025)
4. Kozyrskiy V., Bunko V. (2025). Experimental Studies of Elements from the Functional Intermetallic Cu-Al-Mn for Construction of a Heat Engine and Power Plant. PROBLEMS of the REGIONAL ENERGETICS. E-Journal №3(67)2025. p. 162-173. <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2025.3-67.14>

УДК 621.313

КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

*Потапенко М.В., к.т.н., доцент; Шаріонь В.Л., старший викладач
Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і
природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»,
м. Бережани, Україна.*

Впровадження перетворювачів частоти сприяє економії енергії за рахунок оптимізації роботи двигуна та електроприводу в цілому. Це особливо важливо в умовах змінного навантаження, коли виникає необхідність регулювання швидкості обертання двигуна відповідно до вимог технологічного процесу [1]. Регулювання частоти дозволяє уникати перевитрат енергії, підтримуючи роботу електроприводу в режимах, максимально наближених до оптимальних.

Насамперед, для здійснення об'єктивного аналізу та оптимізації роботи частотно-регульованого електроприводу необхідно сформулювати систему критеріїв оцінки його енергоефективності.

До показників ефективності роботи відносять: активну, реактивну, повну потужності, що споживаються від перетворювача, величину втрат у різних елементах електроприводу, коефіцієнт потужності, коефіцієнт корисної дії, параметри електромеханічної характеристики, показники, що характеризують завантаження елементів електричних і магнітних кіл двигуна, а також використання по струму і напрузі силових джерел живлення тощо.

Очевидно, що досягнення оптимальних значень усіх параметрів енергоефективності одночасно є практично неможливим, оскільки вони можуть суперечити один одному або мати різну природу впливу на загальну ефективність системи [2]. У зв'язку з цим доцільним є використання векторного

показника енергоефективності, який визначається наступним чином:

$$Y(V, X) = y_1(V, X), y_2(V, X), \dots, y_n(V, X), \quad (1)$$

де $y_i(V, X)$ – один із показників ефективності; V – вектор керуючих параметрів оптимізаційної моделі; X – вектор стану електроприводу.

Задача полягає у виборі такого режиму роботи електроприводу, при якому $Y(V, X)$ досягає максимально можливого значення, і параметри лежать у допустимих діапазонах при всіх значеннях моменту та швидкості, необхідних в даному технологічному процесі. При оцінці енергетичної ефективності в залежності від практичних цілей можуть використовуватися як один показник якості, так і деяка сукупність показників. В цьому випадку постановка задачі оцінки енергетичної ефективності буде відображувати її багатокритеріальний характер.

Оцінка ефективності режимів електродвигуна по відношенню до мінімуму сумарних втрат має практичне значення в наступних випадках:

- при забезпеченні мінімальних втрат для обмеження нагріву електродвигуна і розширення області допустимих по нагріву навантажень;
- для підвищення коефіцієнта корисної дії електродвигунів при регулюванні швидкості та зміні моменту навантаження в широких діапазонах;
- при обґрунтуванні варіанта керування, близького до оптимального, коли в якості еталона використовується керування, що забезпечує режим мінімальних втрат.

Таким чином, правильний підхід до оцінки енергоефективності та вибору режимів роботи частотно-регульованого електроприводу дозволяє не лише економити енергію, а й забезпечити довговічність та надійність роботи електромеханічної системи.

Перелік джерел посилань

1. Попович М. Г., Лозинський О. Ю., Клепиков В. Б. та ін. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. К.: Либідь, 2005. 680 с.
2. Самойленко І.О., Гриб О.Г., Запорожець А.О. та ін. Енергетичний менеджмент та енергоефективність: підручник. Харків: ФОП Бровін О. В., 2020. 348 с.

УДК 631.544

ПІДВИЩЕННЯ УРОЖАЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ

***Червінський Л.С., д.т.н., професор, Макода О.А., аспірант
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м.Київ, Україна***

При вирощуванні рослин в теплицях та інших спорудах захищеного ґрунту важливим параметром мікроклімату, що впливає на формування якості та врожайності культур є фотосинтезне опромінення, особливо в пори року, коли сонячного світла є недостатньо.

Сучасні SMART технології вирощування рослин, як новий високоінтенсивний тип сільськогосподарського виробництва без участі людей, являють собою широкий комплекс проблем, успішне вирішення яких пов'язано з участю різних спеціалістів – фізіологів рослин і світлотехніків, агрономів і електротехніків та працівників ІТ сфери.

Основними факторами, що впливають на розвиток і ріст рослин є: режим опромінення, ефективність засвоєння поживних речовин, вплив коливань температури і вологи. [1,2]. Всі наведені параметри мікроклімату є взаємозв'язаними і взаємозалежними. В даний час такі параметри як вологість ґрунту та повітря в приміщенні, температура в приміщенні і мінеральний склад ґрунту достатньо вивчені і можуть підтримуватись в заданих значеннях. Проте стабілізація їх визначених значень займає значний проміжок часу в технологічному процесі. При цьому регулювання необхідних параметрів опромінення (спектрального складу випромінювання, інтенсивності випромінювання та його тривалості) потребує значного меншого періоду часу і досягається меншими витратами.

Проаналізуємо можливість оптимізації параметрів опромінення за допомогою побудованої нижче залежності.

Регресійну залежність впливу факторів опромінення в загальному вигляді можна представити виразом:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 \quad (1)$$

де b_0 – вільний член, що характеризує задані стабілізовані параметри мікроклімату (температуру, вологість, вуглекислий газ, стан ґрунту тощо);

b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти впливу факторів;

x_1, x_2, x_3 – фактори впливу;

x_1 - інтенсивність випромінювання (опроміненість),

x_2 , час дії опромінення,

x_3 - спектральний склад потоку оптичного випромінювання (спектр фотосинтезної дії).

Взаємодію цих факторів і, відповідно, ефективність опромінення характеризують три останні члени рівняння регресії. Їх взаємозв'язок і ефективність залежать від світлотехнічних і енергетичних характеристик світильників і джерел фотосинтезного випромінювання, що застосовуються в теплиці та своєчасного контролю за реакцією рослин.

Підвищення ефективності технологічних процесів вирощування рослинної та овочевої продукції в спорудах захищеного ґрунту неможливе без оптимізаційного підходу до світлокультури технологічного процесу, зокрема, визначення найбільш ефективного спектрального складу оптичного випромінювання, величини опроміненості у відповідності до фази розвитку рослини та тривалості (доза) опромінення при сталих оптимальних параметрах мікроклімату та мінерального складу ґрунту.

Проведення багатфакторного експерименту щодо дослідження і аналізу вище приведеної регресійної залежності дозволить вирішити визначені задачі оптимізації та знайти найбільш ефективні значення факторів впливу [3]. При цьому доцільно використовувати різні підходи до оптимізації: математичний,

експериментальний, метод експертних оцінок Дельфі, метод нейронних мереж, тощо.

Перелік джерел посилань

1. Червінський Л.С. Світлокультура рослин. Процес становлення / Л.С. Червінський, Л.О. Сторожук // Енергетика і автоматика. – 2010. – № 3(5) [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http:// www.nbu.gov.ua/e - journals/eia/2010-3/index.htm](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/eia/2010-3/index.htm) (електронне фахове видання).
2. Червінський Л.С. Математичне моделювання просторової фотосинтезної опроміненості в спорудах захищеного ґрунту/ Червінський Л.С., Луцак Я.М. / Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти, Вип. №4. Мелітополь, - 2016. С.53-61.
3. Червінський Л.С. Метод визначення просторової фотосинтезної опроміненості / Червінський Л.С., Усенко С.М., Книжка Т.С., Луцак Я.М.// Технічна електродинаміка/ Інст. Електродинаміки НАН України, №5 – 2016- м.Київ, С. 88-90.

УДК 621.327.539

ВПЛИВ ВІДХИЛЕННЯ НАПРУГИ НА ЕЛЕКТРОПРИВОДИ РОБОЧИХ МАШИН МЕХАНІЧНОЇ МАЙСТЕРНІ

*Синявський О.Ю., к.т.н., доцент; Савченко В.В., к.т.н., доцент; Малихін В.С., студент магістратури; Зіненко Р.В., студент магістратури
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

Відхилення напруги від нормованих значень викликає негативні наслідки, серед яких найсуттєвішими є порушення нормального ходу технологічних процесів, простої підприємств та випуск неякісної продукції, скорочення строку служби електрообладнання, зростання втрат електроенергії в елементах системи електропостачання [1].

В Україні відхилення напруги буває від -20 % до +30 % [2].

Для металообробних верстатів швидкість різання прямо пропорційна кутовій швидкості приводного двигуна

$$v_* = \omega_* \quad (1)$$

У верстатів, які працюють з постійною потужністю, закон зміни швидкості різання при зміні напруги має вигляд:

$$U_* = \sqrt{\frac{M_0 + (M_{сн} - M_0) / v_*}{\beta_\omega (\omega_0 - \omega_n v_*)}} = \sqrt{\frac{M_{сн} - M_0 (1 - v_*)}{\beta_\omega (\omega_0 v_* - \omega v_*^2)}} \quad (2)$$

Для верстатів, які працюють з постійним моментом, цей закон записується у вигляді:

$$U_* = \sqrt{\frac{M_{сн}}{\beta_\omega (\omega_0 - \omega_n v_*)}} \quad (3)$$

У насосів і вентиляторів продуктивність прямо пропорційна кутовій швидкості, тоді закон зміни продуктивності насосів і вентиляторів при відхиленні напруги запишеться у вигляді:

$$U_* = Q_* \sqrt{\frac{K_3 s_n}{1 - Q_*(1 - s_n)}}, \quad (4)$$

де K_3 – коефіцієнт завантаження; s_n – номінальне ковзання двигуна.

Таким чином, закон зміни продуктивності робочих машин визначається їх механічною характеристикою та жорсткістю механічної характеристики електродвигуна. Встановлено, що при зниженні напруги на 20 % продуктивність робочих машин знижується до 3 %, а потужність – до 9 %.

Перелік джерел посилань

1. Вплив якості електроенергії на функціонування споживачів у сільському господарстві / Д. Г. Войтюк, В. П. Лисенко, І. І. Мартиненко [та ін.]. Електрифікація та автоматизація сільського господарства. 2004. №1(6). С. 3–12.
2. Синявський О. Ю., Горобець В. Г. Вплив якості електроенергії на енергетику електроприводів в усталеному режимі. Науковий вісник НУБіП України. 2010. Вип. 153. С. 133 – 138.

УДК 621.327.539

АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРИГОТУВАННЯ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ У ВЕСНЯНІЙ ГІДРОПОННІЙ ТЕПЛИЦІ

*Синявський О.Ю., к.т.н., доцент; Савченко В.В., к.т.н., доцент,
Кім В.М., студент магістратури; Баган В.С., студент магістратури
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

Для підвищення ефективності тепличного овочівництва необхідно впровадити енерго- і ресурсозберігаючі технології, до яких належить технологія вирощування рослин на мінеральній ваті [1].

Поживні речовини рослини при вирощуванні на мінеральній ваті отримують із живильного розчину. Питому електропровідність розчину підтримують в межах 0,2-0,25 См/м при 25°C для огірків і 0,25-0,3 См/м для томатів, кислотність – 5,0-6,0 рН.

Живильний розчин готується у вузлі його приготування. Вузол приготування живильного розчину складається з баків для концентрованих розчинів мінеральних добрив А і Б, мінеральні добрива в яких розподілені за певною схемою; бака для кислоти; змішувальної камери та насоса подачі води і живильного розчину в теплиці. У схемі передбачений інжекційний принцип приготування живильного розчину. Концентровані розчини додають до води у співвідношенні 1:100.

Подачею кислоти та концентрованих розчинів мінеральних добрив керують електромагнітні вентиля. Кислотність живильного розчину контролює рН-метр, а концентрацію – кондуктометр [2]. При зниженні рН розчину нижче заданого значення вимикається вентиль подачі кислоти, а при підвищенні концентрації розчину вище заданого значення кондуктометр вимикає вентиля

подачі концентрованих розчинів мінеральних добрив.

Живильний розчин подається насосом через фільтр у теплицю. Проток в системі контролює електроконтактний манометр, який дає команду на вимикання насоса при відсутності потоку в системі.

У кожному блоці теплиць змонтовані вентилі подачі живильного розчину. Роботою електромагнітних вентилів керує автомат поливання рослин який забезпечує роботу системи поливання за часовою програмою або за сигналами давача вологості мінеральної вати.

Застосування автоматизованого електрообладнання для мінерального живлення рослин дає можливість підвищити врожайність овочевих культур на 10 – 15 % та знизити використання мінеральних добрив на 5 – 10 %.

Перелік джерел посилань

1. Приліпка О.В. , Цизь О.М. Агротехнологічні та організаційні засади функціонування підприємств закритого ґрунту. К.: Центр учбової літератури, 2023.
2. Електропривод і автоматизація: підручник [Синявський О.Ю., Савченко П.І., Савченко В.В. та ін.]; за ред. О.Ю. Синявського. К.: ФОП Ямчинський О.В., 2019. 619 с.

УДК 621.327.539

АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ ДОЗУВАННЯМ ГРУБИХ КОРМІВ

***Синявський О.Ю., к.т.н., доцент; Савченко В.В., к.т.н., доцент;
Домбровський К.С., студент магістратури; Синишин І.І., студент
магістратури***

*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ,
Україна*

Загальним недоліком кормоцехів на базі змішувачів неперервної дії є велика нерівномірність видачі грубих кормів, що в значній мірі обумовлюється якістю кінцевої суміші та призводить до неоправданих втрат кормів [1].

Це пояснюється тим, що регулювання та комутація потоків компонентів здійснюються вручну на основі візуальних спостережень, а використовуване об'ємне дозування не забезпечує ефективного формування потоків компонентів сумішей. Відсутні засоби вимірювання витрати кормів у неперервному потоці.

Тому питання зі створення систем електрообладнання потокових ліній у кормовиробництві, які проводять дозування компонентів кормів з урахуванням їх фізико-механічних властивостей, є особливо актуальними.

Проводилися дослідження нерівномірності дозування грубих кормів дозатором БДК-Ф-70-20. Аналіз спектрів показав, що при частоті коливань потоку $\omega \geq 0.91 \text{ c}^{-1}$ спектральна густина $S(\omega) \rightarrow 0$, оскільки її крива у межах частот $0,07 \dots 0,9 \text{ c}^{-1}$ описує 80...95 % загальної дисперсії. Звідси випливає, що максимальна частота елементарних гармонік коливань потоку з кормової маси практично не перевищує $0,91 \text{ c}^{-1}$, що відповідає періоду 7 с. Це означає, що кожні 7 с може виникнути необхідність у зміні режиму роботи дозатора. Звідси

впливає, що для забезпечення високої точності підтримання рівномірності потоку ручне регулювання повинно бути замінено пристроями автоматичного керування і контролю.

Спектри потоку матеріалу при регулюванні подачі цим конвеєром апроксимуються експоненціальною – косинусною функцією:

$$S(\omega) = \frac{A_i * D_x}{\pi} \left[\frac{1}{A_i^2 + (\omega - \beta_i)^2} + \frac{1}{A_i^2 + (\omega + \beta_i)^2} \right] \quad (1)$$

При апроксимації величина параметрів при швидкості донного транспортера 73,5 с⁻¹, 94,2 с⁻¹ та 147 с⁻¹ становили відповідно $A_1=0,11$; $A_2=0,115$; $A_3=0,15$; $\beta_1=0,21$; $\beta_2=0,28$; $\beta_3=0,42$.

У зв'язку з цим на основі методики, запропонованої Ю. Д. Ведінеєвим, доведена доцільність застосування регулятора швидкості данного конвеєра після чого визначена його гранична швидкість – 5...6 мм/с і частота пропускання пристрою вимірювання витрат кормів у безперервному потоці (0,07 ...1) с⁻¹.

Для вимірювання витрати кормів в потоці розроблений ультразвуковий витратомір. Ультразвуковий спосіб вимірювання витрати кормів у потоці полягає в тому, що контрольований матеріал прозвучується у зависному стані в місті його вивантаження із живильника.

Принципальна електрична схема ультразвукового витратоміра містить блок живлення, випромінювач, приймач, підсилювач, коректор, пороговий елемент. Пороговий елемент є сигналізатором, за рахунок якого виключається похибка вимірювань при потраплянні в стеблову масу сторонніх предметів.

Ефективний ультразвуковий коридор при цьому утворюються між випромінювачем та приймачем випромінювання за допомогою компенсатора, насадженого на резонатор приймача. Розмір входної кромки визначатися із залежності:

$$D_k = (G_m \gamma^{-1} * V_{ж}^{-1})^{1/2}, \quad (2)$$

де D_k – розмір входної кромки концентратора;

G_m – максимальна продуктивність живильника м/с;

γ – об'ємна маса контрольованого матеріалу, кг * м⁻³

$V_{ж}$ – швидкість живильника.

Цей вираз дає можливість вибрати потрібний розмір ультразвукового коридору при зміні виду матеріалу і параметрів дозатора.

Лабораторні дослідження розробленого пристрою показали, що характер потоку матеріалу не впливає на точність вимірювань, а найбільш ефективна частота прозвучування дорівнює 40 кГц. Залежність напруги на вході приймача від подачі матеріалу лінійна в робочому діапазоні дозатора при різній мірі подрібнення стеблової маси. Несуттєвий вплив вологості на процес прозвучування компенсується коректором.

На основі розробленого пристрою вимірювання витрати кормів побудована система електрообладнання дозувального пристрою [2].

Система електрообладнання містить електропривод дозатора стеблових кормів ДСК-30 та регульований електропривод живильника грубих кормів.

Сигнал з витратоміра підсилюється і поступає в пристрій порівняння регулятора, який виробляє сигнали керування асинхронним двигуном, який змінює швидкість руху стрічки контейнера, відповідно і подачу корма.

Для регульованого електропривода живидьника грубих кормів вибраний перетворювач частоти VDF022EL43A для двигуна потужністю 2,2 кВт [3].

Застосування розробленої системи електрообладнання дозувального пристрою потокової лінії приготування грубих кормів забезпечує коефіцієнт варіації 11 %, а відхилення математичного очікування порівняно із заданим не перевищує 3 %, що свідчить про високу якість дозування.

Перелік джерел посилань

1. Ревенко І.І., Щербак В. М. Механізація тваринництва. К.: Вища освіта, 2004. 319 с.
2. Електропривод і автоматизація: підручник [Синявський О.Ю., Савченко П.І., Савченко В.В. та ін.]; за ред. О.Ю. Синявського. К.: ФОП Ямчинський О.В., 2019. 619 с.
3. Перетворювач частоти Delta Electronics, 2,2 кВт Режим доступу: <https://deltaww.com.ua/vfd022el43a-preobrazovatel-chastoty-22kw-380v-vfd022el43a>

УДК 621.327.539

ВПЛИВ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГИ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСОСІВ

*Савченко В.В., к.т.н., доцент; Синявський О. Ю., к.т.н., доцент;
Бандурка Р. Т., студент магістратури; Гекало М. В., студент
магістратури*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

Нині встановлено, що найбільший вплив на електроприводи виробничих машин і механізмів мають відхилення та несиметрія напруги. Допустиме відхилення напруги в Україні становить $\pm 5\%$, а гранично допустиме її відхилення $\pm 10\%$. Проте фактичне відхилення напруги значно перевищує допустиме значення. Математичне очікування відхилення напруги знаходиться в межах 16% , а діапазон зміни напруги складає $15\text{--}28\%$ від номінального [1].

При несиметрії напруги асинхронний двигун працює на робочій частині механічної характеристики, яку можна вважати лінійною [3].

При несиметрії напруги механічна характеристика електродвигуна на робочій ділянці опишеться рівнянням:

$$M_{\partial} = \beta_{\partial a} \cdot \beta_{\partial n} (\omega_0 - \omega), \quad (1)$$

де M_{∂} – момент двигуна, Н·м; β_{∂} – жорсткість механічної характеристики електродвигуна, Н·м·с; $\beta_{\partial a} = \beta_{\partial a} / \beta_{\partial n}$ – жорсткість механічної характеристики електродвигуна при несиметрії напруги у відносних одиницях; $\beta_{\partial a}$ – жорсткість механічної характеристики електродвигуна при несиметрії напруги; $\beta_{\partial n}$ – жорсткість механічної характеристики електродвигуна при номінальній симетричній напрузі, Н·м·с.

Механічна характеристика насосів [3]:

$$M_c = M_0 + (M_{cn} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2, \quad (2)$$

де M_c – момент статичних опорів насоса, Н·м, при заданій кутовій швидкості; M_0 – початковий момент, Н·м; M_{cn} – момент статичних опорів, Н·м, при номінальній кутовій швидкості; ω і ω_n – задане і номінальне значення кутової швидкості, с⁻¹.

Питома витрата електроенергії насосної установки, кВт·год/м³, визначається за формулою:

$$q = P_l / Q, \quad (3)$$

де P_l – потужність, споживана двигуном з мережі, кВт.

Змінні втрати потужності асинхронного електродвигуна визначаються за формулою [2]:

$$\Delta P_v = \Delta P_{v2} + \Delta P_{v1} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) M_\phi \omega_0 s, \quad (4)$$

де ΔP_{v2} , ΔP_{v1} – змінні втрати потужності в колах ротора і статора, Вт; R_1 – активний опір обмотки ротора, Ом; R_2' – опір обмотки ротора, зведений до обмотки статора, Ом; s – ковзання двигуна.

У насосів початковий момент невеликий, тому їм можна знехтувати:

$$\beta_\phi \beta_{\phi a^*} (\omega_0 - \omega) = M_{cn} \omega_*^2 = K_3 \beta_\phi (\omega_0 - \omega_n) \omega_*^2, \quad (5)$$

де ω_n – номінальна кутова швидкість двигуна, с⁻¹.

З виразу (5) отримаємо залежність ковзання двигуна від напруги:

$$s = \frac{K_3 s_n \omega_*^2}{\beta_{\phi a^*}}. \quad (6)$$

Тоді змінні втрати потужності можна записати у вигляді:

$$\Delta P_v = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) \beta_\phi \beta_{\phi a^*} \omega_0^2 s^2 = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) \frac{\beta_\phi \omega_0^2 K_3^2 s_n^2 \omega_*^4}{\beta_{\phi a^*}}, \quad (7)$$

або

$$\Delta P_v = \Delta P_{vn} \omega_*^4 / \beta_{\phi a^*}. \quad (8)$$

У відносних одиницях вираз (3) запишеться у вигляді:

$$q_* = \frac{P_2 + \Delta P_c + \Delta P_v}{P_{2n} + \Delta P_{cn} + \Delta P_{vn}} \cdot \frac{Q_n}{Q} = \frac{P_2 + \Delta P_{vn} (\alpha + \Delta P_v / \Delta P_{vn})}{P_{2n} + \Delta P_{vn} (\alpha + 1)} \cdot \frac{Q_n}{Q}, \quad (9)$$

де P_{2n} і P_2 – відповідно потужність на валу двигуна при номінальній симетричній напрузі і несиметрії напруги, Вт; ΔP_{cn} і ΔP_c – постійні втрати, Вт; ΔP_{vn} і ΔP_v – змінні втрати, Вт; α – коефіцієнт втрат.

У насоса продуктивність прямо пропорційна кутовій швидкості

$$Q = Q_n \omega_*, \quad (10)$$

а потужність пропорційна кубу кутової швидкості:

$$P_2 = P_{2n} \omega_*^3. \quad (11)$$

Номінальні змінні втрати потужності можна визначити через ККД електродвигуна:

$$\Delta P_{vn} = \frac{\Delta P}{(\alpha + 1)} = \frac{P_{2n} (1 - \eta_n)}{\eta_n (\alpha + 1)}. \quad (12)$$

Підставивши вирази (10) – (12) у вираз (9), після перетворень отримаємо:

$$q_* = \eta_n Q_*^2 + \frac{1 - \eta_n}{(\alpha + 1)} \cdot \frac{(\alpha_a + Q_*^4 / \beta_{oa*})}{Q_*}. \quad (13)$$

Висновки. При несиметрії напруги зменшується жорсткість механічної характеристики електродвигуна. При цьому зростає ковзання та втрати потужності. Внаслідок цього зростають питомі втрати електроенергії в насосних установках.

Перелік джерел посилань

1. Szultka A., Szultka S., Czapp S., Zajczyk R. Voltage Variations and Their Reduction in a Rural Low-Voltage Network with PV Sources of Energy. *Electronics* 2021, 10(14), 1620
2. Лаврінченко Ю.М., Савченко П.І., Синявський О.Ю. та ін. Основи електропривода. К.: Видавництво Ліра-К, 2016. 524 с.
3. Синявський О.Ю., Савченко В.В., Лаврінченко Ю.М. та ін. Електропривод виробничих машин і механізмів. К.: ФОП Ямчинський О.В., 2020. 444 с.

УДК 621.313.13

СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБЕРТОВОЇ ЧАСТИНИ ЗАГЛИБНОГО ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ АНАЕРОБНОЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ

Заблодський М.М. д.т.н., професор; Бабак Д.О.

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

Безконтактний спосіб передавання електричної енергії до обертових елементів електромеханічних систем є не лише технічно доцільним, а в ряді випадків - єдино можливим рішенням, зокрема у вибухонебезпечних або хімічно агресивних середовищах [1,2]. Метою роботи є створення системи вимірювання і передавання відповідних поточних даних стану обертової частини заглибного електромеханічного перетворювача для забезпечення автоматичного керування процесом анаеробної ферментації.

Обладнання для автоматичного керування процесом анаеробної ферментації включає заглибний поліфункціональний електромеханічний перетворювач (ПЕМП) для змішування, нагріву та впливу магнітного поля на субстрат. поєднаний з напівпровідниковим перетворювачем напруги, цифрові датчики, блоки спряження та мікроконтролер. На рис.1, як приклад, показано схему розташування високоточних цифрових термодатчиків DS18B20 в ПЕМП, який розміщено в біореакторі.

На рис. 2 показана блок-схема системи вимірювання і передавання відповідних поточних даних стану обертової частини ПЕМП. Для передачі показів з датчиків використовується радіомодуль на частоті 433 МГц. Після подачі живлення на повітряний трансформатор мікроконтролер вмикається та починає опитувати датчики з заданою періодичністю, після завершення

опитування всіх датчиків формується пакет даних, які передаються радіоканалом з рухомої частини на статичну.

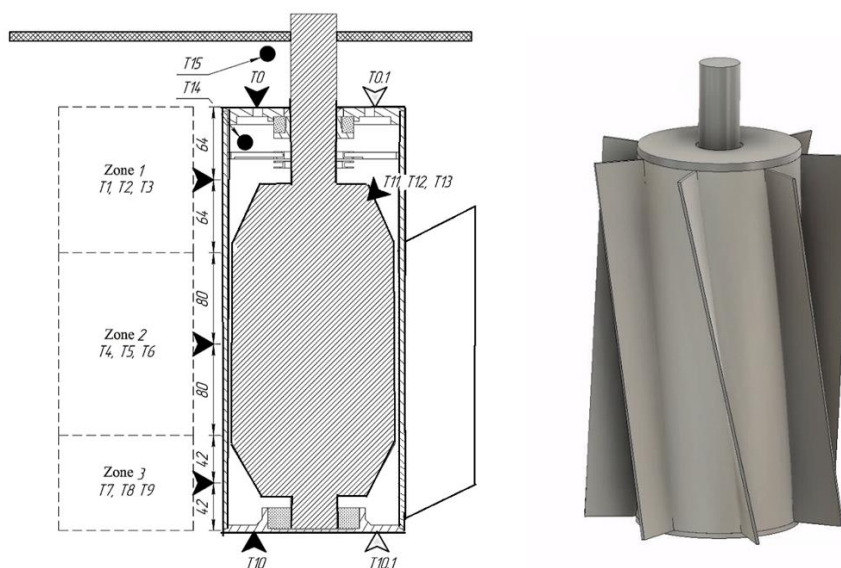


Рис. 1. Сенсори в ПЕМП, який розміщено в біореакторі



Рис. 2. Блок-схема системи вимірювання і передавання поточних даних стану обертової частини ПЕМП

Для перевірити роботи схеми було створено експериментальний стенд, що дозволяє імітувати повноцінний цикл роботи пристрою в умовах, наближених до реальних. Для цього була розроблена спеціалізована програма для мікроконтролера, що відтворює типову послідовність дій контролера на обертовій частині електромеханічного перетворювача.

Розроблена експериментальна методика дозволила здійснити покрокову верифікацію працездатності системи у динаміці, виявити найкритичніші моменти енергоспоживання та переконатися у достатній стабільності електроживлення для забезпечення коректного виконання усіх функцій

програмного забезпечення мікроконтролера. Зроблений аналіз дає підстави дійти висновку, що використання обертового трансформатора у запропонованій конструкції є доцільним і ефективним рішенням, що задовольняє вимоги до безконтактного живлення в умовах вибухонебезпечного середовища.

Перелік джерел посилань

1. Xu, Z. U., & JIANG, Q. (2019, August). Study of high frequency rotary transformer structures for contactless inductive power transfer. In 2019 22nd International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS) (pp. 1-5). IEEE. (date of access: 19.10.2025).
2. Zablodskiy, N., Klendiy, P., Dudar, O., & Radko, I. (2023). Research of the Influence of the Combined Electromagnetic Field on Biogas Output. *Problemele Energeticii Regionale*, 58(2), 81-96. <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2023.2-58-08> (date of access: 19.10.2025).

УДК 621.327.539

КОМПЕНСОВАНИЙ АСИНХРОННИЙ ГЕНЕРАТОР ПІДВИЩЕНОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Чуєнко Р.М., к.т.н., доцент; Феньо О.І., студент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

Забезпечення промислових та побутових споживачів стабільним постачанням електричної енергії є важливою задачею для енергетичної системи нашої держави. Особливої актуальності дане питання набуває нині в умовах частих перерв в електропостачанні зумовлених масованими ракетними атаками на енергетичну інфраструктуру. Для живлення споживачів все частіше використовуються різноманітні автономні джерела електричної енергії, виконані на базі синхронних або асинхронних генераторів. Наукові дослідження повинні бути спрямовані на підвищення енергетичної безпеки держави і вирішення актуальної та нагальної науково-прикладної проблеми створення енергоефективних автономних джерел електричної енергії.

Нині для генерування електричної енергії широкого застосування набули автономні асинхронні генератори із короткозамкненим ротором та ємнісним збудженням. Масштабне впровадження асинхронних генераторів тривалий час стримувалось через значну масу та вартість конденсаторів збудження. На сьогодні ця причина не є вирішальною, оскільки були створені вискоелефективні плівкові конденсатори, які мають майже на порядок меншу питому масу у порівнянні із самим генератором. Асинхронний генератор є більш простим пристроєм, ніж синхронні аналоги, і характеризується низькою вартістю, стійкістю до коротких замикань та перевантаження, високою захищеністю від бруду та вологи, надійністю експлуатації та тривалим терміном служби. Ще одна перевага полягає у відсутності обертових електронних пристроїв, що чутливі до зовнішніх впливів і досить часто виходять із ладу.

Асинхронний генератор, виконаний на базі асинхронного двигуна з

короткозамкненим ротором має низькі масо-габаритні показники та порівняно невелику вартість, простий в експлуатації, надійний, проте не забезпечує стабілізації напруги і частоти при зміні навантаження. Тому розробка і впровадження порівняно простих технічних удосконалень (без втручання у конструкцію машини), які дозволять підвищити енергоефективність асинхронного генератора для автономних систем електроживлення і є актуальним науково-технічним завданням.

Перелік джерел посилань

1. Пушкар М.В. Самозбудження та регулювання в автономних системах генерації з асинхронними генераторами: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи» / М.В. Пушкар. – Київ, 2016. – 22 с.
2. Приймак Б.І. Векторне керування асинхронним генератором з підвищеним коефіцієнтом корисної дії / Б.І. Приймак // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2021. – №1. – С. 49-56.
3. Компенсовані асинхронні машини: монографія / [В.І. Мішин, В.В. Каплун, Р.М. Чуєнко та ін.]. – К.: КНУТД, 2012. – 221 с.

УДК 621.3

ТЯГОВИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ЛЕГКОВОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

*Войтенко В.А., к.т.н., доцент; Водічев В. А., д.т.н., професор; Калінін О. Г.
Національний університет «Одеська політехніка». Одеса, Україна.*

Зростання кількості електромобілів у світі та в Україні обумовлене їх економічними й екологічними перевагами. Проте масове впровадження електротранспорту в Україні стримує висока вартість, електромобілів. Одним із способів вирішення цієї проблеми є переобладнання існуючих автомобілів на електромобілі з мінімальною зміною їх конструкції.

Метою дослідження є розробка тягового електропривода змінного струму для легкового автомобіля ЗАЗ-968М та аналіз електромеханічних процесів у системі електротранспортного засобу під час його руху.

Вихідними даними стали технічні характеристики автомобіля ЗАЗ-968М. При проектуванні було використано існуючу механічну трансмісію автомобіля з чотиріступінчастою коробкою перемикачів передач. Для зменшення вартості електроприводу було обрано асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, перетворювач частоти та літій-йонну акумуляторну батарею.

Проведено розрахунки сил опору руху та необхідної потужності тягового двигуна. Встановлено, що для тривалого руху електромобіля зі швидкістю 70 км/год. потрібна потужність тягового двигуна має бути не менше 8,7 кВт. Тому було обрано асинхронний двигун 4А132М2У3 потужністю 11 кВт і синхронною частотою обертання вала 3000 об/хв. Було розроблено літій-йонну акумуляторну батарею номінальною напругою 592 В та ємністю 30 А·год (17,76 кВт·год). Це дозволяє електромобілю рухатись на швидкості 73 км/год на відстань 100 км.

Повна маса електромобіля дорівнює масі автомобіля ЗАЗ-968М (1200 кг), проте корисне навантаження зменшується з 450 кг до 360 кг.

Математичне моделювання в Matlab Simulink показало: розгін електромобіля до максимальної швидкості 73 км/год відбувається за 17,2 с, гальмування з використанням режиму рекуперації енергії – за 8,5 с. Асинхронний двигун може працювати з перевантаженням до 2,8 рази більшим номінального моменту, що дозволяє електромобілю долати підйоми до 36%.

Таким чином, використання асинхронного двигуна потужністю 11 кВт у поєднанні зі штатною коробкою перемикачів передач дозволяє міському електромобілю, побудованому на базі автомобіля ЗАЗ-968М, досягти максимальної швидкості 73 км/год, дальності руху 100 км та долати підйоми до 36%. Дослідження розробленого електромобіля підтверджує доцільність використання тягового електропривода з коробкою перемикачів передач для бюджетних міських електромобілів.

СЕКЦІЯ 4. ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА

UDC 504.06, 502.573

ANALYSIS OF ASPECTS OF POLLUTION OF ENVIRONMENTAL COMPONENTS FROM HEAT-AND-ELECTRIC POWER PLANT

*Pedan A., Kondratenko O., DSc(Engineering), Professor
Department of Fire and Technogenic Safety of Objects and Technologies,
Educational and Scientific Institute of Fire and Technogenic Safety, National
University of Civil Protection of Ukraine of SES of Ukraine,
Cherkasy, Ukraine*

Relevance of the study topic is due to the following components.

Compliance with the Order of the State Emergency Service of Ukraine № 618 dated 09/20/2013 «On approval of the Regulations on the organization of environmental support of the State Emergency Service of Ukraine» [1], the Decree of the President of Ukraine № 722/2019 dated 09/30/2019 «On the Sustainable Development Goals of Ukraine for the period until 2030» [2], the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 476 dated 04/30/2024 «On approval of the list of priority thematic areas of scientific research and scientific and technical developments for the period until December 31 of the year following the termination or abolition of martial law in Ukraine» [3], the Specialty Passport of 21.06.01 «Ecological Safety», approved by Resolution of the Presidium of the Higher Attestation Commission of Ukraine № 33-07/7 dated 04.07.2001 [4], the Law of Ukraine № 3769-IX dated 04.06.2024 «On Amendments to Some Laws of Ukraine Regarding the Mandatory Use of Liquid Biofuels (Biocomponents) in the Transport Sector» [5], the Standard of Higher Education in Specialty 183 «Environmental Protection Technologies» of the Third (Educational and Scientific) Level in the Field of Knowledge 18 «Production and Technologies», approved by Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine № 1427 dated 23.12.2021 [6], the Topics of Scientific Research and Scientific and Technical (Experimental) Developments for 2025-2029, approved by Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine № 326 dated 21.05.2024 [7], the Civil Protection Code of Ukraine in its current version dated 12.09.2025, Article 108 [8].

Purpose of the study. To analyze aspects of pollution of environmental components from a heat-and-electric power plant.

Object of the study. Negative technogenic impact on environmental components from a heat-and-electric power plant.

Subject of the study. Qualitative and quantitative indicators characterizing the object of the study.

Results of the study. Kharkiv region, as a region with developed industry and heat and power industry, faces significant environmental challenges associated with pollution of all components of the environment. The largest sources of pollution are enterprises of the heat and power industry, oil and gas and mining sectors. It has been established that H&E PP emit sulfur oxides, nitrogen oxides, carbon monoxide, heavy

metals, as well as products of incomplete combustion, including soot and benzopyrene, into the air, which have a negative impact on human health, cause respiratory diseases, destroy infrastructure, cause acid rain and reduce the transparency of the atmosphere. In addition, the introduction of modern technologies, such as reheating of steam, regenerative heating, the use of scrubbers to capture sulfur oxides and reduce the formation of nitrogen oxides through optimization of the combustion process, allows to significantly reduce the negative impact on the environment. Particular attention should be paid to the situation that has developed as a result of a full-scale war. The destruction of industrial facilities, a decrease in production volumes and the relocation of enterprises led to a temporary decrease in the level of industrial pollution. However, explosions, fires and shelling caused new environmental threats, including air pollution by combustion products and the destruction of infrastructure. Under martial law, assessing the real level of pollution is complicated by the limited ability to monitor and provide official reporting.

Conclusions. Thus, this study analyzed qualitative and quantitative indicators characterizing the negative technogenic impact on environmental components from a heat-and-electric power plant.

References

1. Order of the State Emergency Service of Ukraine No. 618 (with amendments) dated September 20, 2013 «On approval of the Regulations on the organization of environmental support of the State Emergency Service of Ukraine». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0618388-13#Text>.
2. Decree of the President of Ukraine № 722/2019 dated 30/09/2019 «On the Sustainable Development Goals of Ukraine for the period until 2030». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text>.
3. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 476 of 04/30/2024 «On approval of the list of priority thematic areas of scientific research and scientific and technical developments for the period until December 31 of the year following the termination or abolition of martial law in Ukraine». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/476-2024-%D0%BF#Text>.
4. Specialty passport 21.06.01 «Ecological safety», approved by the Resolution of the Presidium of the Higher Attestation Commission of Ukraine № 33-07/7 dated 04.07.2001. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va7_7330-01#Text.
5. Law of Ukraine № 3769-IX dated 04.06.2024 «On Amendments to Certain Laws of Ukraine Regarding the Mandatory Use of Liquid Biofuels (Biocomponents) in the Transport Sector». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3769-20#Text>.
6. Standard of higher education in specialty 183 «Environmental Protection Technologies» of the third (educational and scientific) level in the field of knowledge 18 «Production and Technologies», approved by Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine № 1427 dated 12/23/2021. URL: <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2021/12/24/183-Tekhn.zakh.navk.seredovyshcha-dokt.filos.pdf>.
7. Topics of Scientific Research and Scientific and Technical (Experimental) Developments for 2025-2029, approved by Order of the MIA of Ukraine № 326 dated 21.05.2024. URL: <https://mvs.gov.ua/normativno-pravovi-akti/nakaz-mvs-vid-21052024-326-pro-zatverdzenia-tematiki-naukovix-doslidzen-i-naukovo-texnicnix-eksperimentalnix-rozrobok-na-2025-2029-roki>.
8. Civil Defense Service Oath (Civil Defense Code of Ukraine in the current version of September 12, 2025, Article 108. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>.

АВТОНОМНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ГАЗУ НА БАЗІ СЕНСОРА ПЕРЕПАДУ ТИСКУ З ДИНАМІЧНОЮ ТЕМПЕРАТУРНОЮ КОРЕКЦІЄЮ

*Заблодський М. М.¹, д.т.н., професор; Ковальчук О. І.², аспірант
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

Для лабораторних та польових досліджень, а також для контролю споживання, необхідний недорогий, але прецизійний прилад для безперервного вимірювання об'ємної витрати газоподібної фази зріджених вуглеводневих газів. Існуючі комерційні витратоміри мають високу вартість, а їхня точність ускладнюється залежністю густини газу від температури та змінності хімічного складу палива. Тому метою роботи стало створення автономного мікропроцесорного витратоміра на базі датчика перепаду тиску, здатного забезпечити високу точність завдяки динамічній температурній компенсації густини та незалежному протоколюванню даних.

Система побудована на базі Arduino, використовує сенсор тиску MPXV7002DP [1] з каліброваною діафрагмою та датчик температури DS18B20. Об'ємна витрата визначається за модифікованою формулою Бернуллі:

$$Q = C_D \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot \nabla P / \rho(T)}$$

де C_D - коефіцієнт витрат, A - площа отвору, ∇P – перепад тиску, $\rho(T)$ - густина газу.

Для компенсації дрейфу сенсора реалізовано алгоритм Auto-Zero, який автоматично коригує нульовий рівень тиску та встановлює «мертвий діапазон» близько 15 Па для придушення шуму. Система фіксує потік, температуру й інтегральний об'єм на SD-карту з часовими мітками (DS3231) та відображає поточні параметри на OLED-дисплеї (128×64) [2]. Завдяки температурній корекції густини та Auto-Zero розроблений витратомір забезпечує високу точність вимірювання і є доступною альтернативою промисловим аналогам [3], придатною для автономних польових досліджень.

Перелік джерел посилань

1. Temperature Compensation Method Based on Bilinear Interpolation for Downhole High-Temperature Pressure Sensors / Y. Shu et al. *Sensors*. 2024. Vol. 24, no. 16. P. 5123. URL: <https://doi.org/10.3390/s24165123> (date of access: 21.10.2025).
2. Li Kharis L. M., Pudji A., Nugraha P. C. Development Portable Spirometer using MPXV7002DP Sensor and TFT Display for Lung Disease Detection. *Indonesian Journal of electronics, electromedical engineering, and medical informatics*. 2020. Vol. 2, no. 3. P. 122–129. URL: <https://doi.org/10.35882/ijeemi.v2i3.3> (date of access: 21.10.2025).
3. Low-Cost Approach to an Instream Water Depth Sensor Construction Using Differential Pressure Sensors and Arduino Microcontrollers / R. H. Pearce et al. *Sensors*. 2024. Vol. 24, no. 8. P. 2488. URL: <https://doi.org/10.3390/s24082488> (date of access: 21.10.2025).

МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ІНДУКЦІЙНИХ ПЕЧЕЙ В УМОВАХ НЕСТАБІЛЬНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Усенко С. М., к.т.н., доцент; Зозуля В.О. аспірант

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

Індукційні плавильні установки промислового призначення характеризуються складною динамікою навантаження через нелінійність електромагнітних процесів під час розплавлення металу та значну залежність від параметрів живильної мережі. Перехідні режими виникають внаслідок раптових змін напруги, частоти або конфігурації системи електропостачання, що призводить до порушення теплового балансу та електромагнітної стабільності робочого процесу. Математичне моделювання таких режимів потребує врахування взаємозв'язку між електричними параметрами інверторної схеми живлення, електромагнітним полем індуктора та теплофізичними властивостями металевого завантаження [1, с. 1080].

Сучасні системи живлення індукційних печей базуються на резонансних інверторах з IGBT-транзисторами, робота яких суттєво залежить від стабільності вхідної напруги постійного струму після випрямлення мережевої напруги. Нестабільність електропостачання проявляється через провали напруги глибиною до 40%, короткочасні перенапруги та коливання частоти в межах ± 2 Гц, що безпосередньо впливає на потужність передачі енергії у металеве завантаження через порушення резонансних умов коливального контуру. Динамічна модель має включати диференціальні рівняння для струмів індукторної котушки та конденсаторної батареї з урахуванням змінного активного опору завантаження, який залежить від температури та фазового стану металу [2, с. 445].

Перехідні електромагнітні процеси супроводжуються значними викидами реактивної потужності та генерацією вищих гармонік струму, амплітуда яких може перевищувати допустимі норми стандартів якості електроенергії під час просідань напруги живлення. Моделювання має враховувати нелінійну залежність індуктивності робочої котушки від глибини проникнення електромагнітного поля, яка змінюється пропорційно кореню квадратному з питомого опору розплаву та обернено пропорційно частоті струму. Алгоритми керування інвертором з фазозсувною широтно-імпульсною модуляцією дозволяють частково компенсувати вплив нестабільності живлення через динамічне регулювання кута зсуву між керуючими сигналами напівмостових ключів, однак швидкодія такого регулювання обмежена інерційністю теплових процесів у завантаженні.

Чисельне моделювання перехідних режимів виконується методом кінцевих елементів для просторового розподілу електромагнітного поля та методом Рунге-Кутти четвертого порядку для розв'язання системи диференціальних

рівнянь електричного кола з кроком інтегрування, який забезпечує стабільність обчислень на частотах до 10 кГц. Верифікація моделі проводиться порівнянням розрахункових часових залежностей струму індуктора, напруги на конденсаторній батареї та активної потужності з осцилограмами, отриманими під час експериментальних досліджень на промислових установках потужністю від 250 до 1500 кВт [3, с. 481]. Розбіжність між модельованими та виміряними величинами не перевищує 8% за умови коректного завдання температурних залежностей електрофізичних властивостей розплаву та параметрів схеми заміщення силового перетворювача.

Результати моделювання демонструють, що провали напруги тривалістю понад 150 мс призводять до втрати резонансного режиму з наступним неконтрольованим зростанням реактивного струму до значень, небезпечних для напівпровідникових ключів інвертора. Розробка алгоритмів швидкого відновлення робочого режиму потребує прогнозування траєкторії зміни параметрів навантаження на основі моделювання перехідних теплових процесів у металевому завантаженні з урахуванням конвективного переміщення розплаву під дією електромагнітних сил.

Перелік джерел посилань

1. Choudhary D. M., Kotwal C. D. Analysis of Load Dynamics in Induction Melting Furnace and Improved Power Quality with Phase Shift Modulated LLC Resonant IGBT Inverter. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. 2023. Vol. 11(1). P. 1078-1089.
2. Dimitrov B., Hayatleh K., Barker S., Collier G. Design, Analysis and Experimental Verification of the Self-Resonant Inverter for Induction Heating Crucible Melting Furnace Based on IGBTs Connected in Parallel. Electricity. 2021. Vol. 2(4). P. 439-458. <https://doi.org/10.3390/electricity2040026>
3. Vinayaka K. U., Subhash A., Naveen I., Adiga S. B., Vatti P. K. Modeling and Simulation of Electric Furnace in Steel Industry for Power Quality Analysis. 2022 Third International Conference on Intelligent Computing Instrumentation and Control Technologies (ICICICT). IEEE, 2022. P. 479-484.

УДК 621.1

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМОДИНАМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК НА БАЗІ ДВЗ

Колієнко А.Г.¹, к.т.н., професор; Шеліманова О.В.², к.т.н., доцент

¹*Національний університет Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка,
м. Полтава, Україна.*

²*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

Питання про визначення термодинамічної ефективності роботи когенераційних установок на базі ДВЗ набуває актуальності у зв'язку з поширенням таких установок, необхідністю визначення техніко-економічних показників, необхідних для планування витрат палива і видатків для їх роботи, та

об'єктивної оцінки її ефективності. Не менш важливим є порівняння ефективності роботи таких установок з класичним теплофікаційним циклом [1]. В роботі [2] проаналізовані існуючі методи визначення ефективності роботи КГУ. В паспортних даних КГУ на базі ДВЗ для споживачів також зазначено параметри, котрі характеризують ефективність їх роботи. Авторами виконано аналіз таких показників і показано, що в термодинамічному розумінні когенерація і теплофікація є спорідненими термінами, що означають одне і те ж – сумісне (комбіноване) вироблення двох видів енергії (теплової і електричної) в установці, до складу якої входять такі пристрої: генератор теплоти (тепловий двигун), електрогенератор і утилізатор теплоти. Відмінність між теплофікацією і когенерацією може проявлятися лише у вигляді робочого тіла. Відповідно, різними будуть і термодинамічні цикли, покладені в основу таких процесів, а також конструкції технологічних пристроїв (теплових двигунів) для їх реалізації. Але сутність таких установок однакова, тому і принципи розрахунку термодинамічних показників ефективності не повинні відрізнятися..

Генерація корисної теплоти $Q_{кор}$ за рахунок використання скидної теплоти в циклі Q_2 здійснюється в теплообмінниках-утилізаторах за тепловими процесами, які відрізняються від процесів з вироблення електричної енергії. Оскільки установки і процеси з вироблення корисної електричної енергії N_e і теплоти $Q_{кор}$ є різними, то економічність роботи когенераційних установок в цілому оцінюється не величиною коефіцієнту корисної дії (ККД) пристрою, а загальноенергетичним комплексним коефіцієнтом використання теплоти палива – КВП, який застосовується для сумісного вироблення двох видів енергії за різними термодинамічними процесами і у різних пристроях, але в межах однієї технологічної установки.

$$КВП = \frac{N_e + Q_{кор}}{Q_1} = \frac{N_e + Q_{кор}}{B \cdot Q_n^p}$$

Типові параметри ефективності КГУ, які містяться в паспортних даних таких пристроїв, наведені в таблиці.

Таблиця - Показники ефективності КГУ згідно їх паспортних даних

№	Назва КГУ або виробника КГУ	ККД _н з вироблення електричної енергії, %	ККД _q з вироблення теплової енергії, %
1	Gentex	40,4	49,2
2	Jenbacher	40,9–42,5	46,7
3	TEDOM	37,7	48,1
4	Wiessmann	34,4–36,5	54,4–59,4
5	MVM TCG	42,6–44,6	41,9–44,1

Наведені в таблиці дані свідчать про те, що при їх визначенні величини виробленої і електричної і теплової енергії було віднесено до загальної енергії палива на вході до машини. Таким чином всі непродуктивні втрати енергії послідовно відносять спочатку до вироблення електричної а потім теплової

енергії, що не є термодинамічно коректним. Наведені в паспортах КГУ величини фактично не характеризують ККД установки, а є двома доданками визначення величини комплексного коефіцієнту використання палива КВП для КГУ.

Крім того, таке визначення показників ефективності не враховує того факту, що показники ефективності КГУ можуть змінюватись залежно від умов роботи установки і попиту на теплову енергію. І в певний період часу скид теплоти з ДВЗ здійснюється на градирні охолоджувачі, без відпуску корисної теплоти, котра здешевлює вироблення електричної енергії. Задача ускладнюється також тим, що тарифи на природний газ, котрий відпускається для вироблення теплової і електричної енергії суттєво відрізняються.

Запропоновано методика визначення термодинамічних показників ефективності роботи КГУ на базі ДВЗ, яка базується на припущенні, що розподіл витрат палива при комбінованому виробленні енергії є пропорційним співвідношенню вироблення електричної і теплової енергії, визначеного у ході виконання робіт з енергетичного аудиту і режимного налагодження КГУ.

Перелік джерел посилань

1.ГКД 34.09.100-2003 «Витрати палива на відпущену електричну та теплову енергію при їх комбінованому виробництві на теплових електростанціях .Методика визначення. Львів ОРГРЕС .2003.

2.Когенераційні системи з тепловими двигунами Довідниковий посібник. В 3 частинах / Клименко В.М., Мазур А.І., Сабашук П.П. за редакцією А.І. Мазура. Інститут прикладних досліджень в енергетиці – К.: ІПЦ АЛКОН НАН України, 2008.

УДК 620.9:621.56:621.577:681.518

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УМОВАХ РЕГУЛЬОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА

*Станицький Т.О., старший викладач; Сиротюк С. В., к.т.н., доцент;
Гальчак В. П., к.т.н., доцент; Коробка С. В., к.т.н., доцент; Кригуль Р. Є.,
к.т.н., доцент; Дудко І.О., асистент*

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та
біотехнологій імені С.З. Гжицького, м. Львів, Україна.*

Експериментальний комплекс призначений для проведення поглиблених досліджень роботи обладнання відновлюваної енергетики в умовах, максимально наближених до природних, але таких, що можуть бути точно та незалежно регульовані. У сучасних умовах розвитку технологій теплових pomp, кондиціонерів, фотоелектричних панелей та інших енергоощадних систем виникає необхідність у створенні лабораторних установок, здатних відтворювати різні кліматичні режими з високою точністю. Це дозволяє досліджувати роботу обладнання в стандартних, екстремальних та перехідних умовах, проводити серію повторюваних експериментів, перевіряти енергоефективні рішення та здійснювати порівняльний аналіз характеристик.

Комплекс побудований таким чином, щоб забезпечувати стабільне середовище з регульованими параметрами температури, вологості, потоків повітря та інших кліматичних величин. Особливістю є можливість дослідження обладнання великогабаритного або модульного типу, оскільки робочий об'єм камер становить 15 м³ кожна, що забезпечує простір для монтажу, доступу і встановлення вимірювальних систем.

Основним елементом комплексу є дві самостійні кліматичні камери, виготовлені із сендвіч-панелей з високими теплоізоляційними характеристиками. Сендвіч-панелі, товщиною 100 мм, забезпечують мінімальні тепловтрати та створюють стабільні умови для відтворення заданих режимів.

Камери оснащені оглядовими блоками та технічними входами для кабелів і повітроводів, що дозволяє підключати вимірювальне обладнання без порушення герметичності.

Кожна камера оснащена окремою холодильною установкою Danfoss. Ці установки різняться за своєю потужністю, температурними діапазонами та характером регулювання. Камера №1 – низькотемпературна, малопродуктивна. Температурний діапазон: від +20 °С до –30 °С. Камера №2 – середньотемпературна, високопродуктивна. Температурний діапазон: від +30 °С до –5 °С.

Для забезпечення сталого рівня відносної вологості всередині камер використовується парогенератор, який подає водяну пару у внутрішній об'єм. Це дозволяє встановлювати та підтримувати стабільні показники вологості незалежно від роботи холодильних агрегатів.

Експериментальний комплекс застосовується в дослідженнях широкого спектра обладнання, яке належить до сектору відновлюваної енергетики та сучасних енергоефективних технологій.

Комплекс дозволяє проводити експерименти для всіх основних конфігурацій теплових pomp та кондиціонерів: «повітря–повітря», «повітря–вода», «вода–повітря» (при використанні допоміжних теплообмінників) з вимірюванням та оцінкою: продуктивності в режимах нагріву/охолодження; сезонних коефіцієнтів COP та EER; впливу температури навколишнього повітря на ефективність; поведінки систем розморожування випарника; електроспоживання в різних експлуатаційних режимах; особливостей запуску та роботи за низьких температур тощо.

У комплексі також виконуються дослідження фотоелектричних панелей, зокрема: вплив температури на коефіцієнт корисної дії фотоелектричних панелей; моделювання денних циклів нагрівання/охолодження; визначення вольт-амперних характеристик (U–I криві) в контрольованих умовах; тестування при високій вологості; старіння під впливом термоциклів тощо.

Крім того, комплекс може бути використаний для досліджень інших типів інженерного обладнання об'єктів цивільного будівництва: рекуператорів та вентиляційних систем; елементів систем тепlopостачання; матеріалів теплоізоляції; малих гібридних систем енергозабезпечення.

Для збору, обробки та збереження даних заплановано використання апаратно-програмний комплекс LabVIEW (National Instruments).

У комплексі заплановано вимірювання таких величин: температура робочих поверхонь (термопари, Pt-датчики); температура повітря у різних точках камер; вологість (ємнісні та психрометричні датчики); швидкість та потік повітря (анемометри, повітряні сенсори); електричні параметри обладнання: струм; напруга; потужність; коефіцієнт потужності; миттєві характеристики. Дані можуть зчитуватися як локально (вбудовані контролери), так і централізовано (модулі NI DAQ).

Експериментальний комплекс на базі двох кліматичних камер із холодильними установками Danfoss є сучасною інфраструктурною платформою для проведення фундаментальних та прикладних досліджень обладнання відновлюваної енергетики. Завдяки широким можливостям регулювання температури і вологості, а також інтеграції з потужною вимірювальною системою LabVIEW, комплекс дозволяє проводити високоточні експерименти, оцінювати ефективність та надійність пристроїв, розробляти нові енергетичні технології та удосконалювати існуючі рішення.

СЕКЦІЯ 5. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ І МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 004.8:662.767

ЕТАПИ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ШІ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ УТИЛІЗАЦІЇ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ

*Клименко Максим¹ здоб., Усенко Станіслав² асп., Шаповалов Євгеній¹ к.т.н.,
Носачова Юлія² к.т.н., доц., Овчаренко Катерина¹ здоб.*

*¹ Національний університет харчових технологій, Україна, 01601, м. Київ, вул.
Володимирська, 68*

*² Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, Україна, 03056, м.
Київ, Берестейський проспект (Перемоги), 37
farkry17@gmail.com*

Анаеробне зброджування є складним біохімічним процесом, ефективність якого залежить від багатьох взаємопов'язаних параметрів, що ускладнює його оптимізацію традиційними методами [1]. Метою роботи є визначення та систематизація ключових етапів розробки системи штучного інтелекту (ШІ) для прогнозування та оптимізації виробництва біогазу, що дозволяє підвищити ефективність процесу утилізації органічних відходів.



Рис.1. Ілюстративне зображення послідовності створення моделі ШІ

Основна послідовність створення ШІ моделі для процесів оптимізації утилізації органічних відходів починається зі збору та аналізу операційних даних, що включають фізико-хімічні параметри сировини (рН, загальний вміст твердих речовин, леткі жирні кислоти) та технологічні показники (температура, швидкість подачі) [1]. Наступним кроком є вибір оптимальної моделі машинного навчання та передобробка даних, що є критично важливим через високу варіативність та наявність шумів у промислових даних. Для навчання використовуються як традиційні алгоритми (випадковий ліс, метод опорних

векторів), так і архітектури глибокого навчання, зокрема мережі глибокої довіри (DBN), які демонструють високу точність у прогнозуванні [1, 2]. Фінальним етапом є валідація моделі, де її точність оцінюється за допомогою метрик, таких як коефіцієнт кореляції (R) та середньоквадратична помилка (RMSE). Успішні моделі досягають показників $R \approx 0,98$ [2]. Впровадження такої системи дозволяє оптимізувати операційні параметри в режимі реального часу, що веде до стабілізації процесу та максимізації виходу біогазу.

Перелік джерел посилань

1. Rutland, H., You, J., Liu, H., Bull, L., Reynolds, D. A Systematic Review of Machine-Learning Solutions in Anaerobic Digestion. *Bioengineering*. 2023;10(12):1410.
2. Duan, J., Cao, G., Ma, G., Yazdani, B. Boosting biogas production through innovative data-driven modeling and optimization methods at NJWTP. *Scientific Reports*. 2025;15:4814.

UDC 620.9:658.26

ENERGY AUDIT AS A TOOL TO IMPROVE INDUSTRIAL ENERGY EFFICIENCY

*Tverdokhliebova N., PhD, Associate Professor,
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv, Ukraine*

Experience shows that every Ukrainian enterprise faces the problem of irrational use and loss of energy resources. Rising energy tariffs exacerbate this issue, affecting the solvency of many economic entities. Therefore, enterprises across the country are seeking to reduce energy consumption and optimize power supply, i.e., to improve energy efficiency.

The energy efficiency of buildings is determined in accordance with a methodology developed on the basis of European Union legislation, the Energy Community requirements, and harmonized European standards in the field of building energy efficiency, as approved by the central executive authority responsible for shaping state policy in construction [1].

There are two main methods for monitoring and analyzing energy consumption: the specific standardization method (commonly used in domestic enterprises) and the control and standardization method (applied abroad).

An energy audit (or energy survey) is a comprehensive study of all aspects of a company's activities aimed at determining the structure and efficiency of fuel and energy resource consumption and identifying the areas of highest energy costs. The purpose of an energy audit is to establish the causes and volumes of energy consumption, assess energy-saving potential, and, based on the collected data, develop recommendations for improving energy efficiency, i.e., reducing energy use and lowering energy costs.

Technical accounting of energy resources involves modern automated tools that can monitor the consumption of different energy resources and their parameters in real time.

An energy audit typically includes the following steps:

- collection of data on current energy consumption;
- compilation of energy consumption and distribution balances;
- analysis of financial indicators;
- review of technical documentation;
- identification of sources of energy losses in water supply, sewage, heating, and ventilation systems;
- examination of power supply and automation systems;
- development of measures aimed at improving energy efficiency;
- assessment of the expected impact of implementing energy conservation measures.

Energy audits of buildings may include a full or partial survey of:

- envelope structures (walls, windows, doors, roof);
- heating and ventilation systems;
- power supply, lighting, elevators, and water supply equipment (both hot and cold);
- building microclimate.

Thermography, as an energy audit tool, helps identify operational problems in industrial equipment. A well-organized energy audit, followed by the implementation of its recommendations, can reduce building heat loss during the heating season and consequently decrease maintenance costs by 20–60%. However, a significant challenge lies in the insufficient professional experience and training of energy audit experts, as no educational institutions currently prepare them specifically. An energy auditor must be able to use modern energy measurement devices, apply data processing methods, and be familiar with technologies for heat and electricity consumption. In addition, auditing companies are required to have appropriate permits and certifications.

Modern organizations provide several types of energy audits: express audits, audits of specific production processes, and comprehensive facility audits, as well as initial, pre-operational, regular, and unscheduled audits.

The main stages of conducting an energy audit include [2]:

1. Signing a contract with the organization conducting the audit, specifying its purpose.
2. Conducting a documentary audit to determine whether a more detailed study is necessary.
3. Performing instrumental measurements and thermal surveys.
4. Assessing the degree of resource efficiency.
5. Identifying the causes of energy consumption.
6. Providing an objective evaluation of losses, energy-saving potential, and the feasibility of energy-saving measures.
7. Developing recommendations and drafting a project to enhance energy efficiency.
8. Preparing reporting documentation and an energy passport for the facility.
9. Implementing a program to address the identified causes of excessive energy consumption and modernize equipment.

Energy efficiency certification of construction projects is requested and paid for by the customer. Thus, an energy audit enables the determination of optimal, achievable levels of energy consumption.

References

1. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII.
2. Твердохлебова Н.С. Аудит з промислової безпеки і охорони праці. Матеріали XXVII міжнар. науково-практичної конференції MicroCAD-2019 [Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я], /Харків: НТУ «ХПІ», 2019 р. Ч.IV. С.55.

УДК 681.5

СУЧАСНІ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ НА ЗЕРНООЧИСНО-СУШИЛЬНИХ КОМПЛЕКСАХ

*Колодійчук Л. С., к.пед.н., доцент, Нижник Є.І., студентка
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»,
м. Бережани, Україна*

Зерноочисно-сушильні комплекси (ЗСК) є важливим елементом післязбиральної обробки зерна, оскільки від ефективності процесів очищення та сушіння залежать збереження якості продукції та енергетичні витрати підприємства. Традиційні схеми керування сушильними агрегатами передбачали ручне або напівавтоматичне регулювання температури, вологості та швидкості подачі зерна. Сучасний розвиток цифрових технологій і систем Інтернету речей створює можливість переходу до інтелектуальної автоматизації всіх етапів зернообробки.

Автоматизація більшості ЗСК нині базується на використанні промислових контролерів, які забезпечують контроль температури сушильного агента тощо. При цьому виникають такі потреби як: **відсутність централізованого моніторингу параметрів у реальному часі; обмежені можливості дистанційного керування; недостатня інтеграція з енергетичними системами обліку та аналітики.**

Для усунення цих пропонуємо використати платформу *Home Assistan [1]*, з візуалізацією параметрів, історією та аналітикою.

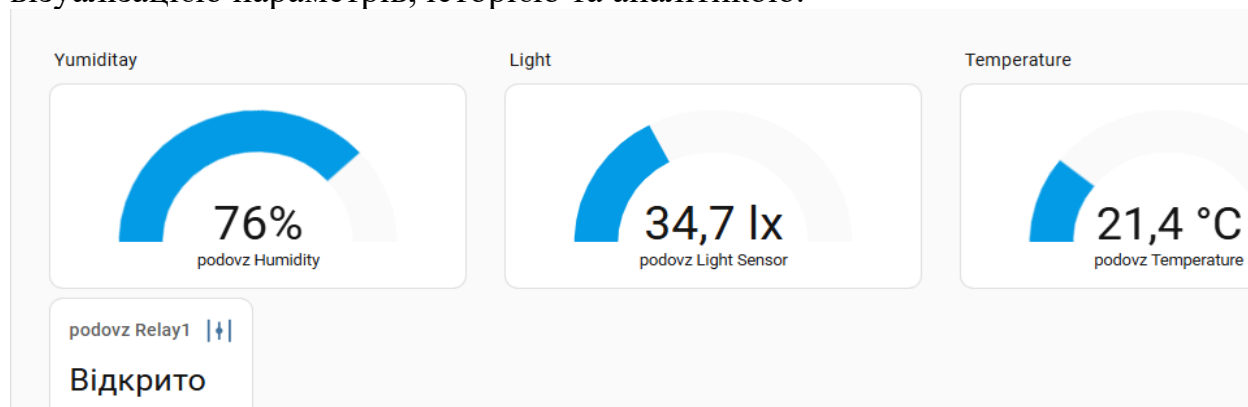


Рис. 1. Інтерфейс розробленої автоматизації в Home Assistant.

Таким чином, Home Assistant може виступати як **гнучка SCADA-система відкритого типу**, сумісна з низкою промислових протоколів (MQTT, Modbus TCP, HTTP API). Збір технологічних і енергетичних даних дає змогу проводити: побудову **графіків навантаження вентиляторів і пальників**; розрахунок **енергоспоживання за зміну чи добу**; оптимізацію **режимів сушіння** для зменшення витрат палива; прогнозування **енергетичних показників** на основі історичних даних.

Перелік джерел посилань

1. Офіційний сайт Home Assistant. URL: <https://www.home-assistant.io/> (дата звернення: 3.11.2025).

УДК 620.9:69

ОСВІТНЯ КОМПОНЕНТА «ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ» ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ З ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

*Постернак І.М.¹, к.т.н., доцент; Постернак О.С.¹,
¹Одеська державна академія будівництва та архітектури.*

Сучасні тенденції у сфері архітектурного проєктування та будівництва орієнтовані на створення будівель із мінімальним енергоспоживанням і максимальним комфортом для користувачів. Енергоефективність є не лише технічною, а й екологічною та соціально-економічною категорією, що безпосередньо впливає на стійкість урбанізованого середовища, кліматичну політику держави та рівень якості життя населення. В умовах глобальної енергетичної кризи та зростання тарифів на енергоносії питання проєктування енергоефективних будівель набуває стратегічного значення [1].

1. *Загальні принципи проєктування енергоефективних будівель.* Проєктування енергоефективних будівель передбачає інтеграцію архітектурних, конструктивних, інженерних і технологічних рішень, спрямованих на зниження енергоспоживання без втрати функціональності. До основних принципів належать: орієнтація будівлі відносно сторін світу; використання теплоефективних матеріалів; мінімізація тепловтрат через огорожувальні конструкції; застосування пасивних і активних систем енергозбереження; оптимізація систем вентиляції та опалення; впровадження відновлюваних джерел енергії. Проєктування енергоефективних споруд базується на принципах сталого розвитку, гармонійного поєднання природних та техногенних ресурсів, використанні сучасних цифрових технологій для моделювання енергетичних потоків.

2. *Програмні результати навчання.* У процесі опанування ОК «Особливості проєктування енергоефективних будівель» здобувачі вищої освіти мають досягти таких програмних результатів навчання: здатність аналізувати енергетичну ефективність будівельних об'єктів на стадіях проєктування,

будівництва та експлуатації; уміння розробляти енергозберігаючі конструктивно-планувальні рішення з урахуванням кліматичних, функціональних та екологічних факторів; компетентність у використанні сучасних цифрових інструментів моделювання енергоспоживання; здатність здійснювати техніко-економічне обґрунтування енергоефективних проєктів із визначенням строків окупності інноваційних систем; формування професійного світогляду сталого будівництва.

3. Орієнтовна структура навчального курсу.

Лекційні заняття: вступ до енергоефективного проєктування (актуальність, законодавча база, принципи сталого розвитку); архітектурно-планувальні рішення енергоефективних будівель (орієнтація, інсоляція, аерація); теплотехнічні властивості будівельних матеріалів та конструкцій; системи опалення, вентиляції, кондиціонування та рекуперації тепла; відновлювані джерела енергії в архітектурі (сонячна, геотермальна, вітрова енергетика); енергетичне моделювання в BIM-середовищі; сертифікація та енергоаудит будівель (міжнародні та українські стандарти); інноваційні технології сталого будівництва: матеріали, автоматизація, Smart Building.

Практичні заняття: аналіз енергоефективності існуючого архітектурного об'єкту; розрахунок тепловтрат; моделювання впливу сонячної радіації на фасадну систему; розроблення концепту енергоефективного житлового будинку; створення енергетичної моделі будівлі; техніко-економічне обґрунтування впровадження систем ВДЕ; підготовка до сертифікації енергоефективності будівлі.

4. Тематика індивідуальних завдань: розроблення архітектурної концепції енергоефективної громадської будівлі із використанням BIM-технологій; порівняльний аналіз енергоспоживання традиційних і «зелених» будівель у межах конкретного кліматичного регіону; оптимізація фасадних систем для мінімізації тепловтрат та перегріву; проєктування систем природного освітлення та вентиляції в контексті енергозбереження; розроблення індивідуального енергетичного паспорту будівлі; економічна оцінка ефективності впровадження систем сонячного живлення у індивідуальному будівництві; моделювання енергетичних потоків для будівель різних типів функціонального призначення.

5. Самостійна робота студентів.

Практико-дослідницька робота: проведення енергоаудиту обраного об'єкту; порівняльний аналіз енергоспоживання двох типів будівель; підготовка короткого звіту про результати обстеження.

Курсова робота: розроблення концепції «пасивного будинку» для конкретного кліматичного регіону; розрахунок коефіцієнтів теплопередачі конструкцій; виконання енергетичного моделювання будівлі; побудова схеми енергетичного балансу будівлі; розроблення схеми природного освітлення чи вентиляції. підготовка візуальної презентації енергоефективного рішення; аналіз отриманих даних із пропозиціями щодо вдосконалення.

Висновки. Енергоефективне проєктування є невід'ємною складовою сучасної архітектурної практики, що поєднує технічну досконалість, екологічну відповідальність і соціальну орієнтованість. Системний підхід до навчання

майбутніх магістрів забезпечує формування цілісного професійного бачення, розвиток міждисциплінарних навичок та готовність до реалізації енергоефективних рішень у реальній практиці. Це сприятиме створенню архітектурного середовища, яке відповідає принципам сталого розвитку, енергетичної безпеки та комфорту майбутніх поколінь.

Перелік джерел посилань

1. Інноваційні магістерські курси, що сприяють покращенню енергетичного та вуглецевого сліду українського житлового фонду – E+UKRENERGY. Веб-сайт ukrenergy-erasmusplus.eu: UKRENERGY project is co-funded by the European Union (EU) under the Erasmus+ Programme (Grant Agreement no. 101082898-2022). 26 червня 2024р. URL: <https://ukrenergy-erasmusplus.eu/uk>

УДК 621.313:681.518:004.8:620.9

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ

*Окушко О. В., к.т.н., доцент; Чередниченко Р.Ю., аспірант
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

Післявоєнне відновлення енергетичної інфраструктури України та інтеграція до європейського енергетичного простору підвищують вимоги до енергетичного аудиту й енергоменеджменту електротехнічного комплексу промислових підприємств. Стандарти ISO 50001 орієнтують підприємства не лише на облік, а й на проактивне керування попитом, побудоване на безперервному моніторингу, прогнозуванні та оцінці ефективності заходів. В цих умовах особливої актуальності набувають інтелектуальні системи енергоменеджменту, здатні працювати в умовах нестабільних графіків електропостачання та змінної структури навантажень.

Світовий досвід, відображений у публікаціях IEEE Transactions on Smart Grid та Elsevier Energy Reports [1], демонструє рішення на базі Smart Grid, «розумних» лічильників, гібридних алгоритмів прогнозування (ARIMA, LSTM, Hybrid AI) та цифрових двійників енергосистем. Промислові платформи енергоменеджменту збирають і візуалізують дані, підтримують базові функції аналізу та формування звітів для енергоаудиту. В Україні накопичено досвід створення АСОЕ, побудови енергетичних балансів і впровадження систем моніторингу на промислових і комунальних об'єктах.

Водночас аналіз сучасних досліджень виявляє низку прогалин. Більшість існуючих EMS орієнтовані на ретроспективний аналіз і слабо використовують прогнозні моделі у циклі «вимірювання – аналіз – керування – верифікація». Відсутня уніфікована архітектура, яка б поєднувала електротехнічний вимірювальний комплекс, комунікаційну інфраструктуру та інтелектуальний модуль прогнозування в одному адаптивному рішенні для промислових та розподілених об'єктів. Недостатньо опрацьовані методики інтеграції результатів

прогнозування у процедури енергетичного аудиту.

Дослідження спрямоване на подолання цих обмежень шляхом створення електротехнічного комплексу інтелектуальної системи енергоменеджменту, що поєднує сенсорний рівень (смарт-лічильники та датчики якості електроенергії), комунікаційний рівень (Modbus TCP, MQTT, IEC 61850), аналітичний модуль із гібридними алгоритмами прогнозування енергоспоживання та підсистему адаптивного керування навантаженням. Ключовою особливістю є перехід від пасивного моніторингу до прогнозного управління, коли рішення щодо зміни режимів роботи обладнання чи перенесення частини навантажень приймаються на основі моделювання майбутніх сценаріїв споживання.

Очікується, що така система стане інструментом для енергетичного аудитора та енергоменеджера: дозволить будувати достовірні енергетичні базові лінії, кількісно оцінювати точність прогнозів і ефект від заходів з енергоефективності, формувати аргументовані техніко-економічні обґрунтування. Для українських підприємств це створює можливість підвищити стійкість енергоспоживання, скоротити викиди CO₂ й наблизити системи енергоменеджменту до вимог сучасних Smart Grid-рішень.

Перелік джерел посилань

1. Biswal, B., ..., & Umit C. (2024). Review on smart grid load forecasting for smart energy management. *Energy Reports*, 12, 3654–3670. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.3654>
2. Lee, S.; Seon, J.; Hwang, B.; Kim, S.; Sun, Y.; Kim, J. Recent Trends and Issues of Energy Management Systems Using Machine Learning. *Energies* 2024, 17, 624. <https://doi.org/10.3390/en17030624>
3. Melo, J. J. R., Ishraque, M. F., Shafiullah, G. M., & Shezan, S. A. (2023). Centralized monitoring of a cost-efficient PLC-SCADA based islanded microgrid considering dispatch techniques. *The Journal of Engineering*, 2023(8), 1–11. <https://doi.org/10.1049/tje2.12293>
4. Kermani, M., Adelmanesh, B., Shirdare, E., Sima, C. A., Carni, D. L., & Martirano, L. (2021). Intelligent energy management based on SCADA system in a real Microgrid for smart building applications. *Renewable Energy*, 171, 1115-1127. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.008>
5. Deepak K. P., Saptarshi D., Smart grid architecture model for control, optimization and data analytics of future power networks with more renewable energy, *Journal of Cleaner Production*, Volume 301, 2021, 126877, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126877>.

СЕКЦІЯ 6. ІСТОРІЯ ТА ФІЛОСОФІЯ НАУКИ І ТЕХНІКИ. МЕТОДОЛОГІЯ ВИЩОЇ ТЕХНІЧНОЇ ОСВІТИ

УДК 681.5:631.67:628.8

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В ТЕПЛИЦІ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ SCHNEIDER ELECTRIC

*Потапенко Д.В., магістрант, Грищенко В.О., к.т.н., доцент,
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

Проблема підвищення ефективності систем керування мікрокліматом у теплицях набуває дедалі більшої актуальності у зв'язку з потребою зниження енергоспоживання та забезпечення стабільних умов вирощування рослин протягом усього вегетаційного періоду. Сучасні тепличні комплекси використовують різноманітні технологічні рішення для автоматичного регулювання температури, вологості, концентрації вуглекислого газу та рівня освітленості, проте більшість із них потребують модернізації у напрямі інтеграції цифрових технологій і штучного інтелекту. У низці досліджень [1-3] показано, що застосування прогнозних моделей керування (Model Predictive Control) у поєднанні з методами машинного навчання, зокрема LSTM-мережами, дозволяє значно знизити енергоспоживання тепличних систем і стабілізувати параметри мікроклімату. У роботі [4] наведено результати впровадження інтелектуальної системи регулювання мікроклімату, заснованої на нейронних моделях прогнозування, яка забезпечує точність підтримання температури та вологості в межах ± 0.5 °C і ± 2 % відповідно. Водночас компанія Schneider Electric пропонує комплекс технічних засобів для створення гнучких комп'ютерно-інтегрованих систем автоматизації, зокрема на базі контролерів Modicon, програмного комплексу EcoStruxure та SCADA-рішень для енергоменеджменту й аналітики даних [5,6]. Поєднання зазначених технологій створює передумови для розробки сучасної системи керування мікрокліматом у теплиці, здатної адаптувати режими роботи вентиляції, опалення та зрошення відповідно до прогнозованих змін зовнішніх умов і внутрішніх параметрів середовища.

Перелік джерел посилань

1. Bwambale, E. et al., A review of model predictive control in precision agriculture, 2024.
2. Aborujilah, A. et al., Forecast-Driven Climate Control for Smart Greenhouses (Energies), 2025.
3. Data-Driven Greenhouse Climate Regulation (arXiv), 2025. <https://arxiv.org/html/2507.21669v1>
4. Schneider Electric - Case studies / EcoStruxure materials (Energy & Sustainability case studies; Climate reports 2022-2024).
5. Chen, S. et al., A Review of Environmental Control Strategies and Models for Greenhouses (MDPI Sensors), 2025.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПАКУВАЛЬНОЮ МАШИНОЮ

*Фомін О.А., магістрант, Грищенко В.О., к.т.н., доцент,
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

Сучасна пакувальна техніка потребує не лише високої швидкості, а й стабільної якості з'єднань, зокрема при використанні термоклею. Аналіз сучасних досліджень показав, що ефективність пакування значною мірою залежить від точного керування температурно-часовими параметрами запаювання. Зокрема, у роботах [1] наголошується, що правильне налаштування температури, тиску та швидкості дозволяє істотно зменшити кількість дефектів шва. Використання нечітких ПІД-регуляторів, як показано в [2], забезпечує компенсацію нелінійностей і підвищує стабільність роботи при зміні властивостей матеріалу. Дослідження [3] підкреслюють важливість інтеграції сучасних ПЛК-контролерів, датчиків і модулів збору даних для реалізації гнучкого моніторингу процесів.

Особливу увагу також приділено конструкції термоклеєвих вузлів як зазначено в [4], саме механічна стабільність системи полегшує підтримку температури клею. Практичні приклади проектування автоматизованих пакувальних машин [5] підтверджують, що впровадження інтелектуальних алгоритмів і систем візуального контролю дозволяє значно підвищити ефективність лінії.

Отже, розроблена система керування, побудована на базі Delta PLC, дозволяє моделювати динаміку нагріву й охолодження клею, враховувати теплові втрати та в'язкісні властивості матеріалу, а також підтримувати стабільну температуру в робочому діапазоні ± 1 °C. Це відкриває можливості для підвищення якості пакування, зниження енерговитрат та підвищення надійності виробничих процесів.

Перелік джерел посилань

1. Zhang, H., Hu, D., He, Y., Jin, L., Zhang, Y., Tu, J., & Li, Y. (2025). Optimization Method of Heat-Sealing Process for Pillow Packaging Machine. *Processes*, 13(11), 3602.
2. Pan, L., Li, Z., An, S., Yang, J., Chen, C., Lei, Z., & Shen, Z. (2025). Research on Tension Control of Heat Sealing Film Packaging Machine Based on Fuzzy PID. *International Core Journal of Engineering*, 11(1), 32-38.
3. Luan, G., Wei, X., Wang, H., & Gao, Y. (2024). Research on Key Technologies for Automated Control of Packaging Production Lines. *Modern Management Science & Engineering*, 6(3), 1-9.
4. Liu, B., Geng, Y., Wu, L. (2017). Mechanism Optimization of Plastic Paper Packaging Machine. *International Journal of Research in Engineering and Science*, 5(3), 21-26.
5. Tan, H., & Li, X. (2023). Design of an Automatic Packaging Machine for Syringes. *Journal of Engineering Mechanics and Machinery*, 8(3), 63-70.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ОБСМАЖЕННЯ КАРТОПЛЯНИХ ЧИПСІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ MITSUBISHI ELECTRIC

*Шинкар В.І., магістрант, Грищенко В.О., к.т.н., доцент,
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

Якість і безпека картопляних чипсів значною мірою визначаються параметрами процесу обсмаження: температурою олії, часом проходження слайсу в зоні смаження, турбулентністю потоку та масопереносом між олією і продуктом. Контроль цих параметрів важливий не тільки для досягнення бажаної текстури і кольору, а й для мінімізації утворення акриламідів та інших небажаних продуктів термообробки. Сучасні дослідження підтверджують, що багатокритеріальна оптимізація процесу (температури та часу) дозволяє досягати балансу між якістю і безпекою продукту [1].

Для розробки комп'ютерно-інтегрованої системи керування лінією обсмаження, яка поєднує фізично обґрунтоване моделювання процесу смаження з реальним часом збору даних і адаптивним керуванням використовуємо обладнання Mitsubishi Electric. Система моделює динаміку нагріву та масопереносу у слайсі, включає рівняння енергетичного балансу олії й продукту, залежність швидкості поглинання жиру від структури клітин і контролює два ключові параметри: температуру олії (PID/MPC) та швидкість конвеєра. Вибір Mitsubishi Electric обґрунтовано їхніми кейс-стаді та платформами для інтеграції ПЛК/SCADA/ІоТ, що полегшує масштабування й візуалізацію процесу [2]. Для оцінки роботи системи порівнюємо класичний ПІД з прогнозно-адаптивним контролем. З аналізу існуючих досліджень показує, що контроль температури й оптимізація часу смаження можуть знизити утворення акриламідів та покращити однорідність продукту [3]. Детальна ідентифікація параметрів математичної моделі, розробка комп'ютерно-інтегрованої системи керування для в оновлення лінії обсмаження та інтеграція з системами контролю якості на основі машинного зору [4] забезпечить підвищення якості чипсів, зменшити ризики для здоров'я споживачів і підвищити енергоефективність лінії.

Перелік джерел посилань

1. Peñalver-Soto J.L. et al., Multi-objective optimization of a frying process (Foods, 2022).
2. Mitsubishi Electric - case studies / product pages. <https://gb.mitsubishielectric.com/fa/>
3. Martínez E. et al., Influence of Potato Crisps Processing Parameters on Acrylamide Formation (2019).
4. E. Lotfi, M. Yaghoobi and H. R. Pourreza, "A new approach for automatic quality control of fried potatoes using machine learning," 2008 7th IEEE International Conference on Cybernetic Intelligent Systems, London, UK, 2008, pp. 1-4.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ БАРАБАННОЇ ЗЕРНОСУШАРКИ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ SCHNEIDER ELECTRIC

*Юзва Т.Р., магістрант, Грищенко В.О., к.т.н., доцент,
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

Підвищення ефективності процесів сушіння зерна в барабанних установках залишається одним із ключових завдань енергозбереження та забезпечення стабільної якості продукції в аграрному виробництві. Сучасні дослідження у сфері моделювання та автоматизації барабанних зерносушарок свідчать, що стабілізація температурного та вологісного режимів значною мірою визначає енергоефективність системи, рівномірність висушування зерна й запобігає його термічному пошкодженню.

У працях Б.Котова сформульовано математичну модель стаціонарного процесу сушіння у пневмобарабані з урахуванням впливу швидкості переміщення матеріалу та температури сушильного агента, що може бути використано як основа для розробки алгоритмів адаптивного регулювання. Подальші дослідження D.Friso підтвердили адекватність моделей на експериментальних установках і показали, що контроль динаміки температури в зоні контакту матеріалу та агента дозволяє зменшити питомі витрати енергії до 12...15 %.

Для побудови комп'ютерно-інтегрованої системи керування використовуємо апаратну базу Schneider Electric, що включає програмований логічний контролер Modicon M340, сенсорні модулі вимірювання вологості й температури, частотні перетворювачі Altivar для керування швидкістю обертання барабана та вентиляторів, а також SCADA-систему EcoStruxure Machine Expert для моніторингу та візуалізації параметрів.

На основі методів, запропонованих I.Konokh та K.Chang, розробляється структура багаторівневого керування із предиктивним контролем температури сушильного агента, нечіткою корекцією швидкості подачі зерна та оптимізацією режимів рециркуляції повітря. Гібридні PI-fuzzy алгоритми дозволяють адаптивно підтримувати необхідну вологість зерна при змінних зовнішніх умовах, забезпечуючи стійкість системи в реальному часі [5].

Розроблена система забезпечує інтеграцію сенсорного, виконавчого та аналітичного рівнів, що дає можливість реалізувати автоматизовану діагностику режимів сушіння, оптимізувати енергоспоживання і підвищити продуктивність барабанної сушарки на 10...18 % порівняно з традиційним керуванням.

Перелік джерел посилань

1. Котов Б. І., Калініченко Р. А., Спірін А. В. (2017). Математичне моделювання процесу сушіння рослинних матеріалів у барабанній сушарці при змінній швидкості переміщення матеріалу. Інженерія природокористування, 2(8), 19–23.

2. Friso D., Pessina D., & Barbaresi A. (2023). Mathematical Modelling of Rotary Drum Dryers for Alfalfa Drying Process Control. *Processes*, 11(7), 2003.
3. Chang K., Li J., Jin Y., & Liu C. (2024). Development of Grain Dryer Control Technology from the Perspective of Low Carbon and Intelligentization. *Applied Sciences*, 14(5), 3210.
4. Konokh I. S. (2024). Designing the Predictive Control of a Drum Dryer Using Multi-Agent Technology. *NVNGU Bulletin*, 5(183), 84–90.
5. Ortíz-Yescas G., Hernández-Escobedo Q., & Reyes A. (2025). A Hybrid PI–Fuzzy Control Scheme for a Drum Drying Process. *Processes*, 13(1), 52.

УДК 621.31: 621.316.729

ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОБЛАДНАННЯ СИНХРОНІЗАЦІЇ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

***Коваль В.В.¹, д.т.н., професор; Вакась В.І.², к.т.н.; Самков О.В.³, д.т.н.,
с.н.с.; Піскун О.М.¹***

¹*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

²*ПрАТ «Київстар», м. Київ, Україна.*

³*Інститут електродинаміки НАН України, м. Київ, Україна.*

Проблеми надійності функціонування об'єднаної енергетичної системи України в умовах воєнного стану з переходом та подальшою синхронною роботою з ENTSO-E мають залежність від показників якості сигналів синхронізації часу, якими забезпечуються відповідні прилади і пристрої автоматизованої системи керування технологічними процесами [1]. З метою підвищення надійності електроенергетичних систем та ефективною реалізації SMART Grid технології розроблені концептуальні засади, які направлені на покращення відмовостійкості сигналів синхронізації.

Покращення керованості електроенергетичних систем забезпечується шляхом використання пристроїв синхронізації часу (ПСЧ), які виконують функції формування відповідних сигналів синхронізації з прийнятих сигналів (PRTC, GNSS, RTP та інш.). Підвищення надійності і точності формування сигналів синхронізації часу ПСЧ забезпечується за рахунок резервування джерел сигналів синхронізації, з використанням наявних у державі засобів частотно-часового забезпечення, впровадження інтелектуальної комп'ютерно-інтегрованої системи, яка виконує постійний багатоканальний моніторинг параметрів синхронізації в режимі реального часу. Автоматизована інтелектуальна комп'ютерно-інтегрована система багатоканального моніторингу сигналів синхронізації агрегує цифрові дані, отримані від вимірювальних засобів, та забезпечує оперативну діагностику стану мережі синхронізації як у штатному режимі роботи, так і в аварійних ситуаціях [2].

В умовах постійного або періодичного впливу систем РЕБ на обладнання синхронізації та базові станції мобільного зв'язку, які містять у своєму складі приймачі опорних сигналів GNSS досить часто виникає ситуація, коли

неможливо гарантувати безперервне надходження опорного сигналу фазової синхронізації до споживача. Особливо така ситуація відчутна у прифронтових регіонах. Але під час масштабної повітряної тривоги стосується також всієї території України.

Дана проблема частково нівелюється здатністю обладнанням синхронізації утримувати певний час стабільність в режимі Holdover suspend. Однак, цей метод не може бути застосований на досить тривалий час. Виходом з цієї ситуації може слугувати застосування новітніх цезієвих генераторів з оптичною накачкою з функціоналом фазової синхронізації вихідного сигналу по фронту UTC.

Попереднє покоління цезієвих генераторів мало лише вихідний сигнал частотної синхронізації та не могло забезпечити опорний сигнал фазової синхронізації. Фактично єдиним засобом фазової синхронізації на мережі було обладнання ePRTC, яке мало опори від цезієвого генератора з частотною синхронізацією та власний приймач опорних сигналів GNSS, завдяки якому формувався вихідний сигнал фазової синхронізації. В разі втрати сигналу GNSS обладнання переходить в режим утримання (holdover) та певний час забезпечує фазову синхронізацію мережі. З часом стабільність деградує і фазова синхронізація на базових станціях втрачається. Отже, надання сервісів за стандартами LTE Advanced та 5G стає неможливим. Базові станції з частотною синхронізацією (2G та 3G) можуть при цьому ще працювати тривалий, практично необмежений, час (завдяки наявності опорного сигналу частотної синхронізації від цезієвого генератора).

Цезієві генератори новітнього покоління мають функціонал періодичного калібрування свого вихідного сигналу по фронту UTC від приймача GNSS (від власного або від вихідного сигналу 1PPS від іншого обладнання синхронізації цього вузла). Калібрування відбувається під час стабільного прийому сигналів GNSS. Частота калібрувань не регламентується – фізичні властивості новітніх оптичних цезієвих генераторів дозволяють проводити калібрування не частіше 1-2 разів на місяць без суттєвих зсувів по фазі вихідного сигналу. Таким чином, обладнання ePRTC буде отримувати опорний сигнал фазової синхронізації на постійній основі від цезієвого генератора і базові станції з фазовою синхронізацією також можуть працювати тривалий необмежений, час.

Виникає також питання щодо розміщення цезієвих генераторів на мережі. По зрозумілим причинам кількість таких генераторів на мережі досить обмежена. Також недоцільно їх розміщувати у прифронтових регіонах. Аналіз та планування мережі вказує на те, що в умовах України доцільно розгорнути 3-4 пристрою на вузлах з верхньою ієрархією мережі. Трансляція до кінцевих споживачів фазової синхронізації має здійснюватися за протоколом RTP, а саме: за профайлом RTP G.8275.1 для ділянок з підтримкою режиму multicast і в мажах одного сегменту мережі MPLS та за профайлом RTP G.8275.2 для ділянок з підтримкою лише режиму unicast або трансляцією опорного фазового сигналу між різними сегментами мережі MPLS.

Перелік джерел посилань

1. Selected Problems II. Studies in Systems, Decision and Control. Volume 220, Springer International Publishing AG. Power Systems Research and Operation. Warsaw, Poland, 2023.

УДК 519.6:514.18

АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК КРИВИХ БЕЗ'Є ДЛЯ СПРОЩЕНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ НАБОРУ ТОЧОК ЗАМКНУТОГО КОНТУРУ

Дудник А. О., к.т.н., доцент; Жук Д.Є., аспірант

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

Для полегшення оперування з просторовими даними їх зазвичай перетворюють у більш компактну та зручну для обробки форму. Це може включати зміну системи координат, заміну складних контурів на геометричні примітиви або апроксимацію кривими. Класичні аналітичні методи вирізняються високою швидкістю та точністю. Натомість чисельні методи та інтелектуальні алгоритми є більш гнучкими та універсальними, дозволяючи ефективно працювати з великими або частково відсутніми наборами даних [1].

У попередній роботі розглядалася апроксимація контурів за допомогою нейронної мережі, яка підбирала позиції контрольних точок кривої Без'є. Результати були задовільні, проте значні витрати часу на навчання не відповідали отриманій точності, що обумовило необхідність пошуку альтернативного підходу. Новий аналітичний метод реалізується у кілька етапів. Спочатку відбувається виділення екстремумів контуру, відповідно до яких контур розбивається на сегменти. Кожен сегмент апроксимується кривою третього порядку методом найменших квадратів [2] та невизначених множників Лагранжа [3], після чого криві перераховуються у контрольні точки кривих Без'є. Алгоритм показав значні переваги: він виявився швидшим та точнішим у порівнянні з попереднім підходом на основі нейронної мережі, див рис.1. Час апроксимації скоротився в середньому до 0,1с. на контур, а абсолютна середня похибка скоротилася з 1,84 – 0,34 до 0,44 – 0,34 пікселя зображення для дослідних даних при однаковій кількості кривих Без'є.

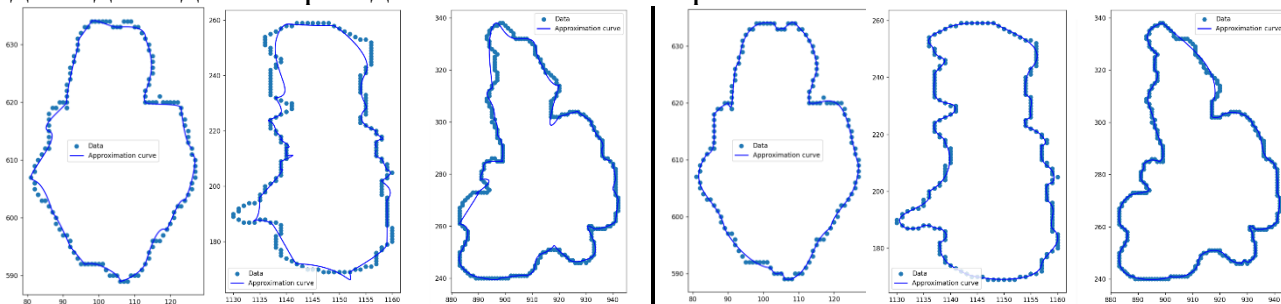


Рис. 1. Результати апроксимації на основі нейронної мережі (зліва) та МНК (справа)

Перелік джерел посилань

1. Chen, C., Li, Y., Zhao, N., Guo, B., & Mou, N. (2018). Least squares compactly supported radial basis function for digital terrain model interpolation from airborne LiDAR point clouds. *Remote Sensing*, 10(4), 587.
2. Lifton, J., Liu, T., & McBride, J. (2021). Non-linear least squares fitting of Bézier surfaces to unstructured point clouds. *AIMS Mathematics*, 6(4), 3142-3159.
3. De Marchi, A., Jia, X., Kanzow, C. et al. (2023). Constrained composite optimization and augmented Lagrangian methods. *Math. Program.* 201, 863–896.

УДК 313.33:621.318.122

МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ПІДВИЩЕННЯ СТРУКТУРНОЇ СТІЙКОСТІ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

*Шворов С. А, д.т.н., професор; Поліщук Р. Ф., аспірант
Національний університет біоресурсів і природокористування
України, м. Київ, Україна.*

Проблема підвищення структурної стійкості систем енергозабезпечення (СЕЗ) об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ) в умовах постійного руйнування ТЕС/ТЕЦ стає усе більш актуальною. Одним із напрямів вирішення цієї проблеми є розроблення та застосування науково-методичного апарату структурного синтезу СЕЗ, який засновується на оптимальній інтеграції до системи енергозабезпечення ОКІ не тільки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), накопичувачів енергії, но і малих ядерних реакторів (МЯР). Характерною особливістю МЯР є те що ядерний реактор поставляється на місце монтажу єдиним блоком (модулем), потужність якого становить не більше 300 МВт [1]. При цьому система енергозабезпечення ОКІ являє собою організаційно складну, територіально розподілену систему, для побудови якої необхідно, в першу чергу, вирішити задачу синтезу її структури. Ця задача є в достатній мірі складною тому, що вона є багатокритеріальною і включає такі критерії як надійність елементів СЕЗ, структурну стійкість мережі до зовнішніх факторів, що суперечить критерію вартості мережі. Для вирішення даної задачі можна об'єднати ці критерії в один критерій стійкості мережі, що є певним узагальнюючим поняттям, яке містить у собі такі показники як живучість, надійність та відновленість. Наявність наведеної сукупності показників ефективності визначає багатоетапний та багатокритеріальний характер синтезу структури СЕЗ ОКІ. Таким чином, на основі використання науково-методичного апарату структурного синтезу СЕЗ повинні вирішуватись наступні основні задачі: оцінювання структурної стійкості існуючих СЕЗ; удосконалення (структурна оптимізація) існуючих СЕЗ; синтез перспективних структурно стійких СЕЗ об'єктів критичної інфраструктури. Процес синтезу включає наступні етапи: визначення початкової структури СЕЗ; введення в СЕЗ структурної надмірності; оптимізація структури СЕЗ. Як показують результати попередніх досліджень, застосування запропонованого науково-методичного

апарату дозволить значно підвищити структурну стійкість СЕЗ та зменшити часові витрати на вирішення задачі оптимізації структури систем енергозабезпечення об'єктів критичної інфраструктури.

Перелік джерел посилань

1. Проект закону України № 14164 «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо засад впровадження малих модульних реакторів в Україні».

УДК 621.43:66.04:681.5

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ СУШИЛЬНИМ АГРЕГАТОМ У ВИРОБНИЦТВІ ЦЕМЕНТНИХ СУМІШЕЙ

Болбот І.М., д.т.н., професор, Словіковський О.М.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

У роботі представлено комплексне дослідження розробки інтелектуальної системи керування сушильним агрегатом, що використовується при виробництві цементних сумішей. Робота поєднує багатофізичне моделювання процесів горіння, тепло- та масообміну з алгоритмами адаптивного регулювання на базі сучасних систем автоматизації. Основною метою дослідження є підвищення енергоефективності, зменшення шкідливих викидів та забезпечення стабільності технологічного процесу сушіння.

Сушильні агрегати мають важливе значення для виробництва цементу, оскільки ефективність видалення вологи з сировини впливає на якість готового продукту. Традиційні системи керування часто не здатні швидко адаптуватися до зміни вологості, температури чи швидкості подачі матеріалу. Запропонована система інтегрує датчики контролю параметрів середовища, модулі аналізу даних у реальному часі та інтелектуальні регулятори, що забезпечують динамічне керування процесом.

У роботі запропоновано математичні моделі, які відображають взаємодію між газодинамічними, тепловими та електромеханічними процесами. Моделювання здійснено у середовищах Ansys Fluent, Ansys Maxwell та Ansys Twin Builder. У Fluent досліджено розподіл температурних і швидкісних полів у зоні горіння, у Maxwell — електромагнітні характеристики асинхронних і BLDC-двигунів, а у Twin Builder створено інтегровану модель системи приводів з реалізацією скалярного, векторного та PID-керування. Заміна бібліотечних моделей двигунів на ROM-об'єкти забезпечила високу точність симуляцій та швидкість розрахунків.

Практичну частину роботи реалізовано у середовищах SoMachine Logic Builder і Vijeo Designer (Schneider Electric). Система керування базується на контролері Modicon M241, частотних перетворювачах Altivar ATV930/ATV320 та сенсорній панелі Magelis HMISTU855. Це забезпечило повну інтеграцію апаратної та програмної частин системи. Алгоритм адаптивного регулювання

температури, вологості та швидкості сушіння дозволяє зменшити енергоспоживання електроприводів на 10–15 % і підтримувати точність керування у межах 1–2 %.

Наукова новизна роботи полягає у розробці інтегрованої моделі газового пальника, яка поєднує багатофізичне моделювання та адаптивне управління. Запропоновано багатокритеріальну оптимізацію режимів роботи, що враховує енергоефективність, мінімізацію викидів NO_x і стабільність температурних полів у барабані. Уперше реалізовано комплексну систему зворотного зв'язку, де дані з моделі Fluent передаються до Twin Builder для моделювання реакції системи управління у реальному часі.

Розроблені алгоритми можуть бути застосовані для модернізації сушильних установок у промисловості, скорочення енергоспоживання, а також для створення цифрових двійників теплотехнічного обладнання.

Перелік джерел посилань

1. Bolbot, I., & Slovikovskyi, O. (2025). *Intelligent optimization of gas burner operating modes for cement drying units*. *Lighting Engineering & Power Engineering*, 64(1).
2. Pliuhin, V., Tsegelnyk, Y., & Slovikovskyi, O. (2024). *Digital Twins of Different Types Electrical Machines*. *Lighting Engineering & Power Engineering*, 63(2), 35–45. <https://doi.org/10.33042/2079-424X.2024.63.2.01>

УДК 681.5.004

МЕТОД ОБ'ЄКТНОЇ ДЕТЕКЦІЇ YOLOV8 ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ДОМІШОК У СИПУЧИХ МАТЕРІАЛАХ

Правілов М.О., аспірант; Кіктєв М.О., к.т.н., доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування
України, м. Київ, Україна.*

Контроль якості мінеральної сировини, зокрема хлориду натрію, який широко застосовується у виробництві мінерально-вітамінних преміксів, є важливим елементом технологічного процесу. Сторонні домішки в солі фрагменти комах, волокна, частинки полімерів, металів або агломерати надмірно злежаного матеріалу — можуть призводити до погіршення гомогенності суміші, блокування дозаторів, зміни хімічної рівномірності преміксу та зниження технологічної ефективності обладнання. Традиційні методи контролю ґрунтуються на вибіркових пробах і візуальній оцінці оператором, що робить процес суб'єктивним, повільним та енергозатратним. З огляду на сучасні вимоги до автоматизації та цифровізації аграрного виробництва, виникає потреба у впровадженні інтелектуальних систем технічного зору.

Однією з найбільш перспективних архітектур комп'ютерного зору для таких завдань є YOLOv8 (You Only Look Once v8) — сучасна однопрохідна модель детекції об'єктів. YOLOv8 виконує класифікацію та регресію координат об'єктів у межах єдиної оптимізаційної задачі, що дозволяє досягати високої швидкості роботи та застосовувати її в реальному часі. На відміну від двоетапних

моделей, вона не вимагає попередньої генерації регіонів інтересу, завдяки чому підходить для задач із потоковими зображеннями або відео з виробничих ліній.

Архітектура YOLOv8 ґрунтується на згорткових нейронних мережах та використовує модернізований backbone C2f (Cross-Stage Partial Connections with Feature Expansion). C2f-модулі забезпечують збагачене виділення ознак, необхідне для роботи з дрібними фрагментами, низькоконтрастними домішками та складними текстурними матеріалами. Це важливо при аналізі солі, оскільки структура матеріалу є зернистою, неоднорідною за освітленістю й має блідий спектр кольору, що ускладнює класичну сегментацію.

Ключовою інновацією YOLOv8 є anchor-free підхід: модель не використовує задані наперед «якорі» для передбачення розмірів об'єктів[2]. Це підвищує універсальність і точність при роботі з об'єктами довільної форми – фрагменти комах, нитки, шматочки полімерів або кристалічні агломерати не мають стабільної геометрії, тому anchor-free метод забезпечує кращу адаптивність у їх детекції.

Наукова складова YOLOv8 ґрунтується на сучасних функціях втрат, що використовуються для задач класифікації та регресії. Класифікаційний блок моделі базується на концепції, запропонованій Lin et al. (2017)[1], де було сформульовано Focal Loss — модифіковану функцію втрат, яка дозволяє фокусувати навчання моделі на «важких» прикладах. У задачі аналізу сипучих матеріалів це надзвичайно важливо, оскільки дрібні сторонні вклучення мають низький контраст та часто перекриваються кристалами солі. Focal Loss визначається формулою:

$$FL(p_t) = -\alpha_t(1-p_t)^\gamma \log(p_t),$$

де p_t — ймовірність правильного класу, α_t — ваговий коефіцієнт класу (для балансування класів), γ — фокусуєчий параметр (зазвичай дорівнює 2), який керує ступенем фокусування на рідкісних або складних прикладах. Саме завдяки цьому підходу модель підвищує точність у виявленні дрібних домішок.

Регресійна частина YOLOv8 оптимізує координати меж об'єктів з використанням модифікованих IoU-орієнтованих функцій втрат (CIoU, DIoU) або сучасної Distribution Focal Loss, що моделює визначення координат як ймовірнісний розподіл. Це дозволяє зменшити помилки у локалізації, покращити точність визначення контурів домішок та забезпечити коректне обмеження навіть у випадку складних або фрагментованих об'єктів[3].

Перспективність застосування YOLOv8 у моєму дослідженні полягає у можливості створення автоматизованої системи технічного зору для оцінювання якості солі та вапняку як вхідних сировин у виробництві преміксів. Використання алгоритмів об'єктної детекції дозволяє не лише ідентифікувати сторонні домішки, а й автоматично оцінювати ступінь комкуватості, гранулометричну нерівномірність та наявність аномальних частинок. Отримані цифрові критерії якості можуть бути інтегровані у систему приймального контролю сировини, забезпечуючи зменшення впливу людського фактору та підвищення стабільності технологічного процесу. Такий підхід напряду узгоджується з тематикою дисертаційної роботи автора та створює основу для

впровадження інтелектуальних модулів контролю в агропромислових комплексах.

Інтеграція моделей на основі YOLOv8 у технологічні лінії підготовки преміксів та комбікормів здатна забезпечити високоточний моніторинг домішок у режимі реального часу, зменшити енерговитрати на контроль, підвищити продуктивність і якість продукції. Використання глибинного навчання відкриває можливості для створення повністю автоматизованих систем технічного зору, що підвищують ефективність, безпеку та енергоефективність сучасних аграрних виробництв.

Перелік джерел посилань

1. Lin, T.-Y., Goyal, P., Girshick, R., He, K., & Dollár, P. (2017). *Focal Loss for Dense Object Detection*. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). <https://doi.org/10.1109/ICCV.2017.324>
2. Ryu, J. (2025). *YOLOv8 with Post-Processing for Small Object Detection*. Applied Sciences, 15(13), 7275. <https://doi.org/10.3390/app15137275>
3. Khalili, B. (2024). *SOD-YOLOv8—Enhancing YOLOv8 for Small Object Detection*. Sensors, 24(19), 6209. <https://doi.org/10.3390/s24196209>

УДК 621.31: 621.316.729

АДАПТИВНИЙ ЦИФРОВИЙ ФАЗОВИЙ ДИСКРИМІНАТОР АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СИНТЕЗУ ЧАСТОТ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ SMART GRID

***Коваль В.В.¹, д.т.н., професор; Лавінський Д.С.¹; Самков Б.О.²;
Нікулін Д.О.¹***

¹*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

²*Інститут електродинаміки НАН України, м. Київ, Україна.*

В електричних мережах SMART Grid технологій використовуються пристрої синхронізації часу (ПСЧ), які забезпечують виконання відповідних процесів, що скоординовані у часі [1]. На цифрових підстанціях електричних мереж ПСЧ формують сигнали з жорстко заданими значеннями частот і фаз, на основі методу синтезу частот. Актуальним є пошук рішень щодо задоволення потреб в розробці систем синтезу частот (ССЧ) з покращеними технічними характеристиками (швидкодія, точність, завадозахищеність).

Виконання вимог щодо мінімальної тривалості режимів перехідних процесів в ССЧ можна забезпечити за рахунок реалізації оптимального за швидкодією входження в синхронізм [2]. Розроблений на основі результатів аналізу встановлених аналітичних залежностей та синтезованої структури алгоритм функціонування оптимальної за швидкодією ССЧ реалізується з використанням адаптивного цифрового фазового дискримінатора (АЦФД) (патент на винахід України №113473). АЦФД на час оптимального перехідного процесу змінює форму дискримінаційної характеристики і тим самим забезпечує формування заданого сигналу керуючої дії в ССЧ [2, 3].

Для ефективного забезпечення практичної реалізації заданого виду дискримінаційної характеристики АЦФД розроблена імітаційна модель та проведені дослідження ССЧ з використанням програми Simulink пакету MATLAB.

Перелік джерел посилань

1. Самков О.В., Коваль В.В., Лисенко В.П., Чопик В.В., Осінський О.Л., Самков Б.О. Розроблення цифрових засобів багатоканального моніторингу пристроїв синхронізації часу електроенергетичних SMART Grid систем // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. Випуск 65 (2023). – С.28-32.

2. Самков О.В., Коваль В.В., Лисенко В.П., Кальян Д.О., Рибіна О.Б., Осінський О.Л. Пристрій багатоканального моніторингу синхросигналів SMART Grid енергосистем з оптимальним за швидкістю фазовим автопідстроюванням частоти // Технічна електродинаміка. – К.: ІЕД НАН України, – № 1 (2023), 2023. – С.81-92.

3. Коваль В.В., Самков О.В., Вакась В.І., Пилипенко Ю.В., Яніцький І.Я., Лавінський С.Д. Відмовостійкі системи синхронізації часу інтелектуальних електричних мереж. Монографія / Національний університет біоресурсів і природокористування України. НАН України, Ін-т електродинаміки. Укл. Коваль В.В. та інш. – Київ, 2024. – 317 с.

УДК 930.1:159.92

ІСТОРІЯ НАУКИ ЯК ПСИХОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ФОРМУВАННЯ НАУКОВОГО МИСЛЕННЯ

*Літніх М. С., бакалавр психології, студентка 2 курсу магістратури
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
м. Київ, Україна*

Історія науки може бути осмислена не лише як послідовність відкриттів, теорій і методологічних зрушень, але й як глибинний психологічний процес становлення специфічного типу мислення — наукового. З психологічної точки зору, розвиток науки від античної натурфілософії до сучасної постнекласичної раціональності відображає еволюцію когнітивних структур, способів узагальнення та символічного опосередкування пізнавального досвіду. Це дозволяє розглядати історію науки як форму колективного психічного розвитку людства, у якій закріплюються механізми раціоналізації, рефлексії та самокорекції мислення [1; 2].

Наукове мислення — це не просто здатність оперувати логічними категоріями чи формулами, а цілісна система психічних процесів, що включає аналітичне сприйняття, абстрагування, моделювання, критичне оцінювання та прогнозування. Його формування історично пов'язане з переходом від міфологічних і образних форм пізнання до раціонально-концептуальних. У цьому контексті антична наука виступає як перша спроба систематизації досвіду через категоріальне мислення, тобто як рання стадія когнітивної диференціації, коли спостереження починає усвідомлюватися як метод. Відтак середньовічна схоластика, Ренесанс і Просвітництво демонструють поступовий розвиток психологічних механізмів аналітичності, дедуктивності та емпіричної перевірки, що й створюють когнітивну основу для сучасної науки [3; 4].

З позицій історії психології інтелектуальний розвиток людства можна розглядати як аналог індивідуального онтогенезу мислення. Як дитина проходить шлях від наочно-дійового до формально-логічного мислення, так і наука еволюціонувала від конкретно-предметних уявлень до системно-теоретичних моделей. У цьому сенсі історія науки — це не просто зовнішня історія ідей, а процес розширення «зони найближчого розвитку» колективної свідомості людства. Нові наукові парадигми (за Т. Куном) постають як когнітивні прориви, що змінюють не лише зміст знання, а й сам спосіб мислення, відкриваючи нові рівні рефлексії [1]. Формування наукового мислення має також мотиваційно-ціннісний вимір. З точки зору психології творчості, наукова діяльність ґрунтується на внутрішній установці на пошук закономірностей, сумнів, перевірку та самокритичність. В історичній ретроспективі ця установка не була заданою від початку: її виникнення вимагало подолання догматизму, магічного мислення й авторитарних структур знання. Таким чином, історія науки відображає поступове становлення суб'єкта пізнання, здатного до автономного мислення, внутрішнього сумніву й рефлексії власних дій. Цей перехід (від віри до доказу, від авторитету до експерименту) є насамперед психологічним процесом інтеріоризації критичної свідомості [5].

Значущим аспектом психологічного осмислення історії науки є соціокультурна зумовленість мислення. Як показують дослідження культурно-історичної школи, когнітивні структури формуються у контексті комунікативних практик та символічних систем. Мова, наукова термінологія, знакові системи й технічні засоби фіксації знань — це не лише інструменти науки, а й засоби розвитку самого мислення. Кожна наукова революція, таким чином, має не лише епістемологічний, а й психологічний характер, адже змінює способи інтелектуального опосередкування реальності. У цьому сенсі технологічний прогрес (винахід друкарства, комп'ютера, штучного інтелекту) є продовженням еволюції когнітивних функцій людства у матеріальній формі [6; 7].

Розглядаючи історію науки як психологічний процес, можна дійти висновку, що розвиток наукового мислення — це не суто раціональний, а глибоко людський феномен, який поєднує когнітивні, емоційно-мотиваційні та соціально-комунікативні складники. Саме психологія дозволяє зрозуміти, чому в різні епохи одні й ті самі факти тлумачились по-різному, чому нові ідеї спершу викликають опір і як особистісні якості вченого впливають на структуру теорії. Отже, історія науки — це історія поступового формування психічних умов можливості наукової раціональності [1; 2].

Таким чином, аналіз науки з психологічної перспективи розкриває її як живий процес розвитку людської свідомості — процес, у якому мислення не лише пізнає світ, а й пізнає саме себе. В цьому полягає фундаментальна цінність психологічного підходу до історії науки: він показує, що наука — це не просто інституція чи система знань, а форма саморозвитку людського розуму, який історично навчається мислити науково.

Перелік джерел посилань

1. Kuhn T. The Structure of Scientific Revolutions. University of Chicago Press. 1970.

2. Popper K. The Logic of Scientific Discovery. Routledge. 1959.
3. Bruner J. Acts of meaning. Harvard University Press. 1990.
4. Piaget J. The Origins of Intelligence in Children. W.W. Norton & Co. 1952.
5. Simonton D. K. Creativity in Science: Chance, Logic, Genius, and Zeitgeist. Cambridge University Press. 2004.
6. Clark A., Chalmers D. The Extended Mind. Analysis. 1998. Vol. 58. № 1. P. 7-19.
7. McLuhan M. The Gutenberg Galaxy: The Making of Typographic Man. University of Toronto Press. 2002.

УДК 621.31: 621.316.729

ВІДМОВОСТІЙКІСТЬ ЗАСОБІВ ЧАСОВО-ЧАСТОТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУЧАСНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ І АВТОМАТИКИ

*Коваль В.В.¹, д.т.н., професор; Самков О.В.², д.т.н., с.н.с.;
Піскун О.М.¹; Осінський О.Л.³; Самков Б.О.²*

*¹Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

²Інститут електродинаміки НАН України, м. Київ, Україна.

³Інститут загальної енергетики НАН України, м. Київ, Україна.

Сучасні системи автоматизованого керування електропостачанням, передаванням та електроспоживанням з використанням цифрових технологій потребують точного часового визначення з високою відмовостійкістю. Дослідження проблем підвищення відмовостійкості засобів часово-частотного забезпечення є актуальними під час переходу та подальшу синхронну роботу об'єднаної енергетичної системи України з європейською мережею (ENTSO-E), реалізації концепції Smart Grid, широкомасштабного впровадження пристроїв РМУ, які виконують векторні вимірювання режимних параметрів роботи енергосистем в реальному часі з використанням сигналів синхронізації часу (ССЧ). Інтелектуальні електричні мережі, системи мобільного зв'язку, інші об'єкти критичної інфраструктури, які в умовах війни не можуть належним чином функціонувати без стійкої синхронізації сигналів, вимагають використання додаткових методів та технічних засобів [1].

Ефективним, з точки зору вирішення проблеми підвищення відмовостійкості засобів часово-частотного забезпечення сучасної електроенергетики і автоматики, є використання комплексного підходу, який передбачає диверсифікацію джерел синхронізації, застосування стійких до РЕБ технологій, впровадження фізичного та кіберзахисту, а також децентралізацію мережевої архітектури [2]. Для генерації сигналів синхронізації з підвищеною відмовостійкістю в умовах ненавмисних збоїв та цілеспрямованих атак рекомендується використовувати спеціальні радіоприймачі глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), а також технології багатоканального моніторингу, гібридного синтезу сигналів синхронізації та додаткові методи резервування джерел сигналів синхронізації [1].

В умовах простійного або періодичного впливу систем РЕБ на обладнання синхронізації електроенергетики або інших об'єктів критичної інфраструктури,

які містять у своєму складі приймачі опорних сигналів GNSS, виникає ситуація, коли неможливо гарантувати безперервне надходження опорного сигналів частотної або фазової синхронізації до споживача. Тому, для зменшення вразливості засобів часово-частотного забезпечення електроенергетичних систем доцільним є використання наявних в Україні діючих високостабільних джерел еталона одиниць часу і технічних засобів для передавання сигналів синхронізації часу.

Децентралізація мережевої архітектури часово-частотного забезпечення забезпечується формуванням надмірної кількості джерел ССЧ. Крім діючих високостабільних джерел еталонів одиниць часу в умовах воєнного стану для формування первинних джерел синхронізації пропонується використовувати обладнання Системи координатно-часового та навігаційного забезпечення України Національного центру управління та випробувань космічних засобів [3]. При цьому, ефективним, з точки зору вирішення проблеми підвищення відмовостійкості засобів комп'ютерно-інтегрованих систем часово-частотного забезпечення, є використання пристрою багатоканального моніторингу [4, 5]. Розроблено інтелектуальну комп'ютерно-інтегровану систему, яка забезпечує безперервний багатоканальний моніторинг параметрів сигналів синхронізації в режимі реального часу, цифрову обробку даних моніторингу та генерацію сигналів синхронізації з підвищеною стійкістю.

Запропоновані організаційно-технічні заходи щодо підвищення відмовостійкості засобів часово-частотного забезпечення об'єктів критичної інфраструктури забезпечують формування сигналів синхронізації з покращеною якістю та можуть бути рекомендовані для використання на об'єктах різних секторів економіки країни як у воєнних умовах, так і в повоєнний період.

Перелік джерел посилань

1. Samkov O.V., Koval V.V., Vakas V.I., Rybina, Samkov B.O., Piskun O.M. Improving the resilience of synchroinformation systems of smart power grids and mobile communications networks under wartime conditions // Відновлювана енергетика. № 3(82) (2025), 2025. – С.39-47. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2025.3\(82\).39-47](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2025.3(82).39-47)

2. <https://www.dhs.gov/publication/st-resilient-pnt-conformance-framework>. Resilient PNT Conformance Framework.

3. Коваль В.В., Самков О.В. Піскун О.М., Медіна М.С., Головня М.В., Шклярєвський І.Ю. Інформаційна система передавання еталонних значень шкали часу інтегрованих електроенергетичних мереж SMART-технологій // Вісник університету «Україна». Серія «Інформатика, обчислювальна техніка, кібернетика». – К., 2019 - № 1(22), 2019.- с. 231-239.

4. Самков О.В, Коваль В.В., Лисенко В.П., Кальян Д.О., Рибіна О.Б., Осінський О.Л. Пристрій багатоканального моніторингу синхросигналів SMART Grid енергосистем з оптимальним за швидкістю фазовим автопідстроюванням частоти // Технічна електродинаміка. – К.: ІЕД НАН України, – № 1 (2023), 2023. – С.81-92. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2023.01.081>

5. Самков О.В., Коваль В.В., Лисенко В.П., Чопик В.В., Осінський О.Л., Самков Б.О. Розроблення цифрових засобів багатоканального моніторингу пристроїв синхронізації часу електроенергетичних SMART Grid систем // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. Випуск 65 (2023). – С.28-32. DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2023.65>

АВТОМАТИЗОВАНИЙ МОНІТОРИНГ ТА КОНТРОЛЬ ДИНАМІКИ РОСТУ ОГІРКІВ В ШТУЧНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ ПІСЛЯ ЛАЗЕРНОЇ СТИМУЛЯЦІЇ

Мазурчук П.М., аспірант; Кіктєв М.О., к.т.н., доцент; Никифорова Л.Є., д.т.н., професор

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна.

Розвиток технологій точного землеробства та керованого біологічного виробництва є ключовим напрямком світової економіки. Лазерна біостимуляція є перспективним методом впливу на насіннєвий матеріал та вегетуючі рослини. Низькоінтенсивне лазерне випромінювання здатне активувати метаболічні процеси, що призводить до збільшення схожості та інтенсифікації росту. Однак, ефект від лазерної стимуляції є високочутливим до подальших кліматичних умов (температури, вологості, освітлення, концентрації CO₂), що вимагає розробки інтелектуальних систем моніторингу та контролю. Дослідження [1] підтверджує необхідність розробки біотехнічних систем для лазерної обробки насіння, що дозволяють точно контролювати дозу опромінення. Автори статті [2] показали, що лазерне опромінення насіння олійних культур значно впливає на ростові процеси та вміст пігментів, підкреслюючи, що зміни у фізіології рослин починаються вже на етапі проростання. Робота [3] демонструє, що передпосівна обробка насіння томатів червоним лазером не лише покращує початковий розвиток рослини, але й підвищує її стійкість до сольового стресу та загальну врожайність. Це відкриває шлях до не лише стимулювання, а й програмування стійкості рослин, що вимагає розробки адаптивних кліматичних стратегій для підтримки цього ефекту протягом усього вегетаційного періоду. Таким чином, аналіз літератури підтверджує, що найбільша ефективність лазерної стимуляції досягається лише за умови інтегрованого та динамічного управління подальшим мікрокліматом.

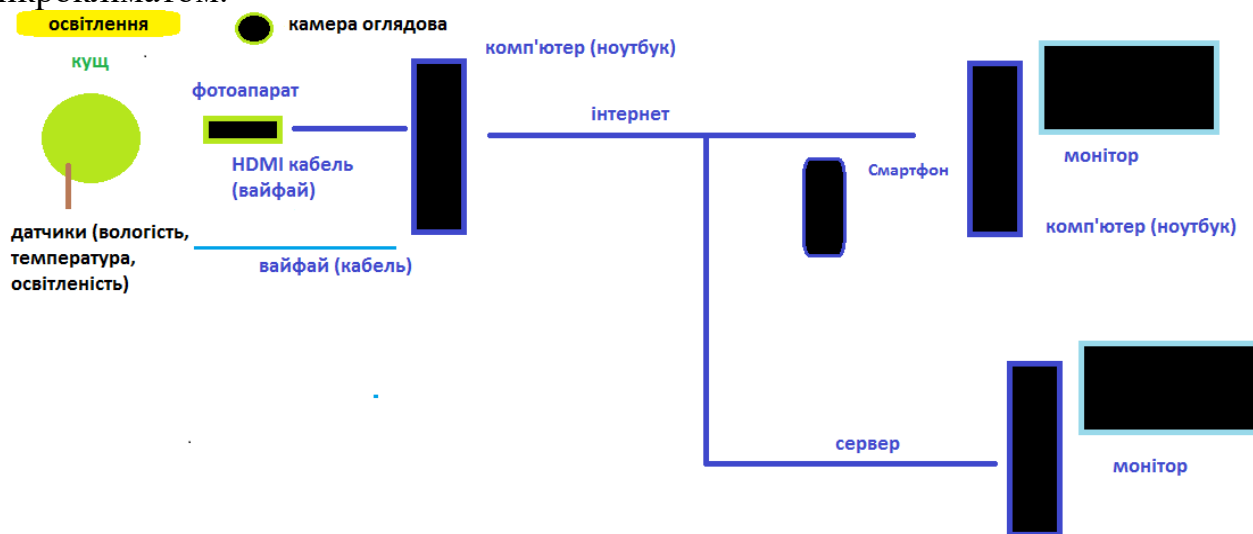


Рис. 1. Структурна схема апаратного забезпечення експериментального дослідження

Наше дослідження присвячено розробці апаратно-програмного комплексу для автоматизованого моніторингу ключових показників динаміки росту огірків

(*Cucumis sativus*) після передпосівної лазерної стимуляції та створення системи управління мікрокліматом для одержання позитивного ефекту стимуляції. Об'єктом дослідження обрано насіння огірків сорту «Атлет F1» – партенокарпічного гібрида, що дозволяє уникнути факторів, пов'язаних із запиленням. Передпосівна обробка проводилася із застосуванням лазерної установки Lika-Led [4]. У рамках попереднього етапу експерименту було сформовано 6 груп насіння (по 5 насінин у кожній) для визначення найбільш ефективних параметрів опромінення (спектр, потужність, час, висота).

На рис. 1 показана схема апаратного забезпечення проведення експерименту спостереження за розвитком рослин огірків протягом 3 місяців (камера HOCO 4K WiFi; ПЗ AMCap; поворотна Wi-Fi IP-камера зовнішнього спостереження з нічним баченням та підсвіченням; ПЗ V380 Pro; додатковий Wi-Fi датчик температури та вологості; ПЗ SmartLife). На рис. 2 показано фото експерименту з моніторингу.

Експериментальна частина роботи проводиться на базі університетської лабораторії, обладнаної спеціалізованим фітотроном, що забезпечує повністю штучні умови мікроклімату. Для точного контролю параметрів використовується мікропро-цесорна система автоматичного регулювання СОТА 816, яка здатна вимірювати та оперативно коригувати температуру, відносну вологість повітря та концентрацію вуглекислого газу, що є критично важливим для дослідження впливу лазерної стимуляції.



Рис. 2. Загальний вид моніторингу росту огірків в фітотроні

Перелік джерел посилань

1. Л. Є. Никифорова, П. С. Олендер. Біотехнічна система лазерної обробки насіння соняшнику. "Енергетика і автоматика", №1, 2020 р. DOI 10.31548/energiya2020.01.059.
2. Приседський Ю.Г., Гутянська С.С. Вплив лазерного опромінення насіння на ростові процеси та вміст пігментів у проростках олійних культур. *Наукові доповіді НУБІП України*. 2017. № 2 (66). С. 10–12.
3. Carlos Francisco de Jesús Rivera-Talamantes, Alexandre Michtchenko, Gabriela González-López, Andrei V. Budagovsky, David Correa-Coyac, Juan Acosta. Influence of pre-sowing red laser

irradiation of tomato seeds on the initial plant development, salinity stress tolerance, and harvest yield. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2023. 35(1): 40-47. doi: 10.9755/ejfa.2023.v35.i1.2934
4. <https://www.fotonikaplus.com.ua/produktiya/istochniki-izlucheniya/apparat-svetodiodnyj-liko-led.html> (Доступ 14.11.2025).

УДК 681.5:631.331.85

АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ВИСІВУ ТА ГЛИБИНИ ЗАРОБКИ НАСІННЯ ДЛЯ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР

Іванов І. М.; Опришко О. О., к.т.н., доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

Одним із ключових напрямів розвитку технологій точного землеробства є автоматизація процесів висіву, що дозволяє забезпечити стабільність агротехнічних параметрів і зменшити вплив людського фактора. Від рівномірності розподілу насіння та стабільності глибини його заробки залежить густина стояння рослин, рівень схожості, енергія проростання та кінцева врожайність. В умовах зміни вологості, щільності та структури ґрунту, а також при нерівномірному русі посівної техніки, традиційні механічні системи контролю не забезпечують необхідної точності. Це визначає актуальність досліджень, спрямованих на розроблення автоматизованих систем контролю параметрів висіву з елементами адаптивного регулювання.

Метою дослідження є постановка та обґрунтування науково-технічної задачі автоматизації контролю висіву та глибини заробки насіння просапних культур. Передбачається створення структури системи, що включає сенсорний модуль для фіксації проходження насіння у висівному каналі, блок вимірювання глибини заробки на основі тензометричних або ультразвукових датчиків, а також мікропроцесорний блок керування для збору, обробки та аналізу даних у реальному часі. Особлива увага приділяється вибору сенсорних елементів, алгоритмам цифрової фільтрації сигналів, методам виявлення пропусків насіння та визначенню відхилень глибини заробки від заданої норми.

Планується розроблення математичної моделі процесу висіву з урахуванням кінематичних характеристик сошників і фізико-механічних властивостей ґрунту. Це дозволить провести моделювання роботи системи контролю та оцінити потенційні похибки вимірювання. У перспективі передбачається створення лабораторного макета автоматизованої системи з подальшим її тестуванням у реальних польових умовах.

Отже, постановка задачі автоматизації контролю висіву та глибини заробки насіння є важливим кроком у напрямі створення інтелектуальних систем підтримки технологічних процесів у сільському господарстві. Подальша розробка таких систем сприятиме підвищенню ефективності посівних робіт, оптимізації витрат насінневого матеріалу та розвитку роботизованих технологій у сучасному аграрному виробництві.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ НА ПРИКЛАДІ ОЦІНЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ТВАРИН

Градобоєв Д.А., аспірант; Кіктєв М.О., к.т.н., доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна.

У сучасних умовах інтенсифікації тваринництва та підвищення вимог до добробуту тварин зростає потреба в автоматизованих системах безперервного моніторингу їхнього стану та поведінки. Традиційні методи спостереження ґрунтуються на періодичному візуальному контролі, є трудомісткими, суб'єктивними та не забезпечують оперативного виявлення відхилень у поведінці чи ознак захворювань. Тому перспективним напрямом є застосування методів комп'ютерного зору та машинного навчання для автоматичної ідентифікації рухомих об'єктів, відстеження траєкторій руху тварин та класифікації їхніх поведінкових патернів на основі відеоданих або сигналів від сенсорів. Огляд сучасних робіт свідчить, що глибокі нейронні мережі дедалі активніше застосовуються для розпізнавання поведінки сільськогосподарських тварин, зокрема при аналізі активності, годівлі, відпочинку, соціальних взаємодій і раннього виявлення стресу чи хвороб [1, 2]. Типовий технологічний ланцюжок таких систем включає отримання даних із мережі відеокамер, RGB-D сенсорів або носимих акселерометрів, попередню обробку сигналів, виявлення та сегментацію окремих тварин як рухомих об'єктів, подальше відстеження їхніх траєкторій та виділення інформативних ознак для класифікації поведінкових станів.

Для виявлення та трекінгу тварин у складних виробничих умовах (мінливе освітлення, часткові перекриття, скупчення особин) широко використовуються архітектури типу згорткових нейронних мереж і сучасні моделі об'єктної детекції (наприклад, сімейство YOLO), що забезпечують роботу в режимі, наближеному до реального часу [3–5]. У поєднанні з рекурентними мережами, прихованими марковськими моделями чи іншими послідовнісними підходами це дозволяє не лише фіксувати факт присутності тварини в кадрі, а й інтерпретувати її поведінку як послідовність елементарних «поведінкових одиниць», які можуть бути пов'язані з нормальними чи аномальними станами організму [4, 5].

У роботі [6] пропонується концепція автоматизованої системи ідентифікації рухомих об'єктів на прикладі оцінювання поведінки тварин у виробничих приміщеннях або дослідних вольєрах. Схему розміщення відеокамер у загонах наведено на рис. 1. Система передбачає використання мережі відеокамер для безперервного контролю зони утримання, модулів детекції та трекінгу тварин на основі глибоких згорткових нейронних мереж, а також модуля класифікації поведінкових станів, навченого на розмічених даних. Очікується, що така система дозволить автоматично виявляти відхилення у

поведінці (зниження активності, зміни у структурі переміщень, нетипові соціальні взаємодії), формувати сигнали тривоги для операторів та інтегруватися з системами керування мікрокліматом і годівлею. Це створює передумови для підвищення ефективності використання ресурсів, своєчасного ветеринарного втручання та загального покращення добробуту тварин як елемента сталого природокористування [1–5].

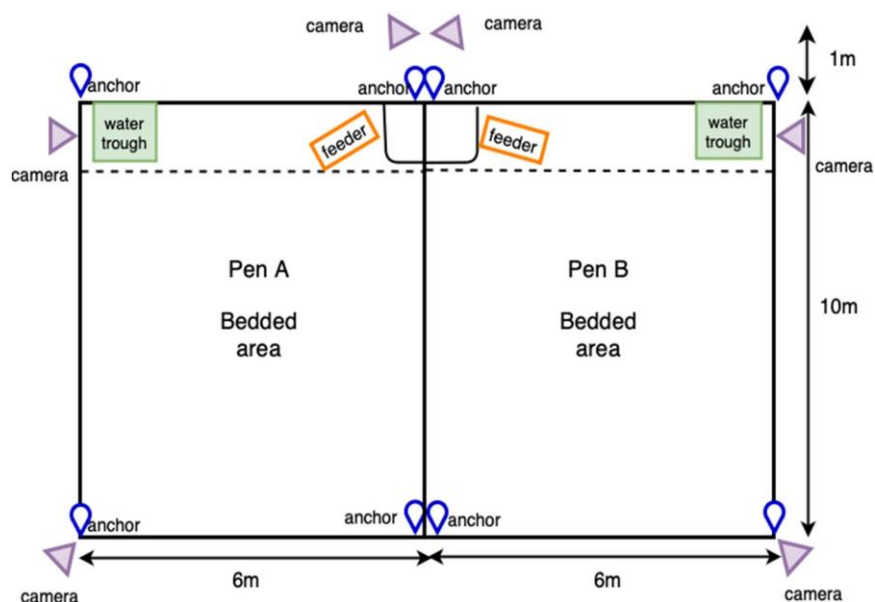


Рис. 1. Схема розміщення відеокамер та елементів інфраструктури у загонах для моніторингу поведінки тварин [6]

Перелік джерел посилань

1. Rohan, A.; Razaq, M. S.; Hasan, M. J.; Asghar, F.; Bashir, A. K.; Dottorini, T. Application of Deep Learning for Livestock Behaviour Recognition: A Systematic Literature Review. arXiv 2023, arXiv:2310.13483. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.13483>
2. Menezes, G. L.; Mazon, G.; Ferreira, R. E. P.; Cabrera, V. E.; Dorea, J. R. R. Artificial Intelligence for Livestock: A Narrative Review of the Applications of Computer Vision Systems and Large Language Models for Animal Farming. Anim. Front. 2024, 14, 42–53. <https://doi.org/10.1093/af/vfae048>
3. Ma, W.; Sun, Y.; Qi, X.; Xue, X.; Chang, K.; Xu, Z.; Li, M.; Wang, R.; Meng, R.; Li, Q. Computer-Vision-Based Sensing Technologies for Livestock Body Dimension Measurement: A Survey. Sensors 2024, 24, 1504. <https://doi.org/10.3390/s24051504>
4. Antognoli, V.; Presutti, L.; Bovo, M.; Torreggiani, D.; Tassinari, P. Computer Vision in Dairy Farm Management: A Literature Review of Current Applications and Future Perspectives. Animals 2025, 15, 2508. <https://doi.org/10.3390/ani15172508>
5. Qi, Y.; Xiong, S.; Wu, B. Analysis, Evaluation, and Prediction of Machine Learning-Based Animal Behavior Imitation. Electronics 2025, 14, 2816. <https://doi.org/10.3390/electronics14142816>
6. Vázquez-Diosdado, J. A.; Doidge, C.; Bushby, E. V.; Occhiuto, F.; Kaler, J. Quantification of play behaviour in farmed calves using automated ultra-wideband location data and its association with age, weaning and health status. Sci. Rep. 2024, 14, 8872. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59142-z>

ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС ПІДВИЩЕНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Бабенко М.А., аспірант

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна.*

У сучасних біогазових системах спостерігається істотна проблема низької енергетичної ефективності, оскільки традиційні методи інтенсифікації процесів метаногенезу, такі як контроль температури, перемішування та підтримання параметрів середовища, практично вичерпали свої можливості. До 30–40% виробленої енергії витрачається на власні потреби установки, що значно зменшує корисний вихід енергії. Одним із перспективних шляхів підвищення ефективності біогазових комплексів є використання CO_2 , який становить близько третини від загального об'єму біогазу та зазвичай не бере участі у подальших енергетичних процесах. Сучасні дослідження у галузі біоелектрохімічних систем і технологій Power-to-Gas показують можливість електрохімічного або мікробно-електрохімічного перетворення CO_2 у водень під дією прикладеної напруги $0[1,2]$. Доведено, що мікробні електросинтезувальні системи здатні ефективно відновлювати CO_2 у H_2 або інші газоподібні енергетичні продукти за наявності відповідних катодних потенціалів і біокатализаторів, а використання відновлюваних джерел енергії для живлення таких систем дозволяє створювати замкнені енергетичні цикли[3].

Запропонована модель передбачає створення окремої електрохімічної комірки, яка не втручається у функціонування основного біореактора, але використовує побічний CO_2 для утворення водню. Реалізація може здійснюватися двома способами: за допомогою сонячних панелей, що забезпечують необхідну напругу для електролітичних процесів, або через використання обертового заливного нагрівача, що генерує різницю потенціалів у конвективних потоках. На поверхні електродів створюється керована різниця потенціалів, яка активує процес електрохімічного відновлення CO_2 . Паралельно проводиться моделювання електрохімічних процесів, визначення оптимальних матеріалів електродів, робочих потенціалів і струмів, а також аналіз енергетичного балансу всієї системи. Очікується, що інтеграція електрохімічної комірки з біореактором дозволить підвищити загальну енергоефективність установки на 10–20% завдяки утворенню додаткового водню та зменшенню частки енергії, що витрачається на власні потреби системи. Такий підхід поєднує переваги традиційної біоенергетики та технологій відновлюваної енергетики, створюючи гібридну енергосистему замкненого циклу й дозволяючи одночасно зменшити викиди CO_2 і збільшити кількість доступного палива [4,5]. Очікуваним результатом дослідження є розроблення моделі електрохімічної комірки, визначення її ефективності та перспектив впровадження у промислові

біогазові комплекси.

Перелік джерел посилань

1. Bian B, Bajracharya S, Xu J, Pant D, Saikaly PE. Microbial electrosynthesis from CO₂: challenges, opportunities and perspectives in the context of circular bioeconomy. *Bioresour Technol.* 2020;302:122863. doi:10.1016/j.biortech.2020.122863.
2. Koul Y, Devda V, Varjani SJ, Guo W. Microbial electrolysis: a promising approach for treatment and resource recovery from industrial wastewater. *Bioengineered.* 2022;13(4):8115-8134. doi:10.1080/21655979.2022.2051842.
3. Lim SS, et al. Effects of applied potential on hydrogen production in biocathodes. *Front Chem.* 2018.
4. Tian S, et al. Mo₂C-induced hydrogen production enhances microbial CO₂ reduction. *Nat Commun.* 2019. doi:10.1186/s13068-019-1413-z.
5. Jourdin L, Burdyny T. Microbial electrosynthesis: where do we go from here? *Trends Biotechnol.* 2021;39(4):359-369. doi:10.1016/j.tibtech.2020.10.014.

УДК 313.33:621.318.122

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ІНТЕГРАЦІЇ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БІОГАЗОВИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ У НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС

Настенко М.О., студентка магістратури ННІ ЕАЕ

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

Проблема забезпечення енергетичної безпеки та впровадження сталої енергетики в Україні вимагає підготовки нового покоління інженерів, які володіють не лише теоретичними знаннями, але й практичними навичками у сфері автоматизації складних біотехнологічних процесів [2]. Бізнес-процес виробництва біогазу, особливо на етапі підготовки субстрату (контроль вологості, рН, температури та співвідношення С/Н), є критично важливим для забезпечення стабільності метаногенезу та максимізації виходу продукту. Складність цього процесу визначається його міждисциплінарним характером, що поєднує електротехніку, автоматику, хімію та мікробіологію.

Сучасна методологія вищої технічної освіти повинна відображати цю міждисциплінарність, відходячи від вузькопрофільних навчальних курсів до комплексного, проектно-орієнтованого навчання. Методологічний підхід до навчання фахівців у галузі біоенергетики ґрунтується на інтеграції розробки систем автоматичного керування (САК) конкретним виробничим процесом – підготовкою субстрату для біогазової установки – безпосередньо у магістерську програму.

Ключовими елементами такої освітньої моделі є, по-перше, моделювання та симуляція динамічних процесів підготовки субстрату. Застосування програмних комплексів (наприклад, SCADA-систем та середовищ моделювання, як-от MATLAB Simulink або Python-бібліотеки) дозволяє студентам експериментувати з різними стратегіями керування (PID-регулятори, нечітка

логіка) без ризику пошкодження реального обладнання. По-друге, необхідна проектна робота з реальними даними, отриманими з діючих чи пілотних біогазових установок НУБіП України. У контексті навчального процесу це включає аналіз впливу варіацій параметрів субстрату (наприклад, зміна рівня кислотності або в'язкості) на необхідні коригуючі дії системи керування. Нарешті, суттєве значення має практична реалізація на базі PLC/мікроконтролерів через навчання програмуванню промислових логічних контролерів (PLC) та мікроконтролерних платформ (Arduino, Raspberry Pi) для створення фізичного прототипу САК, що забезпечує формування інженерного мислення, орієнтованого на перехід від алгоритму до апаратного рішення [3].

Впровадження таких методологій дозволяє підвищити якість підготовки фахівців, здатних розробляти та впроваджувати комплексні САК для підвищення ефективності біогазових технологій [1]. Крім того, це наочно демонструє студентам взаємозв'язок між теоретичною електротехнікою, процесами перетворення енергії та кінцевою енергоефективністю виробництва. Такий підхід також формує культуру критичного аналізу та прийняття рішень на основі даних, що є основою сучасної філософії інженерної науки.

Таким чином, інтеграція прикладних інженерних задач, сфокусованих на розробці систем керування біоенергетичними процесами, є ефективним інструментом у методології вищої технічної освіти для досягнення цілей сталого розвитку [2].

Перелік джерел посилань

1. Бондар В. С., Фурса А. В., Гументик М. Я. Стратегія та пріоритети розвитку біоенергетики в Україні. Економіка АПК. 2018. № 8. С. 17 - 25.
2. Фурман І. В., Ксенчин Д. О. Управління виробництвом біогазу з відходів підприємств АПК та домогосподарств. Економіка та суспільство. 2024. вип. 59. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-44>.
3. Буренко Н. Аналіз режимів роботи системи електропостачання промислового об'єкту з врахуванням біогазової станції. 74-а науково-практична онлайн-конференція студентів «Енергозабезпечення, електротехнології, електротехніка та інтелектуальні управляючі системи в АПК», Київ, 21–22 квіт. 2021 / Національний університет біоресурсів і природокористування України. Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики і енергозбереження. С. 87.

УДК 644.11 : 62-69

ОБИГРІВАЧІ ТА ЇХ ПЕРЕВАГИ У СИСТЕМАХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ОПАЛЕННЯ СВИНАРНИКА-ВІДГОДІВЕЛЬНИКА

Гайдукевич С.В.¹, старший викладач; Семенова Н.П.², старший викладач
*^{1, 2}ВП НУБіП України “Бережанський агротехнічний інститут”, м. Бережани,
Україна*

Опалення тваринницьких приміщень до сьогоднішнього дня залишається невирішеним питанням, оскільки являється одним з найважливіших факторів розвитку тварин і водночас найбільш енергомістким технологічним процесом,

що не відповідає сучасним вимогам. Деякі науковці переконані, що найперспективнішою системою опалення житлових і виробничих будівель в умовах України є електрообігрівачі акумуляційного типу [1, с. 262], які працюють на газі або іншому паливі, інші - системи з розміщенням джерела енергії поза зоною утримання [2, с. 100] тварин, тобто установки з переносником енергії у яких виступає вода. Традиційні системи вже не повністю задовольняють вимоги до рівномірності прогріву, оперативності керування та енергоефективності. Це зумовлює необхідність упровадження нових технологій, здатних забезпечити стабільний мікроклімат при мінімальних енерговитратах.

Проте актуальні тенденції енергоощадних технологій та результати експериментальних досліджень свідчать, що у цьому контексті все більшої уваги привертають низькотемпературні плівкові нагрівачі, які працюють за принципом інфрачервоного випромінювання та забезпечують зональний, м'який і рівномірний обігрів тваринницьких приміщень.

Сучасні вимоги до енергоефективності, зменшення експлуатаційних витрат та підвищення комфорту утримання свиней на відгодівлі від 30 до 120 кг зумовлюють активний пошук нових технологій опалення. Зокрема, традиційні системи (водяні, газові чи повітряні) поступово удосконалюються або замінюються більш ефективними рішеннями, які забезпечують точний контроль мікрокліматичних показників, зниження тепловтрат та раціональне використання енергії. Серед великого різноманіття теплотехнічного обладнання можна виділити кілька груп обігрівачів, які на сьогоднішній день вважаються найперспективнішими для свинарника-відгодівельника на 500 голів. З попередніх розрахунків відомо, що для приміщення розмірами 60x18x3 м при внутрішній температурі +22°C і розрахунковій зовнішній температурі – 10°C тепловтрати через огорожуючі конструкції і вентиляцію становлять 129,31 кВт.

Інфрачервоні плівкові обігрівачі представляють собою тонкі нагрівальні елементи на основі карбонової або біметалевої плівки, які перетворюють електричну енергію безпосередньо в інфрачервоне випромінювання. На сучасному ринку представлено широкий асортимент таких систем, однак враховуючи специфіку тваринницького приміщення, підвищену вологість, вимоги до надійності та інші фактори серед всього різновиду було обрано плівковий обігрівач нового покоління типу Heat Plus GPTC-410-220 з ефектом саморегуляції. Його конструкція забезпечує автоматичне збільшення електричного опору при досягненні заданої температури, що призводить до зниження споживаної потужності, що дозволяє уникнути перегріву. Окрім цього, у порівнянні із звичайними плівковими системами даний тип нагрівача дозволяє знизити середнє споживання електроенергії приблизно на 10-30%, залежно від тепловтрат будівлі, режимів вентиляції, зонування, частоти вмикань та ін. Ці обігрівачі є одним з найбільш технологічно прогресивних рішень для локального або зонального обігріву, що забезпечує швидке досягнення оптимальної температури в зоні перебування тварин.

Конденсаційні газові котли більш удосконалені на відміну традиційних газових систем, оскільки вони використовують додаткову теплоту конденсації водяної пари. Такі котли відзначаються високою надійністю та сучасною

автоматизацією процесу горіння, що підвищує їхню енергоефективність.

Пелетні котли нового покоління працюють на гранульованому біопаливі, яке подається автоматично в суворо дозованих порціях. Ці котли характеризуються низькою собівартістю виробленої теплової енергії за доступністю пелет.

Інфрачервоні панельні нагрівачі забезпечують формування рівномірного та комфортного теплового поля у свинарнику-відгодівельнику без перегріву повітря. Такі обігрівачі створюють прямий нагрів тіла тварин, а не повітря при цьому втрати тепла істотно зменшуються.

Одним із ефективних енергозберігаючих способів, що дає можливість економити паливно-енергетичні ресурси, знижувати забруднення навколишнього середовища, задовольняти потреби споживачів у технологічному теплі, є застосування теплонасосних технологій виробництва теплоти [3, с. 262]. Теплові насоси можуть працювати як у режимі обігріву, так і охолодження, що робить їх універсальними елементами сучасних систем мікроклімату.

Таблиця 1 - Порівняльна характеристика витрат обігрівними пристроями

Технологія	Паливо / елемент	η (прибл.), %	Вхідна енергія палива для забезпечення 558600 Вт тепла (сезон) кВт	Потрібне паливо (сезон)	Орієнт. вартість (грн/сезон)
1. Heat Plus GPTC-410-220 (РТС плівка)	електрика (пряма)	$\approx 98-100$ (інфрачервон а плівка ≈ 0.98)	$\approx 558,600$ (електроенергія)	558,600кВт електроенергії	≈ 2413152 (558600 \times 4.32 грн/кВт)
2. Конденсаційний газовий котел (сучасний)	природний газ	≈ 92	558600 / 0.92 $\approx 607\ 174$ (паливо)	$\approx 63\ 913\ \text{m}^3$ газу (при 1 $\text{m}^3 \approx 9.5$ кВт).	$\approx 508\ 747$ (63 913 $\text{m}^3 \times 7.96$ грн/ m^3).
3. Дизельний (паливниковий) котел / мазут	дизель	≈ 85	558600 / 0.85 $\approx 657\ 176$ (паливо)	$\approx 67\ 063$ л дизеля (9.8 кВт/л).	$\approx 3\ 882\ 900$ УАН (67 063 $\times 57.9$ грн/л)
4. Пелетний котел (біомаса: деревні пелети)	пелети (біомаса)	$\approx 85\%$	558600 / 0.85 = $\approx 657\ 176$ (паливо)	≈ 137 т пелет (при 4.8-4.9 кВт/кг $\rightarrow \approx 4,800$ кВт/т).	за 8 000-12 000 грн/т $\rightarrow \approx 1.1-1.6$ млн грн/сезон)
5. Електричний тепловий насос (повітря-повітря або повітря-вода)	електрика	ефективність $\approx \text{COP } 3.0$	558600 / 3 = 186 200 (електроенергія)	186 200 кВт електрики	≈ 804384 (186200 \times 4.32 грн/кВт).

У таблиці 1 подано розрахункові дані витрат палива і приблизна вартість витратного палива за сезон для обігріву приміщення свинарнику-відгодівельника на 500 голів розмірами 60x18x3 м. З таблиці видно, що найдешевший варіант —

конденсаційний газовий котел (~0.51 млн грн/сезон), якщо доступний газ. Тепловий насос (COP 3.0) займає проміжний варіант (~0.80 млн грн/сезон), при цьому значно нижчі електровитрати порівняно з прямим використанням електроенергії. Інфрачервоні плівкові обігрівачі Heat Plus GPTC-410-220 (РТС плівка) - найдорожчий варіант як основне джерело тепла (~2.46 млн грн/сезон) при даному тарифі. Дизельні обігрівачі найдорожчі серед рідкопаливних (~3.88 млн грн/сезон), але дають незалежність від газу/мережі. Пелетні установки конкурентні при помірних цінах на паливо (за 8 кубів грн/т \approx 1.10 млн грн/сезон, за 12 кубів грн/т \approx 1.64 млн грн/сезон).

Висновок. При мінімальних поточних затратах і доступності газової мережі конденсаційний газовий котел забезпечує найнижчу собівартість теплоти серед традиційних систем. Найкращі результати демонструють гібридні рішення. При використанні електроенергії найбільш раціональним є комбінований варіант — тепловий насос (для основного підігріву) і інфрачервоні плівкові обігрівачі Heat Plus GPTC-410-220 (для локального обігріву тварин). Таке поєднання систем зменшить загальне електроспоживання завдяки високому коефіцієнту перетворення (COP) теплового насосу, тоді як плівкові обігрівачі забезпечать швидкий прогрів та підвищений точковий комфорт в зоні перебування тварин. При використанні систем рекуперації повітря можна зменшити витрати електроенергії на 20-35%.

Перелік джерел посилань

1. Третьякова Л.Д., Луц Т.Є. Енергозберігаючі системи опалення виробничих приміщень. Вісник КНУТД, 2013. № 6. С. 262-268.
2. Болтянська Н.І., Болтянська О.В. Обґрунтування вибору системи опалення свинарників. Доступність ресурсу: <https://journal.imaap.org.ua/info/attach.php?id=298>.
3. Босий М.В. Енергозберігаючі теплонасосні системи теплопостачання. Наукові записки, 2013. Вип.13. С. 168-171.

Наукове видання

**Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі
природокористування
(теорія, практика, історія, освіта)**

Матеріали
XII Міжнародної науково-технічної конференції
м. Київ, 20 листопада 2025 р.

Відповідальний за видання: Окушко О.В.

Технічний редактор: Сорокін Д.С.

Комп'ютерне складання та верстання: Чуєнко Р.М.