

X Всеукраїнська науково-практична
конференція студентів та молодих учених

«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА»

Тези доповідей

Кривий Ріг, 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Криворізький національний університет

Х ВСЕУКРАЇНСЬКА
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА
КОНФЕРЕНЦІЯ
СТУДЕНТІВ ТА МОЛОДИХ УЧЕНИХ

«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО
ВИРОБНИЦТВА»

Тези доповідей

Кривий Ріг
КНУ
2025



Пам'яті

професора, канд. техн. наук,
ГУЗОВА Едуарда Семеновича
(01.07.1938 – 01.01.2017)

УДК 620.9:621.3 (08)

A43

A43 X Всеукраїнська науково-практична конференція «Актуальні питання гірничо-металургійного виробництва»: Збірник тез доповідей. Кривий Ріг: КНУ, 2025. 90 с.

До збірника увійшли матеріали доповідей, поданих на Всеукраїнську науково-практичну конференцію «Актуальні питання гірничо-металургійного виробництва». Збірник призначено для студентів, магістрів, аспірантів, здобувачів наукового ступеню та молодих науковців.

Представлено результати досліджень і розробок здобувачів освіти різних рівнів та молодих учених провідних закладів вищої освіти України: енергоефективність електромеханічних систем та комплексів, фізичні та віртуальні моделі електротехнічних пристроїв, електропостачання та енергоменеджмент, автоматизація виробничих процесів.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Сінчук О. М., д-р техн. наук, професор (відповідальний редактор);

Михайленко О. Ю., канд. техн. наук, доцент (відповідальний секретар);

Стржелецькі Р., д-р техн. наук, професор (Польща);

Титюк В. К., д-р техн. наук, професор;

Далека В. Х., д-р техн. наук, професор;

Кутін В. М., д-р техн. наук, професор;

Розен В. П., д-р техн. наук, професор;

Пересунько І. І., канд. техн. наук, доцент;

Замицький О. В., д-р техн. наук, професор;

Барановська М. Л., канд. техн. наук, доцент;

Осадчук Ю. Г., канд. техн. наук, доцент;

Верстка: **Кухта О.О.**

© Криворізький національний університет

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF
UKRAINE
Kryvyi Rih National University

UKRAINIAN SCIENTIFIC-PRACTICAL
CONFERENCE OF STUDENTS AND
YOUNG RESEARCHERS

«ACTUAL QUESTIONS OF MINING AND
METALLURGICAL INDUSTRY»

Conference proceedings

Kryvyi Rih
KNU
2025

- A43 Ukrainian scientific-practical conference of students and young researchers “Actual questions of mining and metallurgical industry”: Conference proceedings. Kryvyi Rih: KNU, 2025. 90 p.

Materials of reports, presented at the Ukrainian scientific-practical conference of students and young researchers “Actual questions of mining and metallurgical industry”. The conference proceedings are intended for students, master's, post-graduates, competitors for a science degree, and beginners in science.

It is presented the results of research and developments of the students and the beginners in science from leading universities of Ukraine in the fields of: energy efficiency of electromechanical systems and complexes, physical and virtual models of electrotechnical devices, electrical engineering systems of power consumption and energy management, automation of production processes.

EDITORIAL BOARD

O. M. Sinchuk, Doct.Sc. (Eng), Professor; (editor-in-chief);

O. Yu. Mykhailenko, Cand.Sc. (Eng), Associate Professor (executive secretary);

Strzelecki R., Doct.Sc. (Eng), Professor, (Poland);

V. K. Tytiuk, Doct.Sc. (Eng), Professor;

V. H. Daleka, Doct.Sc. (Eng), Professor;

V. M. Kutin, Doct.Sc. (Eng), Professor;

I. I. Peresunko, Cand.Sc. (Eng), Associate Professor;

V. P. Rozen, Doct.Sc. (Eng), Professor;

O. V. Zamitskyi, Doct.Sc. (Eng), Professor;

M. L. Baranovska, Cand.Sc. (Eng), Associate Professor;

Yu. H. Osadchuk, Cand.Sc. (Eng), Associate Professor.

Layout: **Kukhta O.O.**

Зміст

СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ТА МІСТ..... 10

С.М БОЙКО АСПЕКТИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛОГІСТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ПРОМИСЛОВИХ РЕГІОНІВ 10

А.М. ФАРЕНЮК РОЗВИТОК СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ В КОНТЕКСТІ ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ УКРАЇНИ 11

Н.А. КОВЕРСУН ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТРАНСПОРТУ В КОНТЕКСТІ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ..... 12

Є.Д. МАРТИНЮК, І.В. КАСАТКІНА ВПЛИВ ОБЛЕДЕННЯ НА ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ 13

В. БАРАНОВСЬКИЙ, М. БАРАНОВСЬКА, І. КРАВЧЕНКО, ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВОДОВІДЛИВИХ КОМПЛЕКСІВ ШАХТ КРИВОРІЗЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО БАСЕЙНУ 14

М. ЛОЗА ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ: ПІДХОДИ, ТЕХНОЛОГІЇ ТА РІШЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ..... 16

Д. КАЛЬМУС, Я. ПАЛІЄНКО, Р. ЗАСУНЬКО ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА . 17

Ю.ШЕРСТНЬОВ ОПТИМІЗАЦІЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПРОМИСЛОВИМ ПІДПРИЄМСТВОМ НА ОСНОВІ РАЦІОНАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ 18

Т.М. БЕРІДЗЕ, М.С. МИХУСЕНКОВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НА ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ З УРАХУВАННЯМ ВИКИДІВ 18

ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ З РОЗПОДІЛЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ..... 21

М. ТЕРЕЩУК ДВОЕТАПНЕ ОПТИМАЛЬНЕ ПЛАНУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ 21

Д. ГОСТЄВ ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ SMART GRID В УКРАЇНІ У ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОД..... 22

Д.О.ОБЕРЕМОК ПРОБЛЕМИ ІНТЕГРАЦІЇ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНІ МЕРЕЖІ..... 23

НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ 25

О.С. РОГ, С.М. БОЙКО ПЕРСПЕКТИВИ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ АЕРОДРОМНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ 25

О.В. ДОВГАНІЧ, І.В. КАСАТКІНА ПЕРСПЕКТИВИ МАЛОЇ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ . 26

Д. МРАЧКОВСЬКИЙ, В. ТИТЮК МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГРУПОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНІЗМІВ НАПОРУ І ПІДЙОМУ ЕКСКАВАТОРА	27
А. ШАФІГУЛЛІН, І.В. КАСАТКІНА ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИКИ ЗІ ЗАСТОСУВАННЯМ НАНОТЕХНОЛОГІЙ	28
А.Ю. ОМЕЛЬЧЕНКО, Ю.Г. ОСАДЧУК РЕГУЛЮВАННЯ ПОЛОЖЕННЯ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛІНІЙНОГО РЕГУЛЯТОРА	29
О. ДОЗОРЕНКО, Є. РАШКОВСЬКИЙ ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ОБ'ЄДНОАНІ ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ ПРИ ЗБІЛЬШЕННІ ПОТУЖНОСТЕЙ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	30
Д. КАЛЬМУС, С. ГОРБЕНКО, Р. ЛЕВЧЕНКО, А. КАПІНУС ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ВЕЛИКОВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ.....	31
Д. КАЛЬМУС, Я. ПАЛІЄНКО, М. ДУБРАВСЬКИЙ НОВІ ПІДХОДИ ЩОДО АКТУАЛЬНОСТІ ПИТАННЯ БЕЗДАТЧИКОВОГО КЕРУВАННЯ ВЕНТИЛЬНО-РЕАКТИВНИМ ДВИГУНОМ	32
О. ГАРКУША ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЕНЕРГЕТИЦІ.....	33
В.Д. САМУСЕНКО, О.Ю. МИХАЙЛЕНКО ПІДВИЩЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ПОТУЖНОСТІ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИСТРОІВ СТАТСОМ	34
Д. КАЛЬМУС, М. ДУБРАВСЬКИЙ, О. КОГАН, Б. ЛЕЛЕКА СИСТЕМА БЕЗДАТЧИКОВОГО КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ	35
Д. КАЛЬМУС, Р. ЛЕВЧЕНКО, Б. МАЗУН СТРАТЕГІЯ ЕФЕКТИВНОГО КЕРУВАННЯ ТЯГОВОЮ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЮ СИСТЕМОЮ РЕЙКОВОГО ТРАНСПОРТУ.....	36
Д. КАЛЬМУС, М. ДУБРАВСЬКИЙ, О. КОГАН, Б. ЛЕЛЕКА ЯКІСНИЙ РЕМОНТ ЯК ПЕРШИЙ КРОК ДО НАДІЙНОЇ РОБОТИ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ В УМОВАХ ГІРНИЧО-РУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	37
І. ПЕРЕСУНЬКО, І. БЕЛОУС ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ БЕЗПІТКОВИМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ В УМОВАХ НИЗЬКОШВИДКІСНОЇ РОБОТИ	38
М. ОМЕЛЬЧУК АЛГОРИТМИ КЕРУВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ ЧАСТОТИ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ ГІРНИЧИХ УСТАНОВОК.....	39
М. ОМЕЛЬЧУК ВИКОРИСТАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ОЦІНКИ І ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ СИСТЕМ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ПРОМИСЛОВОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ	42
Д. БОРОВИК КОМЕНТАР ЩОДО МЕТОДІВ БОРОТЬБИ З ОБЛЕДЕНІННЯМ НА ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ.....	44
Я.В. ПАЛІЄНКО, Ю.Г. ОСАДЧУК ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ - КОМПЕНСАТОРІВ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ	46
С.В. ГОРБЕНКО, Ю. Г. ОСАДЧУК ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМПЕНСАТОРІВ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ГІРНИЧО-ДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ	48
І.КОВАЛЕНКО ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНВЕРТОРІВ З АКТИВНИМ ФІЛЬТРУВАННЯМ.....	49

Ю.ШЕРСТНЬОВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНЕ КЕРУВАННЯ КОМПЕНСАЦІЙНИМИ ПРИБОРАМИ ПІДПРИЄМСТВ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ	50
---	----

В. ЛОМАКОВСЬКИЙ AUTOMATED CONTROL OF TRACTION SYSTEMS IN MINES USING BROADBAND WIRELESS COMMUNICATION	51
---	----

Ю. КРИВИЙ CONTROL OF TEMPERATURE FIELDS OF ELECTRICAL ENGINEERING EQUIPMENT OF ELECTRIFIED TRANSPORT	53
--	----

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ І КОМПЛЕКСІВ 57

О. ДОЗОРЕНКО АНАЛІЗ АКТУАЛЬНОГО СТАНУ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДО ОБ'ЄДНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ.....	57
--	----

Д. ЗАБОЛОТНИЙ ВПЛИВ ЗАПИЛЕНОСТІ НА РОБОТУ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ ТА МЕТОДИ ЇЇ ЗНИЖЕННЯ В ПРОМИСЛОВИХ РЕГІОНАХ УКРАЇНИ	58
--	----

І. ПЕРЕСУНЬКО ОЦІНКА ВТРАТ ГЕНЕРАЦІЇ СОЛЯНИМИ ЕЛЕКТРИЧНИМИ СТАНЦІЯМИ ЧЕРЕЗ ПРОМИСЛОВЕ ЗАПИЛЕННЯ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ.....	60
--	----

П.В. РОЗЕН ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ	61
--	----

Ю. МОНАСТІРСЬКИЙ, І. ГІРН НАПРЯМКИ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ НА КАР'ЄРАХ КРИВБАСУ ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ ТРОЛЕЙВОЗІВ.....	62
--	----

В. ЛЕВЧЕНКО, В. БАРАНОВСЬКИЙ ПОСТІЙНЕ УДОСКОНАЛЕННЯ IGBT І ПОГЛИБЛЕНИЙ АНАЛІЗ КЛЮЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ	63
--	----

О.О. КУХТА ІНТЕГРОВАНІ СТРАТЕГІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО КЕРУВАННЯ РУХОМ У СИСТЕМАХ МІСЬКОГО РЕЙКОВОГО ТРАНСПОРТУ	65
---	----

О.О. КУХТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ МІСЬКОГО РЕЙКОВОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ: ВИКЛИКИ, ІННОВАЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ	66
--	----

О.О. КУХТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ РУДНИКОВИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ: ШЛЯХ ДО СУЧАСНОЇ ШАХТНОЇ ЛОГІСТИКИ	67
---	----

О. ЯЛОВИЙ ДО ДИСКУСІЇ ПРО ДОЦІЛЬНІСТЬ ЗМІНИ КАНОНІЧНОГО ФОРМАТУ ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТТЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ	68
--	----

Д.С МОСКАЛЕНКО, І.В. КАСАТКІНА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	68
---	----

В.А АШМАРІН, І.В. КАСАТКІНА ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ РЕКУПЕРАЦІЇ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ	69
---	----

А.А. ЗАЯЦЬ, І.В. КАСАТКІНА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ І РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	70
--	----

В.А. АНТОНОВ, І.В. КАСАТКІНА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ І РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	71
---	----

О.В. КОГАН, І.В. КАСАТКІНА БЕЗДРОТОВА ПЕРЕДАЧА ЕНЕРГІЇ.....	72
---	----

ЗМІСТ

Д. КАЛЬМУС, А. ОМЕЛЬЧЕНКО, С. ГОРБЕНКО ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ НАМОТУВАЛЬНОГО АПАРАТУ ПРОКАТНОГО СТАНУ	73
А. ВИШНИЧЕНКО, В. БАРАНОВСЬКИЙ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕРМОРЕЗИСТОРА ТА ТЕРМОПАРИ	74
Д. МРАЧКОВСЬКИЙ, В. ТИТЮК МЕТОД ВІЗУАЛЬНО-АНАЛІТИЧНОЇ ОЦІНКИ ЕНЕРГОВИТРАТ У СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ ЗАСОБАМИ UNREAL ENGINE ТА MATLAB	76
О. ШИНКАРЕНКО АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ У ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРІ.....	77
Г.П. ВЛАСЮК, А.Б. СЬОМОЧКИН, В.О. ФЕДОТОВ, С.В. СЬОМОЧКИНА ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ ДРОБАРКИ ТИПУ ККД-1500/300 З РЕГУЛЬОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ.....	78
М. ЛОЗА ОПТИМІЗАЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ НАСОСНОЇ ДІЛЬНИЦІ АДМІНІСТРАТИВНО-БАННОГО КОМПЛЕКСУ ДРОБИЛЬНОЇ ФАБРИКИ №2 ПАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ».....	80
В. ЛЕВЧЕНКО, В. БАРАНОВСЬКИЙ ТРЕТІЙ ТИП МАГНЕТИЗМУ: ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ТА НАДПРОВІДНОСТІ.....	81
В. А. ШАПОВАЛОВ, О.В. КЛЯЦЬКИЙ, О.В. ЯВОДЧАК ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОХОДКИ ПОВСТАЮЧИХ ВИРОБОК ПРИ ВИДОБУТКУ ЗАЛІЗНИХ РУД КРИВБАСУ	82
Я.Ю ЯНЧИЙ, І.В. КАСАТКІНА РЕКУПЕРАТИВНЕ ГАЛЬМУВАННЯ В ЕЛЕКТРОМОБІЛЯХ	84
В. А. ШАПОВАЛОВ, О.В. ЯВОДЧАК, О.В. КЛЯЦЬКИЙ ОБМЕЖЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЗОН ПЕРЕМІЩЕННЯ ВАНТАЖІВ КРАНАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ	85
М. КОТЯКОВА ОПЕРАТИВНЕ КЕРУВАННЯ РІВНЯМИ НАПРУГИ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ.....	87
О.ПІЩИК АНАЛІЗ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ	87
ПЕРЕЛІК АВТОРІВ.....	90

СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ТА МІСТ

УДК 621.311

С.М БОЙКО, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри транспортні технології
Національний університет «Запорізька політехніка»

АСПЕКТИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛОГІСТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ПРОМИСЛОВИХ РЕГІОНІВ

Будь-яка галузь економіки не можлива без тісної взаємодії із транспортною структурою. В Україні, з посеред інших видів транспорту, достойне місце до збройного протистояння займали автомобільний та залізничний транспорт. Безумовно, наступить час і подальше відновлення авіаційного транспорту в Україні неминуче. Активний розвиток на сьогодні також мають безпілотні літальні апарати, котрі стали незамінними складовими розвідувальних операцій. Слід зазначити, що до складу транспортної галузі входять транспортні підприємства, як елементи галузі. Метою діяльності транспортних підприємств є забезпечення та виконання перевезень, підтримання на належному рівні транспортних засобів і дотримання високого рівня безпеки під час їх експлуатації. Такого рівня можна досягти лише за умови забезпечення безумовного функціонування всіх систем транспортних підприємств. Основним фактором забезпечення функціонування транспортних підприємств є електроенергопостачання. Безумовно, системи електропостачання транспортних підприємств виконані з подвійним резервуванням, між тим, як показує світовий та вітчизняний досвід, на сьогоднішній день залишається необхідність підвищення рівня надійності систем електропостачання транспортних підприємств. В умовах транспортних підприємств передбачено використання автономних джерел електричної енергії, але, як правило вони використовуються для обслуговування рухомого складу. Тож, залишається актуальною задача впровадження додаткових генеруючих потужностей в системи електропостачання транспортних підприємств. Одним з таких варіантів є впровадження джерел розосередженої генерації в діючі системи електропостачання транспортних підприємств.

Тож, система електропостачання транспортного підприємства повинна мати можливість підвищення надійності електропостачання відповідальних енергоспоживачів за будь-яких параметрів зовнішньої електричної мережі.

Перевагами впровадження схеми електропостачання транспортних підприємств з використанням розосереджених джерел електричної енергії є: блочність будови системи, котра складається з типових електротехнологічних пристроїв, що дає можливість відносно швидко забезпечити електропостачання відповідальних споживачів електричної енергії, та дає можливість перспективного нарощування потужностей генерування.

Слід наголосити на тому, що у якості джерел розосередженої генерації транспортних підприємств можуть бути як відновлювальні джерела енергії, так і інші джерела електричної енергії, котрі працюють на бензині, дизельному паливі, газу.

На сьогоднішній день перспективними є накопичувачі електричної енергії на базі водневих технологій, серед яких слід виокремити паливні комірки. Такі технології накопичення електричної енергії дають можливість підвищити ефективність накопичення електричної енергії, для резервного використання, за необхідності збільшувати потужність акумулювання. Не останню роль відіграє безпека експлуатації паливних комірок в умовах транспортних підприємств, що підтримує авіаційну безпеку на достатньому рівні

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Бойко С.М. Теоретичні засади формування електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації гірничорудних підприємств. Монографія, під редакцією доктора техн. наук, професора О.М. Сінчука. – Кременчук, 2020. – 263 с

РОЗВИТОК СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ В КОНТЕКСТІ ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ УКРАЇНИ

На погляд авторів, перспективним є розвиток транспорту в аспекті післявоєнного відновлення України з урахуванням світового досвіду та сучасних науково-технічних розробок у галузі транспортних технологій. Але такий підхід має бути оснований на ґрунтовній організації енергетичної складової проєкту.

Слід зауважити, що одним із важливих чинників транспортної сфери в цілому та авіаційної її складової насамперед є енергопостачання. Забезпечення транспортної інфраструктури електричною енергією насамперед є важливим чинником у питанні забезпечення відповідного рівня безпеки експлуатації транспортних систем. Транспортна галузь приділяє велику увагу безпеці експлуатації транспортних засобів, витрачаючи на це велику кількість ресурсів у тому числі електроенергетичних.

Тож, авторами запропоновано метод підвищення енергоефективності та надійності електропостачання транспортних підприємств, котрий покликаний адаптувати діючі системи електропостачання до сучасних реалій та проєктувати нові системи електропостачання транспортних підприємства транспортної галузі у відповідності до вимог надійності електропостачання, енергетичної ефективності та екологічності.

Таким чином, беручи до уваги наведені раніше результати досліджень, щодо можливості впровадження РДЕ в умовах транспортних підприємств, та наведених результатів розрахунків та досліджень, можна зазначити актуальність запропонованої методики розрахунку рівня електроенергоефективності при впровадженні заходів з метою її підвищення у розрізі концепції Smart Grid.

Кількість чинників, що впливають на процес електропостачання, дуже велика. Зазвичай їх поділяють на такі групи: погодні, тимчасові, економічні, випадкові. Істотний вплив на процес електропостачання мають метеофактори, а саме: температура повітря, природна освітленість, вологість, швидкість і напрям вітру і т.д.

Також, слід зауважити, що зважаючи на особливості вимог до надійності світлосигнальних систем аеродромів та аеропортів, що є складовими транспортної галузі, та специфіки функціонування РДЕ є можливість побудови гібридних енергетичних систем, котрі підвищать надійність функціонування систем електроживлення та зменшать негативний екологічний вплив на довкілля.

Таким чином, авторами запропоновано метод підвищення енергоефективності та надійності електропостачання транспортних підприємств, котрий дозволить виконати якісну ре конфігурацію існуючих енергетичних мереж авіаційних підприємств та виконати якісне проєктування нових сучасних інфраструктурних мереж транспортних галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Відновлювані джерела енергії в розподільних електричних мережах : монографія / П. Д. Лежнюк, О. А. Ковальчук, О. В. Нікіторович, В. В. Кулик. – Вінниця : Вінниця : ВНТУ, 2014. — 204 с

ОСОБЛИВОТІ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТРАНСПОРТУ В КОНТЕКСТІ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ

У низці наукових досліджень розглядається можливість і робляться конкретні пропозиції щодо включення в діючі мережі електропостачання рухомого складу джерел розосередженої генерації у тому числі на базі відновлюваних джерел електричної енергії, зокрема вітрогенераторів, сонячних батарей або їх гібридні комбінації. Такі рішення дозволяють забезпечити надійне електропостачання відповідальних електроприймачів рухомого складу таким чином забезпечивши надійність функціонування залізничного транспорту.

У той же час, активно впроваджуються нові принципи взаємодії різних видів транспорту. Одним із них є взаємодія залізничного та авіаційного транспорту. Авіаційний транспорт на сьогоднішній день представлений пілотованими повітряними суднами та безпілотними літальними апаратами.

Пілотовані повітряні судна різних типів мають можливість взаємодіяти із залізничним транспортом в умовах інфраструктури аеропортів шляхом вдосконалення їх інфраструктури.

У будь-якому контексті взаємодії авіаційного та залізничного транспорту залишається актуальним питання надійності електропостачання об'єктів відповідної інфраструктури. Слід підкреслити, що повітряне патрулювання лише забезпечує моніторинг, оперативне виявлення несанкціонованого втручання на об'єктах залізничної інфраструктури і їх локалізацію. З економічної точки зору патрулювання об'єктів залізничної інфраструктури має важливу характерну особливість. Ще одним не менш важливим прикладом взаємодії залізничного та авіаційного транспорту є перевезення вантажів з використанням БпЛА. Такий підхід до взаємодії, має покращити та пришвидшити доставку вантажу, котрий перевозиться залізничним транспортом.

Слід зауважити, що БпЛА повинні мати можливість підзаряду. У випадку взаємодії із залізничним транспортом, враховуючи його електрифікацію, можливо встановити станції підзарядки БпЛА за рахунок інтеграції до системи енергозабезпечення залізничної інфраструктури.

Між тим в аспекті декарбонізації, на сьогодні визначені основні напрямки інтеграції розосереджених енергоресурсів, організації активної участі споживачів та створення нових інфраструктур, однім з прикладів яких є система Micro Grid, побудована на основі вузлів розосередженої генерації та з використанням синергетичного підходу до розбудови розподільчих мереж підприємств.

Ці проблемні питання вирішуються шляхом впровадження схемних рішень на основі сукупності різноманітних пристроїв перетворювальної техніки, таких як регулятори, стабілізатори, компенсатори та ін. котрі компенсують нестабільність енергопостачання при використанні альтернативних джерел електричної енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

Мироненко В. К. Перспективи використання безпілотних літальних апаратів у ліквідації наслідків залізничних транспортних подій / В. К. Мироненко, П. В. Лапін // Залізничний транспорт України. - 2015. - № 4. - С.43-48.

ВПЛИВ ОБЛЕДЕННЯ НА ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ

Лінії електропередач відіграють ключову роль у сучасному суспільстві. Вони забезпечують передачу електроенергії від виробників до споживачів, підтримуючи життєдіяльність людей, роботу підприємств та установ. Ефективна енергетична мережа є основою для розвитку промисловості, сільського господарства та сфери послуг. Надійне електропостачання сприяє комфортному побуту населення, роботі лікарень, шкіл та інших важливих установ. Електроенергія є основою роботи сучасних технологій, від інтернету до електротранспорту. Лінії електропередач допомагають інтегрувати джерела відновлюваної енергії, такі як сонячна чи вітрова енергія, до загальної мережі.

Ожеледь має унікальний вплив, адже вона комбінує механічне навантаження, електричні ризики та тривалі наслідки. Її ефект значно залежить від кліматичних умов регіону.

Обледеніння на лініях електропередач може мати серйозні наслідки для їхньої роботи та безпеки та може мати наступні наслідки :

1. Механічні пошкодження: Накопичення льоду на проводах і опорах створює додаткове навантаження, що може призвести до їх обриву або падіння опор.

2. Зниження електричної міцності: Лід на ізоляторах зменшує їхню здатність витримувати електричну напругу, що може спричинити короткі замикання.

3. Погіршення якості передачі енергії: Лід змінює форму проводів, що впливає на їхні електротехнічні параметри та може викликати іскріння.

4. Аварії та перебої: Обледеніння може призвести до порушення роботи мережі, що впливає на постачання електроенергії.

Аварії через ожеледицю дуже важкі і важко усуваються. Ліквідація таких аварій утруднена через промерзлий ґрунт, зимове бездоріжжя, і територіальну розкиданість по всій лінії. Як правило, аварії через ожеледицю відбуваються масово і завдають дуже великої шкоди. На території України такі аварії займають приблизно 25% всіх пошкоджень на ПЛ, які тривалість – приблизно 40% від часу відключень через аварію. Кількісні аварії продемонстрували, що оптимально спроектувати ПЛ без застосування різних способів та пристроїв, яке обмежувало б атмосферний вплив на неї, не є можливим. При виникненні великої маси ожеледиці необхідно застосовувати:

- комплексні пристрої, для уповільнення швидкості ожеледиці;
- плавлення ожеледиці.

У боротьбі з ожеледицею є два основних напрямки, один пов'язаний зі збільшенням механічної міцності ПЛ. Але з урахуванням невеликого часу існування великих ожеледних навантажень (0,04-0,5% від цілого терміну експлуатації ПЛ) більш вигідним (з економічного боку) вважається другий напрямок, це плавлення ожеледиці підвищеним електричним струмом. Ефективність плавлення полягає в тому, щоб своєчасно розпочати плавлення

Зважаючи на вищевказане питання ожеледі на лініях електропередач є актуальним та потребує пошуку дієвих та сучасних методів вирішення цієї проблеми .

СПИСОК :ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

<https://es.fea.kpi.ua/files/konference/2023p/2023-Novikov.pdf>

<http://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/17438.pdf>

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВОДОВІДЛИВНИХ КОМПЛЕКСІВ ШАХТ КРИВОРІЗЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО БАСЕЙНУ

Вирішення проблем електроенергоефективності видобутку залізної руди на гірничорудних шахтах України - першочергова задача енергетиків. Це пояснюється статистикою, яка свідчить про те, що приблизно 90 % усіх споживаних енергоресурсів при видобутку залізної руди складає електрична енергія. Питанням підвищення енергоефективності водовідливних комплексів залізрудних шахт займаються і науковці, і спеціалісти підприємств [1-6].

Факівці Криворізького національного університету під керівництвом д-ра техн. наук, професора Сінчука О.М. проводять дослідження, які базуються на теоретичному та практичному підґрунтях, посиляючись на дані діючих гірничорудних шахт АТ «Криворізький залізрудний комбінат» та ПрАТ «АрселрМіттал Кривий Ріг».

Для вирішення цього питання необхідно здійснювати керування процесом роботи насосних установок водовідливних комплексів залізрудних шахт.

На шахтах Криворізького залізрудного басейну використана ступінчаста схема перекачування шахтної води та вивід її на поверхню.

Існують головні водовідливні установки (ГВУ) й допоміжні (дільничні) водовідливи, насосні установки яких призначені для поступового відкачування води з окремих горизонтів. ГВУ відкачують великий (сумарний) об'єм води з шахти, а допоміжні відкачують воду з певних горизонтів шахти у водозбірник ГВУ. Як правило, залізрудна шахта має дві-три основні дренажні установки, які розташовані на двох-трьох горизонтах.

Робота шахтних водовідливних установок відрізняються від умов роботи інших насосних станцій. Це пояснюється значними глибинами залізрудних шахт (більше 1500 м), особливостями гірничо-геологічних родовищ, наявністю змінних у часі припливів шахтних вод.

Режим роботи ГВУ залежить від добового притоку шахтних вод та об'єму шахтних водозбірників. В процесі експлуатації шахтного водовідливу режими роботи насосів постійно змінюються, що пояснюється зносом обладнання (насоси, засувки, приводні двигуни), зміною опора трубопроводної мережі (засмічення, заростання, замулення тощо), наявністю твердих часток та хімічний склад шахтних вод.

Дослідження, проведені з використанням даних шахт АТ «Криворізький залізрудний комбінат» показали, що модернізація водовідливних комплексів дозволить економити щорічно більше 18 млн. грн. (у цінах 2020 р.) [1, 2].

На водовідливних комплексах залізрудних шахт використовуються насоси типу ЦНС 300-120..600 (табл. 1) і більш сучасні типу ЦНСШ 300-140...800.

Керування роботою насосів водовідливних комплексів забезпечує економію електричної енергії шляхом максимального наближення ККД приводних АД насосів до їх паспортно-номінальних значень.

Завод-виробник насосів надає інформацію щодо широкого діапазону продуктивності їх роботи, але реально він значно менший і це спрощує використання ПЧ та необхідність регулювання частот у широких межах. Наприклад, для насоса ЦНС 300-600 діапазон зміни продуктивності знаходиться 220-340 м³/год, а для насоса ЦНС 300-240 - 220-280 м³/год.

Дані досліджень показують, що в процесі експлуатації насосних установок їх характеристики погіршуються за рахунок інтенсивного кавітаційного зношення (60-70 %) та зменшення подачі насосів ЦНС 300 до величин 240 м³/год (20 %) [1-3].

Але насосні агрегати мають доволі таки високий потенціал щодо енергозбереження, який оцінюється до 30-40 % [4].

Потужність приводного двигуна відцентрового насоса розраховують, використовуючи такі співвідношення [5]:

СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ТА МІСТ

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{n_1^3}{n_2^3}; \quad (1)$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad (2)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2}, \quad (3)$$

де N – потужність, кВт;

n – швидкість обертання, об/хв;

Q – продуктивність насоса, м³/год.;

H – напір насоса, м.

У табл. 1 наведені паспортні параметри двигунів різних типів насосів.

Таблиця 1 – Характеристики насосів і двигунів

Технічні параметри	Тип насоса				
	ЦНС 300-600	ЦНС 300-480	ЦНС 300-420	ЦНС 300-240	ЦНС 60-132
Продуктивність, м ³ /год	300	300	300	300	60
Напір, м	600	480	480	240	132
Тип двигуна	A4-450X-4M	A4-400X-4M	A4-400X-4M	AIP355M4	4AM 200L2
Потужність двигуна, кВт	800	630	630	315	45
Частота обертання, об/хв	1475	1475	1475	1490	3000
Номінальна напруга, В	6000	6000	6000	380	380
Коефіцієнт потужності	0,9	0,9	0,9	0,89	0,9

На кафедрі електромеханіки (ЕМ) для дослідження шахтних водовідливів використовується макет системи керування водовідливним комплексом, який був виготовлений старшим викладачем кафедри ЕМ Даниїлем О.К. та складається з насосів, затворного клапана, датчика рівня води, засувки, резервуарів, трубопроводів з кранами [6].

На стенді розроблена та побудована система диспетчерського керування. Керування повністю автоматизоване, виконане на базі сучасної SCSDA системи з програмованим логічним контролером. Це дозволяє проводити повне керування роботою насосної установки. Зауважимо, що стенд та запропонована система керування базується на устаткуванні та елементах вітчизняного виробника.

Провівши аналіз шляхів підвищення енергоефективності водовідливних комплексів можна стверджувати, що всі системи керування шахтними водовідливними повинні базуватись на енергоефективних видах і режимах функціонування їх електромеханічних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Starting positions to improve energy efficiency of main water drainage facilities of iron ore underground mines / Monograph / V. Baranovskyi. Supervised by Doctor of Sciences (Engineering), Professor Sinchuk O. Warsaw : iScience Sp. z o.o., 2023. 135 p. ISBN 978-83-66216-83-9.
2. O. Sinchuk, R. Strzelecki, T. Beridze, I. Peresunko, V. Baranovskyi, D. Kobeliatskiy, V. Zapalskiy. Model studies to identify input parameters of an algorithm controlling electric supply/consumption process by underground iron ore enterprises. *Mining of Mineral Deposits*, Volume 17, no. 3, 2023, pp. 93-101, URL: <https://doi.org/10.33271/mining17.03.093>
3. Барановський В. Д., Коломіїч Г. В., Барановська М. Л., Власенко В. А., Чорний О. П., Артеменко А. М., Батирбек А. Е. Дослідження потенціалу енергозбереження шахтної водовідливної установки засобами регульованого електроприводу. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. Вип. 1/2022 (57). С. 16–24. DOI: 10.30929/2072-2052.2022.1.57.16-24.
4. Толмачов С.Т., Ільченко О.В. Оптимізація режимів роботи насосних установок головного водовідливу шахт за критерієм мінімуму вартості електроенергії. Вісник Криворізького національного університету, Криворізький національний університет вип. 44, 2017. С. 137 – 142. URL: <http://visnykknknu.com.ua/wp-content/uploads/file/44/29.pdf>

СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ТА МІСТ

5. Коренькова Т.В. Автоматизований електропривод насосних та вентиляторних установок у задачах енергоресурсозбереження. Кременчук, 2012. 198 с.

6. Коломії Г.В., Данилейко О.К., Мрачковський Д.В., Ільченко О.В. Моделювання шахтної водовідливної установки. Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток промисловості та суспільства». Криворізький національний університет. Кривий Ріг, 2022. С. 28..

УДК 628.1:620.91:621.311.2

М. ЛОЗА, магістрант

Криворізький національний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ: ПІДХОДИ, ТЕХНОЛОГІЇ ТА РІШЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Насосні станції є невід'ємною складовою сучасної інженерної інфраструктури, яка забезпечує функціонування систем водопостачання, водовідведення та технологічного забезпечення різних галузей промисловості. Їхня робота має суттєвий вплив на енергетичний баланс підприємств і міст, адже ці об'єкти є одними з найбільш енергоємних компонентів інженерних мереж. В умовах постійного зростання цін на електроенергію, актуальність пошуку ефективних способів зниження витрат на енергоресурси зростає.

Одним із ключових шляхів підвищення енергоефективності є впровадження інверторних систем регулювання потужності. Ці системи дають змогу динамічно змінювати параметри роботи насосного обладнання, забезпечуючи оптимальний режим споживання електроенергії відповідно до реального навантаження [1]. Це особливо важливо для об'єктів, що працюють у змінних умовах експлуатації. Завдяки інверторам можна уникати роботи насосів на повній потужності тоді, коли це не є необхідним, що призводить до зменшення технічних втрат, покращення показників надійності та зниження загального зносу обладнання.

Додатковим, але не менш важливим напрямом оптимізації енергопостачання є інтеграція відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) у структуру енергозабезпечення насосних станцій [2]. До таких джерел належать сонячні фотоелектричні панелі, вітрові турбіни та гібридні енергетичні установки. Вони дають змогу зменшити залежність від централізованих енергосистем, підвищити енергетичну автономність об'єктів і забезпечити безперебійне живлення критично важливих систем у разі аварій на зовнішніх електромережах.

Для забезпечення сталої роботи насосних станцій у змінних умовах генерації доцільним є впровадження систем акумулявання енергії. Використання сучасних акумуляторних батарей дозволяє накопичувати надлишкову енергію, вироблену в періоди низького навантаження або пікової генерації з ВДЕ, та використовувати її у моменти зростання енергоспоживання або недостатньої генерації. Це дозволяє згладити пікові навантаження, зменшити навантаження на мережу та забезпечити безперервність роботи насосного обладнання навіть за умов перебоїв у зовнішньому енергопостачанні.

Окрему увагу варто приділити ефекту, який справляють інверторні системи на якість електроенергії в системі. Вони забезпечують стабільний коефіцієнт потужності, зменшують гармонічні спотворення, коливання напруги та перешкоди в мережі. Це дозволяє знизити негативний вплив насосних станцій на інші споживачі в загальній мережі та підвищити рівень електромагнітної сумісності обладнання.

Крім безпосередньої економії електроенергії, оптимізація роботи насосних станцій сприяє зменшенню експлуатаційних витрат загалом. Зменшення навантаження на обладнання подовжує термін його служби, скорочує частоту технічного обслуговування і знижує витрати на ремонт. У довгостроковій перспективі це призводить до значної економії бюджетних коштів як для промислових підприємств, так і для комунальних служб.

З екологічної точки зору, використання енергоефективних технологій та відновлювальних джерел енергії зменшує загальне споживання вичерпного палива, сприяє зниженню викидів парникових газів та покращує загальний стан довкілля. Це особливо актуально в умовах глобальної кліматичної кризи та необхідності виконання міжнародних зобов'язань у сфері зменшення вуглецевого сліду.

Таким чином, комплексна оптимізація енергопостачання насосних станцій із залученням інноваційних технічних рішень, сучасних засобів автоматизації та екологічно чистих джерел енергії є ефективним кроком у напрямку сталого розвитку міської інфраструктури та промислового сектора. У подальшому перспективним напрямом є розробка інтелектуальних систем керування на основі ШІ, які зможуть у режимі реального часу прогнозувати споживання,

СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ТА МІСТ

адаптувати режими роботи до змін зовнішніх умов і забезпечувати максимальну енергоефективність з урахуванням усіх доступних ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. R. L. Zingraff, "Optimizing energy consumption in pump stations," *Journal of Industrial Energy*, vol. 35, pp. 204–212, 2023.
2. V. K. Petrov, "Renewable energy integration into pump station systems," *Energy Efficiency Review*, vol. 12, pp. 56–62, 2022.

УДК 621.31

Д. КАЛЬМУС, ст. викладач, Я. ПАЛІЄНКО, здобувач, Р. ЗАСУНЬКО, здобувач
Криворізький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА

Енергозбереження є пріоритетним напрямком розвитку підприємств житлово-комунального господарства. Переважна більшість втрат приходить на процес споживання електричної енергії. Серед гострих питань залишається проблема використання на технологічних об'єктах потужних електроприймачів, для яких не має можливості виконувати регулювання рівнів споживання електричної енергії. До таких енергоємних об'єктів можна віднести насосні станції теплового та водного постачання, а також водовідведення.

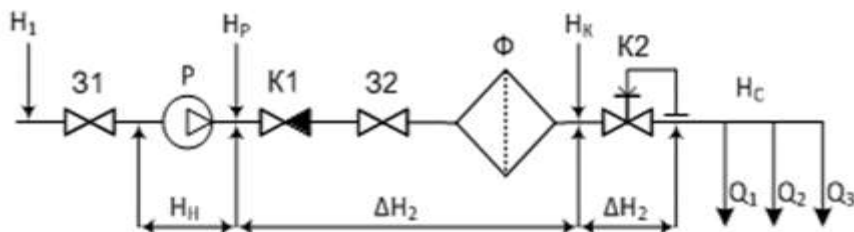


Рис.1 – Технологічна схема з насосним агрегатом: 31,32 – запірні засувки; P – насосний агрегат; Ф – фільтр; K1 – зворотний клапан; K2 – клапан регулювання

Наявність застарілого електромеханічного обладнання у структурах насосних, котельних та каналізаційних станцій ускладнює процес пошуку ефективних рішень щодо експлуатації подібних структур. Тому першочерговим завданням є модернізація підприємств житлово-комунального



господарства.

СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ТА МІСТ

Рис.2 – Схема поєднання активного фільтру з сонячним генератором

Можна зазначити, що середньодобове завантаження насосних агрегатів у структурах підприємств житлово-комунального господарства складає 50-55 %. Споживання електричної енергії об'єктами тепло та водопостачання при зменшенні їх продуктивності не спостерігається. Проте спостерігається істотне зростання тиску у магістральному трубопроводі, що обумовлює виникнення таких негативних проявів як витік, руйнування ущільнень та запірної арматури. Модернізація, за рахунок встановлення систем регульованого електроприводу насосних агрегатів може не тільки забезпечити високі показники енергетичної ефективності об'єктів житлово-комунального господарства, але й забезпечити безаварійність їх роботи та зручність експлуатації.

УДК 621.314

Ю.ШЕРСТНЬОВ, аспірант

Криворізький національний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПРОМИСЛОВИМ ПІДПРИЄМСТВОМ НА ОСНОВІ РАЦІОНАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

У сучасних умовах зниження загального рівня виробництва та споживання електроенергії на великих промислових підприємствах спостерігається зростання обсягів споживання реактивної потужності. Це обумовлено підвищенням навантаженням на живильні трансформатори, асинхронні та двигуни постійного струму, а також зростанням втрат у мережі, спричинених циркуляцією реактивних енергетичних потоків. Дослідження засвідчують, що вартість електроенергії у структурі собівартості продукції таких підприємств може досягати 60%, що підкреслює критичну важливість енергоефективності. Водночас, аналітичні дані свідчать про наявність резервів для підвищення енергетичної ефективності за рахунок впровадження заходів з ефективної компенсації реактивної потужності. [1]. Це питання є актуальним для гірничозбагачувальних комбінатів. Така специфіка пояснюється наявністю постійної складової споживання електроенергії, що зберігається незалежно від рівня завантаженості виробництва або поточного стану функціонування підприємства. Ця складова формується за рахунок роботи електроприймачів, які забезпечують базові технологічні або допоміжні процеси.

За умов зниження виробничої активності порушується баланс між активною та реактивною складовими споживаної електроенергії: споживання активної потужності скорочується, тоді як частка реактивної зростає. Така тенденція зумовлена зменшенням навантаження на силові трансформатори, виведенням із експлуатації частини синхронних приводів, а також відключенням розподільчих підстанцій, обладнаних конденсаторними установками. У результаті знижується ефективність компенсації реактивної потужності, що призводить до погіршення загальної енергоефективності енергоспоживання підприємства.

На основі аналізу даних по споживанню електричної енергії було виявлено, що в середньому за останні роки знизилось споживання ЕЕ – на 28,5% для активної та на 17,44% для реактивної потужності споживачів ГЗП №1. Однак, через зростання тарифів, загальні витрати на оплату реактивної потужності зменшилися лише на 2%, що підкреслює необхідність раціоналізації процесу компенсації для підвищення економічної ефективності енергоспоживання.

Традиційні методи оцінки енергоспоживання не завжди враховують динамічні зміни в структурі навантаження, зокрема сезонні, технологічні або оперативні фактори [1]. Неefективне управління активною та реактивною потужністю може призводити до небажаних наслідків, таких як перевантаження мереж, підвищені втрати в системах електропередачі та зниження якості електроенергії, що безпосередньо впливає на стабільність роботи електроустаткування. Так, для добових та місячних графіків споживання реактивної потужності за на ГЗП№1 підприємства ПівніГЗК було встановлено, що цей процес має стохастичний характер у зв'язку з непередбаченістю його масиву значень.

Аналіз споживання реактивної потужності на основі вибіркової оцінки автокореляції дозволяє виявити характерні частоти та амплітуди. Це важливо для планування ефективних стратегій управління споживанням реактивної потужністю та забезпечення стабільності електричної мережі. Результати використаного підходу до аналізу реальних показників енерговитрат може бути використаний для машинного навчання системи предиктивного керування компенсаційних пристроїв з метою оптимізації перетікання реактивної потужності підприємства.

Впровадження отриманих результатів дозволять підвищити енергетичну ефективність за рахунок зниження плати підприємства за реактивну потужність у раніше запропонованих

СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ТА МІСТ

способах [2], а саме, завдяки реалізації процесу енергоефективного керування з паралельним використанням конденсаторних установок (КУ) та синхронних двигунів (СД) за допомогою отриманих даних споживання реактивної потужності споживачами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. E. Segovia, V. Vukovic, T. Bragatto, Comparison of Baseline Load Forecasting Methodologies for Active and Reactive Power Demand, *Energies* 2021, 14(22):7533. DOI:10.3390/en14227533.
2. Ю. Шерстньов, «Енергоефективне регулювання перетікання реактивної потужності підприємств гірничозбагачувального комбінату», на *Всеукр. наук.-практ. конф. Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві*, Кропивницький, 2024, с. 93-95.

УДК 621.31(075.8)

Т. М. БЕРІДЗЕ, докт. екон. наук, професор, М. Є. МИХЕЄНКОВ, студент

Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НА ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ З УРАХУВАННЯМ ВИКИДІВ

Ефективність електроспоживання з усією гостротою стала на гірничорудних підприємствах, оскільки в сучасних умовах видобуток корисних копалин багато в чому визначається значним електроспоживанням. Тому коливання електроспоживання, що не враховуються на таких підприємствах, природно розглядати як викиди, що призводять до додаткових економічних втрат, тобто до зниження ефективності електроспоживання. Враховуючи, що електроспоживання гірничорудним підприємством вище за заданий рівень можна розглядати як випадкові викиди, природно скористатися рішенням задачі про викиди. Заслугує уваги таке визначення «ефективності діяльності підприємства – це один з найважливіших чинників, який відображає ступінь використання ресурсних затрат, спроможність досягати поставлених цілей та здатність до стійкої життєдіяльності у конкурентному ринковому середовищі».

Викид у статистиці, визначається як результат вимірювання, який виділяється із загальної вибірки. Статистичний метод, здатний діяти в умовах викидів, називається робастним. Медіана є робастною характеристикою, а середнє - ні. Існує приклад (квартет Енскомба), що демонструє, наскільки неробастні методи обробки статистичних даних здатні «брехати», навіть якщо присутній один викид на 10 «звичайних» результатів.

Поняття ефективності в останній час приділяється значна увага. Науковці підкреслюють, що в літературі мало інформації щодо визначення ефективності в різних сферах діяльності, основну увагу приділено питанням оцінювання економічної ефективності окремих факторів виробництва та міститься мало інформації про саме поняття ефективності. Тобто, «...ефективність — це співвідношення результату (ефекту) з витратами, що викликали цей ефект». Наприклад, в енергетиці ефективність вимірюється коефіцієнтом корисної дії, що показує, яка віддача однієї умовної одиниці палива. Відповідно, чим більше втрат під час передачі енергії, її переходу з одного виду енергії в інший, тим менший коефіцієнт корисної дії. Питання, пов'язані із ефективністю електроспоживання гірничорудними підприємствами на часі привертає увагу науковців. Науковці-практики стверджують, що сьогодні обмежуватися лише контролем за рівнем споживання електроенергії недостатньо – необхідно керувати цим процесом. Акцентується увага на необхідності врахування випадковості при відповідних розрахунках по забезпеченню ефективності споживання електроенергії.

Аналізуючи огляд останніх досліджень і публікацій можна зробити висновок, що при усій їх широті і глибині не приділяється достатньо уваги випадкам відхилення електроспоживання від режимів, які задаються з додаткових міркувань. Особливо це

СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ТА МІСТ

стосується необхідності обліку випадковості у ефективності електроспоживання на гірничорудних підприємствах.

Усе це дозволяє стверджувати, що у сучасних умовах необхідна більш ретельна оцінка ефективності електроспоживання залізорудних підприємств.

Статистичний аналіз електроспоживання гірничорудних підприємств показав наявність викидів в електроспоживанні, які мають випадковий характер. Застосування методів теорії ймовірностей, зокрема застосування статистичної методики при вивішені задач щодо викидів, дозволило розкрити сутність викидів при споживанні електроенергії. Розроблений підхід до аналізу споживання електроенергії при врахуванні випадкового характеру дії потужності споживання електроенергії дозволив визначити шляхи до підвищення ефективності споживання електроенергії.

Напрями подальших досліджень мають бути спрямовані на застосування методики теорії викидів в реальних умовах щодо електропостачання гірничорудних підприємств. Вважаємо за доцільне показники енергоефективності обраховувати одночасно з показниками економічної ефективності управлінських рішень. Порівняння оціночних показників дозволить визначити відповідне раціональне рішення.

ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ З РОЗПОДІЛЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

УДК 621.311

М. ТЕРЕЩУК, здобувач

Криворізький національний університет

ДВОЕТАПНЕ ОПТИМАЛЬНЕ ПЛАНУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ

Невизначеність розподіленої генерації енергії та ризик відмови компонентів системи є важливими засобами для підвищення економічності та надійності активних розподільчих мереж (ADN). У даному науковому дослідженні запропоновано двоетапний метод оптимального планування для ADN з урахуванням ризику невизначеності. Враховуючи ризик невизначеності відновлюваних ресурсів, навантаження та ціни на електроенергію, а також ризик невизначеності відмови компонентів системи, досліджено двоетапний процес оптимальної диспетчеризації активної розподільчої мережі з системою накопичення енергії.

Цільова функція моделі, включаючи вартість експлуатації МТ, вартість транзакцій ЕЕ з основною електромережею, вартість навантаження від переривання та індекс ризику, оцінений CVaR, як показано в рівнянні:

$$\min F_1 = (1 - \beta) \cdot (\sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M (c_1 P_{MTtm}^2 + c_2 P_{MTtm}^2 + c_3) + \sum_s^S \gamma_s (\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^B (C_{sti}^{shed} + C_{sti}^{ex}))) + \beta.$$

У цій формулі β – являє собою коефіцієнт уникнення ризику. Період відправки представлений T . t – означає диспетчеризацію. МТ – сума запланованих. c_1, c_2, c_3 – коефіцієнти витарт генерації. P_{MTtm}^2 – вихідна потужність [1].

У випадку мінімального ризику як загальне виробництво ЕЕ МТ, так і зарядка та розрядка ESS позитивно корелюють з ціною ЕЕ. Це означає, що чим вища ціна ЕЕ, тим більше ЕЕ виробляється МТ та ESS, і чим нижча ціна ЕЕ, тим менше ЕЕ виробляється МТ та ESS (рис. 1). При цьому ESS буде заряджати і зберігати енергію. Причина в тому, що ціна на ЕЕ занадто висока, вартість закупівлі ЕЕ з основної електромережі зростає. У той же час, щоб задовольнити попит на навантаження, чим більше ЕЕ буде вироблено МТ і ESS, тим більше переваг вони отримають, якщо ціна на ЕЕ надто низька, витрати на виробництво ЕЕ МТ та ESS вищі, ніж вигоди, які вони отримують. Таким чином, МТ і ESS зменшать вироблення ЕЕ, а ESS буде заряджати та зберігати енергію. Тим часом, щоб задовольнити попит на навантаження, більш дешева ЕЕ купується з основної мережі [1].

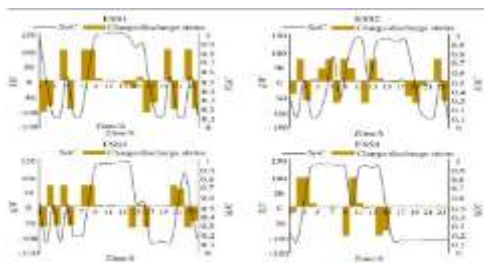


Рис.1 – Результати відправки ESS

Враховуючи ризик невизначеності системи ADN і ESS з гнучким виходом, встановлено двоетапну оптимальну модель диспетчеризації. Результати моделювання підтвердили, що двоетапна оптимальна модель диспетчеризації з урахуванням ризику невизначеності може ефективно збалансувати економічність і надійність схеми диспетчеризації. Між тим, впровадження ESS у систему ADN є корисним для реалізації системного самовідновлення

ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ З РОЗПОДІЛЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

ризику та покращення антиризикової здатності ADN. Створення більш практичної дослідницької моделі оптимізації розподільчої мережі, крім того, проведення ефективного та можливого методу рішення для моделі є майбутніми робочими планами, пов'язаними з цим дослідженням [2].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

3. Zhang, Guoqing, Zhang, Qiqi, 2019. Multiportfolio optimization with CVaR risk measure. J. Data Inform. Manag. 1 (3), 91-106.
4. Li, Zhe, Wang, Chengfu, Liang, Jun, Zhao, Penghui, Zhang, Zhe, 2018a. Expansion planning method of integrated energy system considering uncertainty of wind power. Power Syst. Technol. 42, 3477-3487.

УДК 621.314

Д. ГОСТЄВ, здобувач

Криворізький національний університет

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ SMART GRID В УКРАЇНІ У ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОД

На сьогоднішній частині Smart Grid в українській енергосистемі залишається дуже низькою – вона становить менше 10 % від загальної інфраструктури, тоді як централізована модель продовжує домінувати з понад 90 % покриття. Хоча централізована модель працювала ефективно протягом багатьох років, наразі вона є застарілою, на відміну від системи Smart Grid, яка демонструє вищу ефективність, кращу стійкість і ширші можливості моніторингу, що дозволяє оптимізувати енергоструктуру.

Однією з головних проблем впровадження Smart Grid є великі початкові витрати, які, втім, можуть дати фінансову вигоду вже за кілька років. Ще однією складністю є необхідність масштабної модернізації, що повинна реалізовуватись на державному рівні. До цього додається відсутність єдиних стандартів, повільний темп реформ на ринку енергетики, а також зростання кіберзагроз, адже перехід на нову технологічну модель робить систему потенційною мішенню для хакерських атак.

Попри це, впровадження Smart Grid дасть змогу суттєво знизити споживання електроенергії, підвищити стабільність роботи мережі, спростити підключення відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних і вітрових електростанцій. Для великих підприємств це означатиме швидше відновлення після аварій та економію енергоресурсів на рівні 15-30 %. Лікарні зможуть гарантувати безперебійне живлення і мати захист від блекаутів. У сфері транспорту знизиться кількість затримок, спричинених енергетичними збоями. І це лише частина того, що здатна дати ця система.

Важливість впровадження саме зараз обумовлена реаліями війни, яка продемонструвала вразливість централізованої системи. Зростання цін на енергоносії зробило економію критично необхідною, а значна частина енергетичної інфраструктури зруйнована. Саме тому наразі відкривається можливість не просто відновити пошкоджену систему, а замінити її на кращу – модернізовану, ефективну, стійку. І хоч це потребуватиме більше часу та ресурсів, у перспективі це вирішить низку проблем і наблизить Україну до сучасного енергетичного рівня.

Першими кандидатами для впровадження Smart Grid мають стати постраждалі регіони, зокрема Миколаївська та Харківська області, які можуть стати пілотними майданчиками для відновлення за новими принципами. У великих містах, таких як Київ, Львів, Одеса, через високу концентрацію споживачів і генерації ця система дозволить ефективно балансувати навантаження. У сільських громадах Smart Grid можна реалізувати у вигляді мікромереж із використанням сонячних електростанцій, що забезпечить стабільне постачання енергії в регіонах із обмеженим доступом до централізованих мереж.

Хоча, під час воєнного стану масштабне впровадження нових систем не є першочерговим завданням, вже зараз потрібно проводити підготовчі роботи. Варто заохочувати приватні підприємства до участі у проєктах, а також впроваджувати енергетичні інновації при будівництві нових будинків. У теперішніх умовах основною перешкодою залишається фінансова – оновлення вимагає великих інвестицій, тоді як централізована модель поки що є дешевшою, простішою у відновленні та більш звичною для фахівців. Зважаючи на це, впровадження Smart Grid потребуватиме значного часу, планування і реформ, які мають бути розраховані на тривалу перспективу.

ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ З РОЗПОДІЛЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Отже, раціональним буде часткове впровадження нової системи з акцентом на підвищення моніторингу – для кращого розуміння стану мережі та енергоспоживання. Це можна реалізувати через встановлення розумних лічильників для підприємств, модернізацію мереж із впровадженням автоматизованих підстанцій та систем SCADA, а також систем керування навантаженням, таких як Demand Response. Важливо також визначити відповідальну структуру на державному рівні, яка буде координувати й контролювати весь процес впровадження Smart Grid в Україні.

Важливим аспектом є й освітній та інформаційний компонент. Для ефективного впровадження Smart Grid необхідно підвищувати обізнаність населення, навчати фахівців новим технологіям, а також формувати культуру раціонального енергоспоживання. Роль відіграють як університети та технічні заклади, так і державні кампанії, спрямовані на популяризацію енергоефективних рішень. Без активної участі суспільства навіть найінноваційніші технології можуть бути сприйняті з недовірою або впроваджені лише формально, тому паралельно з технічним оновленням має відбуватись і ментальна трансформація у підході до споживання та управління енергією.

УДК 621.311

Д.О.ОБЕРЕМОК, аспірант

Державний біотехнологічний університет

ПРОБЛЕМИ ІНТЕГРАЦІЇ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНІ МЕРЕЖІ

В Україні за 2022-2024 роки велика частина електрогенеруючого обладнання була пошкоджена або повністю зруйнована. На відновлення цих генеруючих потужностей витрачаються великі кошти, також для збереження електричних мереж потрібні додаткові видатки на створення захисних споруд. Це все призводить до зростання вартості електроенергії. Відновлювана енергетика вже давно перестала бути альтернативою — вона стає новим стандартом. Розвиток відновлюваної енергетики, зокрема сонячної генерації, є пріоритетним напрямком сучасної енергетичної політики багатьох країн.[1] Стрімке зростання кількості сонячних електростанцій (СЕС) в Україні та пошкодження маневрових джерел генерації електроенергії (ГЕС, ГАЕС) через бойові дії призводить до нових викликів у сфері управління енергосистемами. Одним із таких викликів є необхідність обмеження генерації електроенергії з відновлюваних джерел електроенергії (ВДЕ).

Основні причини введення обмежень генерації:

- Дисбаланс між генерацією і споживанням відбувається бо найвища активність сонячної генерації припадає на денний час, тоді як максимальне споживання — на вечірній період.
- Регулювання напруги та частоти ускладнюється через високу частку СЕС у загальному балансі, особливо за відсутності гнучкого резерву та швидкодіючих систем автоматичного управління.

Обмеження генерації СЕС негативно впливають на економічну доцільність проєктів та знижують рентабельність інвестицій. Такі дії викликають зростання ризиків для інвесторів, зменшення прибутків та гальмування розвитку ВДЕ. Висока вартість систем накопичення енергії залишається стримувальним фактором їх масового впровадження.[2]

Моделювання розвитку генеруючих потужностей та аналіз сценаріїв розвитку попиту та пропозиції електричної енергії повинні, зокрема, урахувувати:

- вплив заходів з енергоефективності та потенціал управління попитом, розвиток технологій збереження енергії;
- вплив складнопрогнозованих технологій виробництва електричної енергії (БЕС та СЕС) та необхідність забезпечення достатності резервних потужностей для компенсації коливань виробітку електричної енергії такими технологіями. [2, с.32]

Можливі шляхи розв'язання проблеми:

- Розвиток систем накопичення енергії: акумуляторні станції можуть зберігати надлишкову енергію вдень і віддавати її в мережу ввечері, коли попит зростає.
- Інтелектуальні системи управління (Smart Grid): цифровізація енергосистем дозволяє в реальному часі управляти потоками енергії, зменшуючи необхідність жорстких обмежень.

ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ З РОЗПОДІЛЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

- Модернізація мереж: розширення та оновлення інфраструктури (трансформаторів, кабелів, систем АСКУЕ) підвищує її стійкість до динамічних змін навантаження та генерації.
- Впровадження гнучких ринкових механізмів - компенсацій за обмеження генерації або підвищених тарифів для виробників, які готові обмежувати генерацію.

Введення обмежень генерації СЕС є тимчасовим та вимушеним заходом, продиктованим технічними та економічними реаліями. Утім, системний підхід до модернізації енергосистеми, впровадження новітніх технологій управління та розвиток систем накопичення енергії дозволить мінімізувати обмеження в майбутньому. Створення стимулів для гнучкого управління генерацією сприятиме сталому розвитку сонячної енергетики в Україні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Держенергоефективності України. Статистика впровадження ВДЕ. — [Онлайн]. Доступ: <https://saee.gov.ua/>
2. Кодекс системи передачі. — [Онлайн]. Доступ: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0309874-18#Text>

НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

УДК 621.311

О.С. РОГ, студент гр. Т-614, С.М. Бойко, канд. техн. наук, доц. кафедри транспорту технологій Національний університет «Запорізька політехніка»

ПЕРСПЕКТИВИ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ АЕРОДРОМНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Авіаційна галузь є індикатором рівня розвитку транспортної, а відповідно і логістичної інфраструктури будь-якої країни. Важливою складовою безпечної експлуатації авіаційного транспорту є забезпечення надійного енергозабезпечення аеродромної та аеропортової інфраструктури.

Системи енергозабезпечення аеродромів відіграють критичну роль у забезпеченні безпеки, надійності та безперервності функціонування авіаційної техніки. Вдосконалення цих систем повинне виконуватися із врахуванням не лише технічних, але й екологічних, економічних та безпекових аспектів.

З поміж іншого слід зазначити, що впровадження систем управління енергоспоживанням забезпечує моніторинг і прогнозування споживання енергії в режимі реального часу, автоматичне регулювання розподілу енергії між об'єктами, інтеграцію із зовнішніми системами, взаємодію з енергомережами та енергосистемами інших інфраструктур.

Тому, з метою забезпечення безпеки експлуатації авіаційної техніки варто вдосконалювати системи резервного енергозабезпечення, до яких можна віднести автономні енергетичні установки, накопичувачі енергії, дублюючі та резервні лінії систем енергозабезпечення.

Зважаючи на те, що об'єкти аеродромної інфраструктури мають бути постійно та безперервно забезпеченими електричною енергією, актуальним є питання впровадження сучасних гібридних систем енергоживлення та сучасних адаптивних систем керування ними.

Між тим, слід приділити увагу і екологічній складовій розглянутого питання. В цьому контексті варто розглянути можливість впровадження відновлювальних джерел електричної енергії в системи енергозабезпечення аеропортів та аеродромної інфраструктури.

З огляду на підвищену роль цифрових технологій в управлінні енергосистемами, важливо: запобігання несанкціонованому доступу та кіберзагрозам, створення незалежних каналів для обміну критично важливими даними, перевірка безпеки програмного забезпечення та обладнання.

Тож, вдосконалення систем енергозабезпечення об'єктів аеродромної та аеропортової інфраструктури сприяє підвищенню надійності та безпеки функціонування аеропортів. Інтеграція сучасних технологій, зокрема відновлюваних джерел енергії, MicroGrid, а також цифрових систем управління, дозволяє не лише підвищити ефективність, але й відповідати сучасним екологічним стандартам.

СПИСОК :ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Виклики майбутнього для промислового розвитку України : наукова доповідь / за ред. д-ра екон. наук Л.В. Дейнеко; НАН України, ДУ «Ін-т екон. та прогноз. НАН України». Електрон. дані. К., 2022. 184 с. Режим доступу: <http://ief.org.ua/wp-content/uploads/2022/06/Vykydlyky-majbutnjogo-dlja-promyslovogo-rozvytky.pdf>

УДК 004.8:621.311

О.В. ДОВГАНІЧ студент гр. ЕЕМ-24ск, І.В. КАСАТКІНА, канд. техн. наук, доцент
Криворізький національний університет

ПЕРСПЕКТИВИ МАЛОЇ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Атомна енергетика – це єдине джерело енергії з низькими викидами вуглецю, яке забезпечує постійну генерацію незалежно від погодних умов. У багатьох країнах **атомна енергетика вже віднесена до «зеленої»**. За оцінкою ІПСС, вироблення 1 квт-год на АЕС супроводжується викидом в атмосферу **12 грам CO₂**, тоді як для вугільних і газових електростанцій цей показник становить **820 г і 490 г на кВт-год відповідно**.

Новою концепцією розвитку ядерної енергетики є малі модульні реактори (ММР) або за міжнародною термінологією SMR (Small Modular Reactors), що покликані вирішити низку проблем, пов'язаних із великими АЕС. За класифікацією МАГАТЕ до таких належать станції **потужністю до 300 МВт**.

Переваги ММР:

- Гнучкість та масштабованість: Модульна конструкція дозволяє адаптувати потужність станції до потреб регіону.
- Підвищена безпека: Завдяки меншій потужності та інноваційним технологіям, ММР мають покращені характеристики безпеки.
- Екологічність: Відсутність викидів парникових газів сприяє зменшенню впливу на зміну клімату.

Найближчими роками свої проекти ММР реалізовуватимуть:

1. Американська компанія NuScale, яка 2022 року завершила сертифікацію реактора власної розробки і збирається звести шість ММР загальною потужністю 300 МВт на майданчику Національної лабораторії в Айдахо.
2. Британська компанія Rolls-Royce, яка створила дочірню компанію для розробки та будівництва АЕС малої потужності.
3. У Китаї розпочнуть будівництво наземної АЕС малої потужності з реактором на 125 МВт та інших проєктів.

Найважливішим поштовхом у розвитку малої атомної енергетики може стати прагнення найбільших технологічних компаній Google, Microsoft і Amazon забезпечити свої енергоємні дата-центри для систем штучного інтелекту електроенергією за допомогою ММР.

Перспективи для України: В Україні розвиток технологій ММР розглядається як важливий елемент повного відновлення та модернізації енергетичної інфраструктури. Впровадження ММР сприятиме енергетичній безпеці та декарбонізації економіки.

Малі модульні реактори мають значний потенціал для забезпечення стабільного, безпечного та екологічно чистого енергопостачання. Їх впровадження може стати ключовим фактором у розвитку енергетичного сектору України та світу.

СПИСОК :ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. <https://gmcenter.ua/posts/mala-atomna-enerhetyka-shcho-tse-i-naskilky-vona-rozvyynena-u-sviti/>
2. <https://visnyk-nanu.org.ua/ojs/index.php/v/article/view/2798/2812?com>
3. https://ru.m.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%BB%D1%8B%D0%B9_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%82.com
4. <https://gmcenter.ua/posts/mala-atomna-enerhetyka-shcho-tse-i-naskilky-vona-rozvyynena-u-sviti/?com>

УДК 621.3

А. ШАФІГУЛЛІН, студент гр.ЕПА-24м, І.В. КАСАТКІНА, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИКИ ЗІ ЗАСТОСУВАННЯМ НАНОТЕХНОЛОГІЙ

Енергетика є сукупністю галузей, виробництв і елементів інфраструктури, що забезпечують потреби економіки та населення в енергоресурсах. Ця сфера є однією з найважливіших для функціонування і розвитку сучасного суспільства, оскільки з ростом технологій та урбанізації зростають і потреби в енергетичних ресурсах.

Розвиток енергетики буде пов'язаний з нанотехнологіями та новими наноматеріалами.

Перспективні напрямки розвитку енергетики з застосуванням нанотехнологій охоплюють значні інновації як у традиційних, так і в нетрадиційних сферах енергетики.

На етапі **перетворення, передачі та розподілу енергії**, нанотехнології сприяють створенню нових матеріалів (наноструктурні дрони та струмозйомники, надпровідники, наноструктурні феромагнітні матеріали зі зменшеними втратами, досконаліші наноструктурні діелектрики).

Водночас, застосування нанотехнологій для підвищення ефективності **традиційних технологічних процесів**, а також розробка нових енергозберігаючих технологій, включаючи світлодіодне освітлення, а також розробка більш ефективних і стійких компонентів розумних мереж електропостачання (сучасні технології, що дозволяють управляти розподілом і споживанням електроенергії з максимальною ефективністю), сприятимуть зниженню енергоспоживання та збереженню ресурсів.

У **альтернативній енергетиці** нанотехнології відкривають нові можливості в процесі **збереження енергії** через вдосконалення електрохімічних акумуляторів, водневих акумуляторів і електричних конденсаторів (суперконденсатор – в основі пристрою накопичення енергії лежить новий, потужний і стійкий гібридний графеновий матеріал, характеристики якого можна порівняти з батареями, що використовуються в даний час), а також сприяють розвитку нових **методів передачі енергії**, зокрема через використання мікрохвильового випромінювання і лазерних пучків, що дозволяє зменшити втрати при передачі на великі відстані.

У процесі **генерації енергії** нанотехнології відіграють важливу роль у розвитку **сонячної енергетики** (напівпровідникові сонячні батареї, полімерні сонячні батареї, перовскітні фотоелементи, тонкоплівкові – це новий тип сонячних батарей, які мають низку переваг у порівнянні з традиційними кремнієвими аналогами, вони дешевші у виробництві, гнучкіші і можуть бути виготовлені в різних формах, дзеркала для геліостанцій).

Вітрова енергетика також може виграти від впровадження наноматеріалів (у разі з вітряними турбінами нанотехнологічні покриття на лопатях допомагають знизити зношування та захистити турбіни при несприятливих погодних умовах, наприклад, при скупченні льоду, наноармовані композиційні матеріали роблять лопаті легше і міцніше, збільшуючи довговічність вітряних турбін), що збільшує їхню ефективність.

У **водневій енергетиці** нанотехнології сприяють розвитку нових паливних елементів та каталізаторів (каталізатор, виготовлений із сплаву платини з кобальтом, досить реактивний і при цьому довговічний), що дозволяє підвищити ефективність і знизити витрати на виробництво водню як джерела енергії.

Ці перспективи демонструють великий потенціал нанотехнологій у майбутньому розвитку енергетичних систем, сприяючи значному підвищенню ефективності та екологічності енергетичних процесів.

СПИСОК :ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нанотехнологии в электроэнергетике, пособие / сост. Добродей А.О. Гомель ГГТУ: им П.О. Сухого, 2021, - 95с. [Електронний ресурс]/Режим доступу <https://elib.gstu.by>.

Т.К. Кваша, Л. В. Рожкова, ДНУ «Український інститут науково-технічної експертизи та інформації», Перспективні напрями інноваційного розвитку енергетики в світі та Україні [Електронний ресурс]/Режим доступу: https://ev.nmu.org.ua/docs/2018/3/EV20183_021-031.pdf

УДК 625

А.Ю. ОМЕЛЬЧЕНКО студент групи ЕПА-24м, Ю.Г. ОСАДЧУК канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

РЕГУЛЮВАННЯ ПОЛОЖЕННЯ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛІНІЙНОГО РЕГУЛЯТОРА

Використання електродвигунів у виробництві чи звичайному побуті – звичайна справа. Особливо вплив таких тенденцій спостерігається при збільшеному використанні різних машин, кранів, механізмів з транспортування тощо. Тому система електропривода повинна чітко, швидко та точно визначити своє положення та кінцевий варіант свого завдання.

Застосування лінійного регулятора положення (РП) уже є досить популярним рішенням. Попри свій невисокий коефіцієнт корисної дії, він все ще має просту конструкцію та високу точність управління, що дозволяє відпрацювати траєкторію руху оптимально [1].

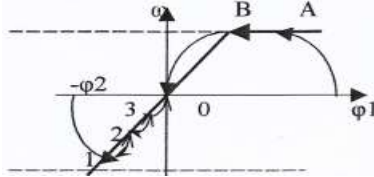


Рис.1 – Відпрацювання великого і малого переміщення лінійним РП

Параболічний регулятор положення оптимально по швидкодії може відпрацювати і великі і малі переміщення. В разі використання лінійного регулятора потрібно для оптимального опрацювання ввести деякі корекції. Так, оптимальна фазова траєкторія – парабола В0 повинна проходити через точку злomu характеристики лінійного регулятора (див. рис.1). При цьому відпрацювання великого переміщення ϕ_1 буде оптимальним. При розробці малих ($-\phi_2$) переміщень маємо скануючий спосіб переміщення – з однієї оптимальної параболі на іншу і так далі до полюсу східності 0 (траєкторія наступна $\phi_2-1-2-3-0$).

Визначення параметрів оптимального параболічного регулятора здійснюється спільним рішенням рівняння параболі і прямої в точках перетину 0 і В (рис.1). Для пропорційного регулятора [2]:

$$K = \tan \varphi,$$

де φ – кут оптимальної нахилу характеристики лінійного регулятора.

Передавальна функція параболічного регулятора буде мати вигляд:

$$W_{\text{РП}}(p) = \frac{K_{\text{дш}}}{2T_{\text{мн}}K_{\text{дп}}} \sqrt{\Delta\varphi K_{\text{дп}}} \cdot \text{sign} \Delta\varphi,$$

де $K_{\text{дш}}$ – коефіцієнт датчика швидкості; $K_{\text{дп}}$ – коефіцієнт датчика положення; $\Delta\varphi$ – переміщення; $T_{\text{мн}}$ – некомпенсована постійна часу контуру положення.

Окремим випадком застосування лінійного регулятора є використання асиметричного регулятора. Тобто, нахили характеристик φ_1 та φ_2 різні відповідно в першому та третьому квадрантах (див. рис. 2 а). В цьому випадку система має незначне перерегулювання з більш швидким рухом до полюсу східності (див. рис.2 б).

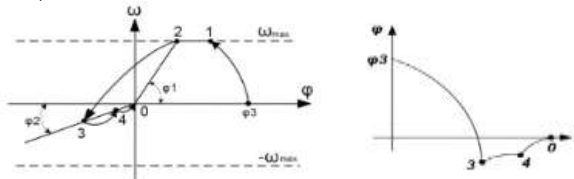


Рис.2 а і б – Відпрацювання переміщення асиметричним регулятором

Такі асиметричні лінійні регулятори положення знайшли широке застосування в системах автоматичного управління (САУ) приводами пасажирських та промислових ліфтів та підйомних установок, де допускається незначне технологічне перерегулювання по положенню. [2]

Тобто, лінійний регулятор дозволяє ефективно регулювати положення об'єкта та його рух відповідно до заданої траєкторії. На даний момент, лінійний тип регулятора положення також знаходить своє місце в робототехніці, авіабудівництві та автомобільній промисловості тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Libretext.ukrayinska «Лінійні регулятори»
URL: <https://ukrayinska.libretexts.org/Інженерна/Електротехніка/Електроніка>.
2. Системи керування електроприводами: підручник / Ю.Г. Осадчук, І.І. Пересушко, Г.І. Ткаченко та ін. – Варшава: iScience Sp. z o. – 2024. – 162 с.

УДК 621.314

О. ДОЗОРЕНКО, доктор філософії, старший викладач, С. РАШКОВСЬКИЙ, здобувач
Криворізький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ ПРИ ЗБІЛЬШЕННІ ПОТУЖНОСТЕЙ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Відповідно до світового досвіду, при інтеграції до енергосистеми значних потужностей вітроенергетичних (ВЕС) та сонячних електростанцій (СЕС) можуть виникнути певні проблеми з забезпеченням надійного балансу між виробництвом та споживанням електроенергії (ЕЕ), пов'язані з нестабільністю поточної потужності генерації цими станціями. Згідно з досвідом країн з високим рівнем відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), певну частку виробленої відновлюваної ЕЕ об'єднана енергосистема (ОЕС) може поглинати практично без будь-яких складнощів, але при перевищенні цієї величини виникають труднощі як мережевого, так і режимного характеру. Здебільшого порогова величина оцінюється як 10 % від загального споживання ЕЕ.

Згідно дослідження IEA «Getting Wind and Sun onto the Grid» розглядаються різні стадії впровадження ВДЕ:

1) $E_{ВДЕ} < 3-5 \%$ (kWh). Інтеграція мінливих ВДЕ не робить помітного впливу на мережу. Нестабільна генерація ВЕС і СЕС – в межах щоденних «природних» змін попиту на електроенергію.

2) $E_{ВДЕ} = 3-15 \%$ (kWh). ВДЕ вже починають серйозно впливати на систему, але цей вплив регулюється відносно просто удосконаленням методів управління ОЕС, наприклад прогнозуванням виробітку ВЕС та СЕС.

3) $E_{ВДЕ} = 15-25 \%$ (kWh). Суттєві виклики для ОЕС. Вплив відчувається як на рівні системи в цілому, так і на роботі традиційних електростанцій. На перше місце виходить гнучкість енергосистеми – її здатність реагувати на мінливість балансу попиту і пропозиції. Два головних ресурси цієї стадії: керовані (маневрені) електростанції і управління попитом, а також нові технології накопичення ЕЕ.

4) $E_{ВДЕ} = 25-50 \%$ (kWh) річного виробітку, з підвищеннями до 100% добового споживання. Виклики носять «високотехнологічний» характер. Потрібна ще більша гнучкість системи, здатність до самовідновлення після різких і об'ємних коливань генерації.

На початок 2018 р. енергосистема України здатна була прийняти лише 3 тис. МВт потужності СЕС та ВЕС без ризику розбалансування. За розрахунками «Укренерго» при встановленій потужності ВДЕ більше 7,5 тис МВт (що вже досягнуто), ОЕС може розвиватися за трьома сценаріями, і в будь-якому випадку необхідні додаткові заходи для балансування системи:

«А» – не вводяться додаткові високоманеврові потужності (за наявного рівня прогнозування) і вимушено обмежується виробництво електроенергії з ВДЕ.

«В» – обмежується частка атомних електростанцій та, відповідно, збільшується частка вугільної генерації для забезпечення необхідних маневрових потужностей і при цьому не обмежується розвиток «зеленої» генерації.

«С» – забезпечується розвиток та збільшується обсяг «зеленої» генерації при впровадженні системи точного прогнозування та будівництві 2,5 тис. МВт нових високоманеврових балансуєчих потужностей.

«Укренерго» пропонує третій, найоптимальніший з точки зору збалансованості інтересів споживача і розвитку ВДЕ, варіант. Першою складовою плану «С» розвитку «зеленої» генерації є введення 2,5 тис. МВт нових високоманеврових балансуєчих потужностей. Це дозволить уникнути збільшення генерації ЕЕ на ТЕС і обмеження генерації з ВДЕ та АЕС, а також стримати зростання тарифів на ЕЕ для споживачів усіх категорій.

Найоптимальнішим є будівництво газопоршневих електростанцій з 10-хвилинним періодом виходу блоків на повну потужність, а також акумуляторів, що дозволяють швидко регулювати відхилення всередині однієї години. Також першочерговим заходом реалізації плану «С» є

НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМИ ТА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

впровадження системи точного прогнозування з відхиленням: на ринку на добу наперед – 5-10 %, внутрішньодобове планування – 3-5 %. Відсутність такої системи коштуватиме споживачеві не малих грошей, адже збільшиться потреба у маневрових потужностях для балансування системи, а зараз для цього використовується вугільна генерація ТЕС, яка є найдорожчою і найбільш екологічно брудною.

Отже, для збалансування енергосистеми необхідне розроблення і впровадження нової високоточної системи прогнозування. Це має стосуватися вітрової та сонячної енергетики і передбачати прогнозування на поточну та наступну добу відповідно до правил роботи енергоринку. Так, коли враховується 4-годинний прогноз щодо роботи ВЕС, то збільшення потреб у короткостроковому резерві досягає 9-10 % від встановленої потужності ВЕС.

УДК 621.33

Д. КАЛЬМУС, ст. викладач, С. ГОРБЕНКО, здобувач, Р. ЛЕВЧЕНКО, здобувач, А. КАПІНУС, здобувач

Криворізький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ВЕЛИКОВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

Ефективність використання великовантажних автомобілів при транспортуванні залізорудної сировини визначається супутники витратами на обслуговування та експлуатацію. Аналіз ефективності використання транспорту при підйомі корисних копалин з глибини кар'єру ведеться за об'ємом використаного палива. Важливим показником при цьому є співвідношення між об'ємом транспортування сировини та витратами палива.

Складові тягового електроприводу великовантажного автомобіля можна бачити на рис. 1.



Рис.1 – Складові тягового електроприводу великовантажного автомобіля

Для підвищення ефективності роботи тягового електроприводу великовантажного автомобіля важливим є забезпечення найвищих показників експлуатації, що можна досягнути шляхом зменшення енергетичних витрат. Рациональним бачиться процес удосконалення режимів роботи електромеханічного обладнання.

Розглянемо специфіку роботи великовантажного кар'єрного транспорту на прикладі одного рейсу. Так при спуску на глибину кар'єру автомобіль має практично весь час пригальмовувати, при цьому значення частоти обертання дизель-генераторної установки не досягає номінального значення, а завантаженість тягового двигуна при цьому складає приблизно третину від номінального значення. У такому режимі спостерігається підвищене споживання палива, що спричиняє зростання енергетичних витрат на спуск у кар'єр.

Розглянемо сили, що діють при спуску великовантажного автомобіля.

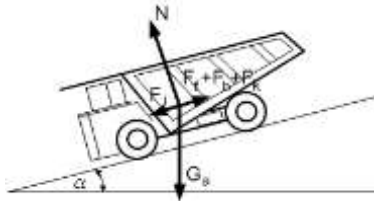


Рис.2 – Сили, що діють при спуску великовантажного автомобіля: $F_k = F_i + F_f + F_b$ - результуюча сила; F_i - сила опору підйому; F_f - сила опору коченню; F_b - сила опору повітря; α - кут між опорною та горизонтальною поверхнями; G_a - сила тяжіння

Вирішити питання оптимізації енергетичних витрат можна шляхом переведення тягових електричних двигунів на період спуску у режим динамічного гальмування. Такий підхід дозволить контролювати завантаженість електричних машин у залежності від профілю ділянки шляху.

Отже, можна зазначити, що введення у процес роботи тягового електромеханічного комплексу великовантажного автомобіля режиму динамічного гальмування, дозволяє підвищити енергетичну ефективність роботи кар'єрних самоскидів, та зменшити використання палива на проведення робіт з транспортування залізрудної сировини.

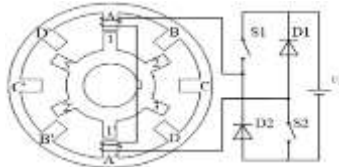
УДК 621.31

Д. КАЛЬМУС, ст. викладач, Я. ПАЛІЄНКО, здобувач, М. ДУБРАВСЬКИЙ, здобувач
Криворізький національний університет

НОВІ ПІДХОДИ ЩОДО АКТУАЛЬНОСТІ ПИТАННЯ БЕЗДАТЧИКОВОГО КЕРУВАННЯ ВЕНТИЛЬНО-РЕАКТИВНИМ ДВИГУНОМ

Вентильно-реактивні двигуни набули в останні роки доволі суттєвого поширення серед промислових електроприводів. Вони мають цілий ряд переваг, на самперед, у наслідок того, що вентильно-реактивні двигуни відрізняються простотою конструкції та надійністю їх роботи. Також до гідностей даного типу електричних машин можна віднести високий ступінь надійності. Важливим для забезпечення працездатності подібних систем є точність визначення положення ротору електричної машини. Останнє ускладнюється особливостями конструкції вентильно-реактивних двигунів, та створює додаткові вимоги до систем керування ними.

Зазвичай, керування вентильно-реактивним двигуном здійснюється від напівпровідникового перетворювача. Для повного визначення орієнтації вектору магнітного потоку, у системі мають застосовуватись датчики положення ротора електричної машини. У якості датчиків положення



можуть бути використані як енкодери, так і датчики Холла, або оптичні системи.

Рис.1 – Схема вентильно-реактивного двигуна

Важливою особливістю розбудови систем керування вентильно-реактивними двигунами є усунення датчиків положення ротора електричної машини, та перехід на бездатчикове керування подібними системами.

Рівняння у колі обмотки вентильно-реактивного двигуна має наступний вигляд:

$$U_s = i_k R_s + \frac{d\psi_k(\theta, i_k)}{dt},$$

де: U_s – напруга у колі постійного струму, i_k – струм у обмотці, R_s – опір обмотки, ψ_k – потокозчеплення, θ – кут положення ротора, k – номер обмотки.

Розглянемо найбільш поширені методи розбудови систем бездатчикового керування вентильно-реактивними двигунами. Переважна більшість методів заснована на визначенні потокозчеплення або значень індуктивних опорів у структурі вентильно-реактивної машини. Це пов'язано з наявністю функціональної залежності значення індуктивності обмоток від кута положення ротора. При цьому положення буде визначатись за допомогою серії сигналів, які мають бути подано до неактивної обмотки. Слід зазначити, що такий метод є дивним тільки при обмежені значення частоти обертання ротору електричної машини. Існують методи, що базуються на визначенні миттєвих значень струму та напруги у обмотках електричних машин, але вони є доволі чутливими до виникнення перешкод та завад. Доволі ефективними методами є використання структур, що містять спостерігач. Це може бути спостерігач струму, потокозчеплень, або комбінована система. Такі системи є доволі ефективними при постійному значенні частоти обертання ротору електричної машини, але мають незадовільні показники у динамічних режимах. Отже, усі перелічені методики розбудови ефективних систем керування вентильно-реактивними двигунами

мають суттєві недоліки, тому перспективним є поєднання розглянутих методів з розробкою комбінованого підходу до розбудови структури системи керування. До таких нових підходів можна віднести поєднання безпосереднього розрахунку значення потокозчеплення з використанням миттєвих сигналів та спостерігача з моделюванням наступного руху електромагнітної системи, що включає активні прискорення та блок фазового підлаштування для оцінки положення ротора електричної машини. Такий спосіб дозволяє ефективно відтворювати керування як при загальмованому роторі, так й у динамічних режимах роботи.

УДК 621.314

О. ГАРКУША, здобувач

Криворізький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЕНЕРГЕТИЦІ

Сучасні технологічні зміни суттєво впливають на стратегічні пріоритети розвитку енергетики. Виникають нові виклики щодо принципів функціонування енергетичних систем. Серед основних проблем – ускладнення процесів автоматизації технологічних операцій, необхідність забезпечення ефективного управління режимами постачання.

Зростаюча частка децентралізованих джерел енергії ускладнює балансування попиту і пропозиції, створюють нові типи навантаження на енергосистему, що потребує оперативної реакції та адаптивності енергетичних мереж.

Для автоматизації технологічних процесів, ефективним рішенням є розвиток розумних мереж (SmartGrids), штучний інтелект (ШІ) (Artificial intelligence) дозволяє ефективно керувати режимами навіть під час генерації потужності від відновлювальних джерел енергії, постачання та споживання енергії дозволить збалансувати енергетичні системи.

ШІ є відносно новою технологією широкого застосування. Тому застосування цієї технології досі не стандартизовано, понад те, досі немає чіткого визначення терміну «штучного інтелекту», триває вивчення застосування в різних сферах та розуміння цієї прогресивної технології.

Одне із найбільш системних визначень ШІ запропоноване в аналізі застосування ШІ, проведеному ОБСС: «Система штучного інтелекту є системою, яка може для певного набору визначених людиною цілей робити прогнози, рекомендації або рішення, що впливають на реальне чи віртуальне середовище».

Застосування ШІ в енергетиці несе за собою велику кількість корисних аспектів, завдяки його застосуванню в управлінні мережею можливо ефективно вирішити проблему із автоматизації процесів постачання енергії, навіть при складних умовах.

Окрім вирішення проблем із постачання енергії, можливо виявити різні шахрайські схеми, які зумовлюють значні втрати для енергетичної та комунальної сфери (до 100 мільярдів доларів щороку в усьому світі).

При застосуванні ШІ вирізняється велика кількість варіантів використання, де одною із важливих аспектів в енергетиці є реалізація через автономні системи:

Автономні системи – це фізичні та віртуальні програмно-апаратні системи, які здатні виконувати завдання, взаємодіяти з оточенням і досягати мети з різним ступенем участі людини:

1) Відсутність автономності – автономність, яка відома як «людська підтримка» (human support): система не може діяти відповідно до своїх власних рекомендацій

2) Автономність низького рівня – автономність, яка відома як «людина-в-петлі прийняття рішень» (human-in-the-loop): система оцінює входні дані та діє відповідно до своїх рекомендацій або результатів, якщо людина погоджується.

3) Автономність середнього рівня – автономність, яка відома як «людина-на-петлі» (human-on-the-loop): система оцінює входні дані та діє відповідно до своїх рекомендацій чи результатів, якщо людина не накладає вето.

4) Автономність високого рівня – автономність, яка відома як «людина-поза-петлею» (humanout-of-the-loop): система оцінює входні дані та діє відповідно до своїх рекомендацій чи результатів без участі людини.

Одну із проблем інтегрування ШІ показало опитування понад 500 відповідальних керівників енергетичних компаній, проведене компанією Siemens у 2019 році, воно вказує на досить обмежене використання ШІ за окремими напрямками. Найчастіше ШІ застосовується за такими напрямками: більш розумна автоматизація машин та обладнання (обрали 30 % респондентів): прогнозування обслуговування активів (28 %) та оптимізація процесів, машин, програмного забезпечення чи інструментів (28 %).

Водночас, основним бар'єром для подальшого впровадження ШІ в енергетиці є опір змінам/консерватизм працівників (обрали 85 % респондентів дослідження).

Подальший розвиток нових технологій та бізнесмоделей залежить від державної політики запровадження ШП та відповідної законодавчої та регуляторної бази, яка буде спрямована на техніко-економічне та соціальне врегулювання.

Отже, подальший розвиток передбачає впровадження ШП, що супроводжується низкою викликів – як технічних, так і соціологічних, вирішенням цих аспектів для держави має велике значення.

УДК 621.314.5:621.311

В.Д. САМУСЕНКО магістрант, О.Ю. МИХАЙЛЕНКО, канд. техн. наук, доц.

Криворізький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ПОТУЖНОСТІ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИСТРОЇВ STATCOM

Однією з основних задач роботи енергосистеми є забезпечення споживачів електроенергією, якості якої відповідає прийнятим стандартам. Широке застосування напівпровідникових комутуючих пристроїв, котрі мають нелінійну вольт-амперну характеристику, та обладнання виконаного на їх основі – DC/DC перетворювачів, випрямлячів, інверторів, призводить до появи в формі кривих напруги і струму гармонійних складових відмінних від основної гармоніки. У результаті відбувається втрата синусоїдальності, що негативно впливає на режими роботи інших споживачів у електричній мережі.

Для виключення гармонік застосовують активні та пасивні фільтри різних конфігурацій. Проте наявність нелінійних електричних навантажень призводить не лише до втрати синусоїдальності, а й викликає виникнення фазного зсуву між напругою та струмом і, як наслідок, зниження коефіцієнту потужності. Тобто фільтри вищих гармонік необхідно доповнювати додатковими пристроями компенсації реактивної потужності.

Аналіз результатів досліджень представлених у [1-3] демонструють, що ефективним фільтро-компенсуючим пристроєм є статичний синхронний компенсатор (STATCOM). Він складається з трифазного мостового напівпровідникового перетворювача, виконаного переважно на IGBT-транзисторах, та групи конденсаторів об'єднаних в ланку постійного струму. Шляхом комутації транзисторних ключів відбувається підключення конденсаторів до трифазної мережі змінного струму. Аналогічно до активних фільтрів ефективність компенсації впливу нелінійних електричних навантажень залежить від методу керування статичним синхронним компенсатором. Представлене дослідження присвячене розробці та аналізу якості роботи системи керування STATCOM, що є актуальним завданням.

У системі MATLAB/Simulink/Simscape Electrical на імітаційній моделі було проведено серію обчислювальних експериментів при застосуванні підпорядкованої систем керування струмом статичного синхронного компенсатора для зниження впливу нелінійних електричних навантажень. Дана система керування включає внутрішній контур регулювання струму та зовнішній контур регулювання напруги в колі постійного струму з конденсатором [1]. Для регулювання струму і напруги використані ПІ-регулятори, які містять внутрішні зворотні зв'язки для усунення впливу насичення на показники якості роботи. Визначені раціональні налаштування регуляторів внутрішнього і зовнішнього контурів на модульний і симетричний оптимуми, відповідно, що дають прийнятну якість перехідних процесів.

Проведений порівняльний аналіз енергосистеми, що включає пристрій STATCOM, та базового варіанту без фільтро-компенсуючого обладнання. Коефіцієнт нелінійних спотворень для системи без статичного синхронного компенсатора становив 26,9 %, для системи з STATCOM непрямым керуванням – 3,07 %. Коефіцієнт потужності в системі з фільтро-компенсуючим пристроєм близький до одиниці.

Дослідження показало, що для підвищення показників якості електроенергії в електричній мережі з нелінійними електричними навантаженнями доцільно застосувати статичний синхронний компенсатор з підпорядкованою системою керування струмом.

СПИСОК :ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Tripathi S.M., Barnawal P.J. Design and Control of a STATCOM for Non-Linear Load Compensation: A Simple Approach. Electrical, Control and Communication Engineering. 2018. Vol. 14, No. 2. pp. 172–184.
2. Barnawal P.J., Tripathi S.M. Non-linear load compensation using STATCOM. 2016 International Conference on Emerging Trends in Electrical Electronics & Sustainable Energy Systems (ICETEESES), Sultanpur. 2016. pp. 147–151.
3. Ravindra M., Kumar D.G. Design Of VSI Based STATCOM For Eliminating Harmonic Currents Due To Non Linear Load And To Compensate The Reactive Power In A Grid Connected System. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA). 2012. Vol. 2, Issue 6. pp.436–443.

УДК 621.3.077

Д. КАЛЬМУС, ст. викладач, М. ДУБРАВСЬКИЙ, здобувач, О. КОГАН, здобувач, Б. ЛЕЛЕКА, здобувач

Криворізький національний університет

СИСТЕМА БЕЗДАТЧИКОВОГО КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

Асинхронний електропривод, завдяки простоті виконання та надійності його роботи, доволі широко використовується в усіх галузях промисловості. Для регулювання його параметрів при роботі використовуються методи скалярного та векторного керування.

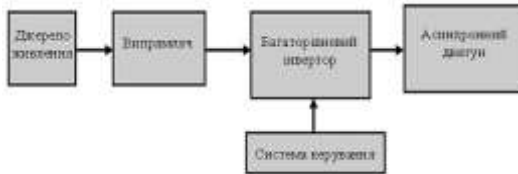


Рис.1 – Асинхронний частотно-регульований електропривод

Для ефективного використання подібних систем необхідним є наявність інформації про частоту обертання ротора електричної машини та амплітудного значення та положення вектору потокозчеплень. Датчики Холла, що використовуються для визначення положення ротора асинхронного двигуна, призводять до зниження надійності функціонування подібних систем. Тому перспективним є використання бездатчикових систем векторного керування. Особливу увагу при розбудові систем бездатчикового керування слід приділити забезпеченню керованості при низькій частоті обертання, оскільки це може призвести до невизначеності при розрахунках опорів.

До традиційних методів керування слід віднести адаптивні системи, що використовують шаблонні набори векторів. Також до класичних методів можна віднести використання замкнених систем підлеглого регулювання.



Рис.2 – Система керування асинхронним частотно-регульованим електроприводом

Перспективним можна вважати метод, що базується на удосконаленні алгоритмів розрахунку миттєвих значень параметрів статорної та роторної обмоток з врахуванням нелінійностей та прогнозних значень.

Розглянемо модель асинхронного частотно-регульованого електроприводу з урахуванням його нелінійності:

$$\frac{dx(t)}{dt} = f(x(t), u(t)) + w_{11}(t) = A(x(t))x(t) + Bu(t) + w_{11}(t);$$

$$y(t) = h(x(t)) + w_{22}(t) = Hx(t) + w_{22}(t),$$

де x – вектор стану (швидкість, момент, опір), f – нелінійна функція стану, A – матриця системи, u – вектор входних значень, B – входна матриця, h – вихідна функція, H – матриця вимірювань, w_{11} – завади, w_{22} – вимірювальні завади.

Запропонований підхід дозволяє покращити системи бездатчикового керування асинхронних частотно-регульованих електроприводів. Збільшення ефективного діапазону регулювання частоти обертання ротора асинхронного двигуна при значних змінах моменту навантаження розширює сферу застосування подібних систем. Також слід зазначити відсутність невизначеності при розрахунках опорів обмоток у всім діапазоні зміни частоти обертання.

УДК 621.33

Д. КАЛЬМУС, ст. викладач, Р. ЛЕВЧЕНКО, здобувач, Б. МАЗУН, здобувач
Криворізький національний університет**СТРАТЕГІЯ ЕФЕКТИВНОГО КЕРУВАННЯ ТЯГОВОЮ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЮ СИСТЕМОЮ РЕЙКОВОГО ТРАНСПОРТУ**

Тягові електромеханічні системи на рейковому транспорті мають ряд особливостей. Більшість з них мають у своєму складі дві чи більше електричні машини. Керування ними, зазвичай, здійснюється від тягових перетворювачів. Доволі часто використовують паралельне живлення декількох тягових електричних двигунів від одного перетворювача. Але таке конструкторське рішення ускладнює розрахунки, особливо при різко-змінному характері навантаження, та наявності його нерівномірного розподілу.

Не останнім з чинників, які впливають рівномірність розподілу, є зміна коефіцієнту зчеплення при зміні стану рейок. Залежність коефіцієнту зчеплення від швидкості ковзання є нелінійною, та має ділянку нестійкої роботи.

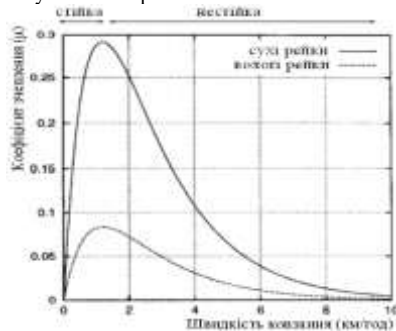


Рис.1 – Зміна коефіцієнту зчеплення

Доволі ефективними методами керування електромеханічними системами при живленні декількох електричних двигунів від одного перетворювача є методи векторного керування. Традиційні системи, що покладаються на принцип еквівалентної електричної машини, або на методи диференційного визначення середнього значення моменту навантаження, не можуть забезпечити стійкість електромеханічної системи при наявності двох або більше електричних машин. Тому для тягових електромеханічних систем з двома та більше приводними вісями перспективними є методи зваженого векторного керування, що забезпечують відсутність ковзання коліс рейкового транспорту. Для усунення розбіжності у керуванні пропонується розділяти подібні структури на ведучі та підлеглі. При цьому двигун, що більше завантажений стає ведучим, а менше завантажений підлеглим. Для покращення характеристик електромеханічної системи у динамічних режимах при значному відхиленні у завантаженні електричних машин використовують спеціальні алгоритми, що засновані на стохастичних методах оптимізації.

Зважені коефіцієнти векторів потокозчеплення, струму та частоти обертання знаходяться за рівняннями:

$$\begin{cases} \psi_r = k_m \psi_{r1} + (1 - k_m) \psi_{r2}; \\ \Delta \psi_r = \psi_{r2} - \psi_{r1}; \\ i_s = k_m i_{s1} + (1 - k_m) i_{s2}; \\ \Delta i_s = i_{s2} - i_{s1}; \\ \omega_r = k_m \omega_{r1} + (1 - k_m) \omega_{r2}; \\ \Delta \omega_r = \omega_{r2} - \omega_{r1}, \end{cases}$$

де: ψ_r – потокозчеплення ротора; $\Delta \psi_r$ – різниця потокозчеплення; i_s – струм статора; Δi_s – різниця струму; ω_r – кутова швидкість; $\Delta \omega_r$ – різниця кутової швидкості.

Таким чином, оптимізація системи векторного керування тяговою електромеханічною системою дозволить здійснити рівномірний розподіл завантаженості електричних машин та усунути вірогідність виникнення режиму ковзання.

УДК 621.33

Д. КАЛЬМУС, ст. викладач, М. ДУБРАВСЬКИЙ, здобувач, О. КОГАН, здобувач, Б. ЛЕЛЕКА, здобувач

Криворізький національний університет

ЯКІСНИЙ РЕМОНТ ЯК ПЕРШИЙ КРОК ДО НАДІЙНОЇ РОБОТИ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ В УМОВАХ ГІРНИЧО-РУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Контроль та перевірку параметрів електричних машин зручно виконувати при виведенні їх у середній або капітальний ремонт. Особливо важливим є процес ідентифікації параметрів електричних машин. Для цього у після ремонтному циклі експлуатації застосовують спеціальні діагностичні комплекси.

Розглянемо інтенсивність відмови тягових електричних двигунів, та складемо потік відмов у відповідності до дистанції настання відмови.

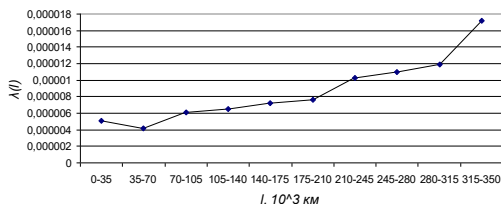


Рис.1 – Інтенсивність відмови тягових електричних двигунів

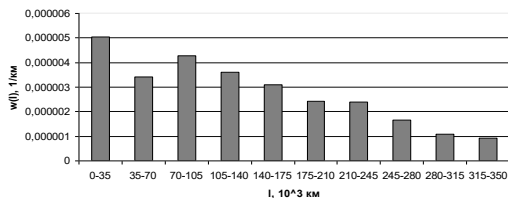


Рис.2 – Потік відмови тягових електричних двигунів

Для роботи діагностичних комплексів, на сам перед важливим є визначення опорів обмоток електричних машин. Важливим для цього є діапазон зміни частоти обертання, напруги та струму. Врахувавши такі фактори, як небаланс ротора, прогин валу, ушкодження у підшипникових вузлах, відповідність опорів обмоток та рівномірність розподілу магнітного потоку, представимо імовірність безвідмовної роботи тягових електричних двигунів у після ремонтному циклі експлуатації.

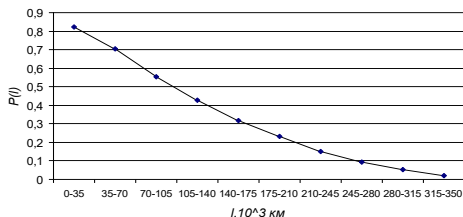


Рис.3 – Імовірність безвідмовної роботи тягових електричних двигунів

Отже, завдяки визначенню факторів, що впливають на якість проведення ремонтних робіт, та впровадженню у структуру ремонтного виробництва діагностичних комплексів, можна не тільки підвищити надійність роботи електричних машин, але й забезпечити відповідність їх характеристик умовам експлуатації на гірничо-рудних підприємствах.

ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ БЕЗЩІТКОВИМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ В УМОВАХ НИЗЬКОШВИДКІСНОЇ РОБОТИ

На промисловий електропривод припадає близько 30-40% світового споживання електроенергії, і, відповідно до глобальних тенденцій електрифікації, в найближчому майбутньому очікується значне зростання попиту на електромеханічні системи [1].

Однак електродвигуни використовуються не лише в промисловості, але й у побутовій техніці, транспорті, опаленні, вентиляції та кондиціонуванні повітря. Це також суттєво збільшує світове споживання електроенергії і, відповідно, потребу в більш ефективному її використанні. На сьогоднішній день існує багато способів підвищення енергоефективності.

Один із способів, який зараз широко використовується для промислового застосування, - це узгодження потужності двигуна з максимальною потужністю, необхідною для виконання завдання. Тут на допомогу приходять безщіткові електродвигуни постійного струму (BLDC) і синхронні двигуни з постійними магнітами (PMSM) завдяки їх вищому ККД (порівняно із асинхронними двигунами та електродвигунами постійного струму), кращим характеристикам крутного моменту (порівняно з АД) та кращому співвідношенню розмірів до потужності. Технічний прогрес останніх років у галузі матеріалів та напівпровідників дозволив замінити менш ефективні електродвигуни постійного струму та асинхронні електродвигуни у певних промислових (вентиляційні і насосні установки) та побутових застосуваннях. Однак основною проблемою подальшого впровадження двигунів BLDC і PMSM є відносна складність керування та необхідність забезпечення зворотного зв'язку за положенням ротора, що пов'язано з конструкцією цих типів двигунів.

З одного боку, датчик положення ротора (ДПР) легко ввести в систему та забезпечити необхідних зворотній зв'язок. А з іншого, введення такого датчика створює додаткові точки відмови, збільшує вартість установки і обмежує сферу можливого використання електроприводів на основі BLDC або PMSM. Це питання ретельно досліджувалося з кінця 1970-х років [2] і результатом стало винайдення бездатчикових алгоритмів керування двигунами безщітковими двигунами.

Однак, попри тривалі дослідження в галузі, скалярні та векторні алгоритми бездатчикового керування безщітковими двигунами не працюють достатньо ефективно на низьких швидкостях. Ситуація значно погіршується, при запуску двигуна із навантаженням. У цьому випадку традиційні процедури розімкненого пуску (як-то запуск в режимі крокового двигуна) різко збільшують енергоспоживання, незважаючи на, в цілому, високу ефективність системи при роботі в усталеному режимі на вищих швидкостях.

Певних успіхів у дослідженні цього напрямку досягли незалежні дослідники (з використанням Sliding Mode Control) [3], та комерційні виробники мікроелектроніки: STMicroelectronics (ZeST – алгоритм «повного моменту» за нульової швидкості) та Microchip Corporation (ZS/MT – алгоритм «максимального моменту» за нульової швидкості). Однак наразі більшість комерційних застосувань цієї технології є запатентованими і не доступні для широкого загалу для подальшого аналізу. Отже, важливість дослідження цього питання полягає не лише в можливих економічних ефектах, але й у стимулюванні ширшої наукової дискусії з цієї теми.

Метою роботи є дослідження шляхів підвищення ефективності векторного керування безщіткових двигунів не тільки в усталених режимах роботи, але й під час пуску (в т.ч. під навантаженням). Такий підхід може дозволити знизити енергоспоживання від 15% до 40% (для застосування з циклічним режимом роботи).[4] На основі огляду літератури було обрано метод високочастотної інжекції напруги (HFI) для оптимізації ефективності низькошвидкісної роботи [5], а також підвищення чутливості спостерігача для покращення ефективності під час високошвидкісної роботи. Зменшення енергоспоживання, в цьому випадку, буде досягатись шляхом зниження пускового струму двигуна без втрати значної частини пускового моменту, на відміну від традиційних методів плавного пуску. Подальші вдосконалення можуть включати:

- спеціальний дизайн сигнального процесора (DSP) на основі ПЛІС, який дозволить проводити паралельні обчислення та зменшить затримку системи порівняно із традиційними мікроконтролерами та мікропроцесорами;

- вибір найкращої стратегії комутації інвертора та підбір оптимального діапазону частот, що спрямовано на зменшення втрат при комутації.

Підсумовуючи, дослідження у сфері електроприводу є важливими в той час, коли попит на електроенергію зростає непропорційно до генеруючих потужностей. Багато електродвигунів, що використовуються сьогодні, є застарілими, мають недостатню ефективну конструкцію, і часто є надто потужними відносно виконуваних ними операцій, що призводить до ще більших втрат енергії. Значного підвищення ефективності електроприводів можна досягти шляхом використання більш новітніх типів двигунів. Подальше ж підвищення ефективності вимагатиме не тільки застосування більш складних алгоритмів керування (наприклад, FOC) та їх вдосконалення для надійної бездатчикової роботи в умовах високодинамічного навантаження, а й використання вдосконалених алгоритмів комутації, які адаптуються до обраних застосувань, мінімізуючи втрати при комутації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. International Energy Agency. World Energy Outlook 2018; IEA: Zurich, Switzerland, 2018. (https://iea.blob.core.windows.net/assets/77ecf96c-5f4b-4d0d-9d93-d81b938217cb/World_Energy_Outlook_2018.pdf)
2. A. B. Plunkett and F. G. Turnbull, "Load-Commutated Inverter/Synchronous Motor Drive Without a Shaft Position Sensor," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. IA-15, no. 1, pp. 63-71, Jan. 1979, doi: 10.1109/TIA.1979.4503613.
3. V. Repecho, J. B. Waqar, D. Biel and A. Dòria-Cerezo, "Zero Speed Sensorless Scheme for Permanent Magnet Synchronous Machine Under Decoupled Sliding-Mode Control," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 69, no. 2, pp. 1288-1297, Feb. 2022, doi: 10.1109/TIE.2021.3062260.
4. Sensorless motor control & digital power with STM32. URL: <https://www.st.com/content/dam/static-page/events/apec-2024/demo-apec-24-sensorless-motor-control-digital-pwr.pdf> (дата звернення: 10.04.2025)
5. Sun, Lihui. (2021). Low speed sensorless control method of brushless DC motor based on pulse high frequency voltage injection. Alexandria Engineering Journal. 61. 10.1016/j.aej.2021.12.005.

УДК 621.314.5

М. ОМЕЛЬЧУК, аспірант

Криворізький національний університет

АЛГОРИТМИ КЕРУВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ ЧАСТОТИ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ ГІРНИЧИХ УСТАНОВОК

Гірничодобувна промисловість є одним із найбільших споживачів електричної енергії, тому питання оптимізації енергоспоживання є надзвичайно важливим для зниження виробничих витрат. Електроприводи традиційно є основними споживачами електроенергії і широко використовуються в різноманітних системах, включаючи конвеєри, дробарки, насоси, вентилятори та ін. З різних причин в електроприводах гірничих установок, основу яких найчастіше складають асинхронні двигуни, виникають втрати енергії. Як відомо, одним із основних джерел є втрати в обмотках статора та ротора. Іншим важливим джерелом є втрати в «сталі» двигуна, або магнітні втрати, які включають втрати на гістерезис та вихрові струми в магнітопроводі. Механічні втрати, пов'язані з тертям у підшипниках та опором повітря при обертанні ротора (вентиляційні втрати) хоч і незначні і можуть бути проігноровані, але також збільшують загальні втрати енергії. Крім того, існують додаткові втрати, які важко піддаються точному обліку, такі як втрати від вищих гармонік струму. Ефективність двигунів, в тому числі наведених асинхронних, істотно залежить від рівня їхнього навантаження, і при часткових навантаженнях спостерігається значне зниження ефективності.

Ключові особливості функціонування електроприводів і проблеми, що виникають у процесі їхньої експлуатації, такі як згадані енергетичні втрати та зниження ККД двигунів, створюють підґрунтя для широкого впровадження сучасних систем керування на основі напівпровідникових пристроїв, таких як перетворювачі частоти (ПЧ), що надають можливість плавного регулювання швидкості та моменту двигунів і дозволяють точно адаптувати роботу обладнання до технологічних вимог. Це, в свою чергу, призводить до значного зниження споживання енергії за рахунок узгодження швидкості двигуна з фактичним навантаженням. Плавний пуск та зупинка, що забезпечуються ПЧ, також сприяють зменшенню механічного зносу обладнання та подовженню терміну його служби. Крім того, використання ПЧ покращує загальний технологічний контроль над процесами та надає можливість реалізації електричного гальмування [1,2]. Весь описаний функціонал ПЧ є прямим відображенням роботи алгоритмів керування перетворювачів частоти. Існує кілька основних алгоритмів керування перетворювачами частоти, кожен з яких має свої особливості та вплив на енергоефективність електроприводів. Перелік алгоритмів наведений на рис.1.



Рис. 1 – Основні алгоритми керування перетворювачів частоти

Скалярне керування (V/f) є одним із найпростіших методів, що полягає у підтримці постійного співвідношення між напругою та частотою живлення двигуна ($V/f = \text{const}$). Це забезпечує підтримку сталого магнітного потоку в двигуні. Перевагами скалярного керування є простота його реалізації, низька вартість та придатність для широкого спектру застосувань, де висока точність керування швидкістю не є критичною. Крім того, цей метод дозволяє одночасно керувати кількома двигунами. Однак, з точки зору енергоефективності, скалярне керування не завжди забезпечує оптимальний коефіцієнт корисної дії, особливо при роботі на низьких швидкостях та при змінних навантаженнях. Воно також характеризується обмеженням пусковим моментом та недостатньою регуляцією швидкості при змінному навантаженні. Оптимально скалярне керування може застосовуватися для конвеєрів, вентиляторів та насосів, де не потрібна висока динаміка та точність керування [2].

На відміну від скалярного, векторне керування (Field-Oriented Control, FOC) забезпечує роздільне керування магнітним потоком та моментом двигуна шляхом управління вектором струму статора в обертовій системі координат. Це дозволяє досягти характеристик, подібних до двигунів постійного струму, з високою точністю керування швидкістю та моментом, особливо на низьких швидкостях та при високих навантаженнях. Векторне керування також надає можливість оптимізації магнітного потоку для мінімізації втрат енергії, що робить його більш енергоефективним порівняно зі скалярним керуванням. Цей метод відрізняється кращою динамікою та вищим пусковим моментом. Алгоритми векторного керування можуть адаптивно регулювати величину магнітного потоку залежно від поточного навантаження, що дозволяє мінімізувати втрати та підвищити загальну ефективність. Оптимально векторне керування ефективно використовується для механізмів установок з високими вимогами до точності позиціонування та динаміки руху [1,4].

Пряме керування моментом (Direct Torque Control, DTC) є ще одним методом, що полягає у безпосередньому керуванні магнітним потоком статора та електромагнітним моментом двигуна шляхом вибору оптимальних векторів напруги інвертора. Однією з ключових особливостей DTC є швидка реакція на зміни заданого моменту та потоку. Цей метод не потребує складних координатних перетворень та використання ПІ-регуляторів струму. Пряме керування моментом забезпечує високу енергоефективність завдяки мінімізації комутаційних втрат та кращим динамічним характеристикам, особливо при перехідних процесах. Пряме керування моментом

знаходить застосування там, де потрібні високі динамічні показники та точне керування моментом, наприклад, у підйомних механізмах та великих конвеєрних системах [3].

Для подальшого підвищення енергоефективності електроприводів гірничого транспорту застосовуються оптимізовані алгоритми керування, такі як: адаптивне керування, що передбачає автоматичну зміну параметрів контролера в режимі реального часу для підтримки оптимальної роботи при зміні умов експлуатації; нечітке керування (Fuzzy Logic Control), що використовує принципи нечіткої логіки для керування частотою та напругою перетворювача з метою мінімізації втрат енергії; та нейронні мережі (Neural Network Control), що представляють собою потужний інструмент для оптимізації керування електроприводами та прогнозування енергоспоживання завдяки навчанню на основі даних про роботу електроприводу, спрямований на виявлення оптимальних стратегій керування. Застосування даних алгоритмів керування, відкриває нові можливості для значного підвищення енергоефективності електроприводів гірничих електроустановок [5].

Впровадження алгоритмів керування перетворювачами частоти для зменшення споживання енергії в гірничодобувній промисловості має як економічні, так і технічні аспекти, які необхідно враховувати. З точки зору економічної ефективності, необхідно проводити аналіз витрат на впровадження, який включає вартість самих ПЧ, витрати на їхнє встановлення, налаштування та інтеграцію в існуючі системи. З технічної точки зору, для забезпечення надійної та ефективної роботи необхідно використовувати електродвигуни, розраховані на роботу з ПЧ, а також застосовувати засоби захисту від перенапруг та електромагнітних завад, які можуть генеруватися ПЧ. Важливим є також правильний підбір потужності як самого ПЧ, так і електродвигуна відповідно до вимог конкретного застосування.

Попри всі виклики та складнощі, широке впровадження перетворювачів частоти та оптимізованих алгоритмів керування в електроприводах гірничих установок є ефективним способом значного зменшення споживання енергії зі значним потенціалом розвитку. Подальші дослідження в галузі адаптивного, нечіткого та нейромережевого керування здатні надати ще більші можливості для оптимізації енергоспоживання та підвищення надійності гірничого обладнання у найближчому майбутньому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. P. K. Behera, M. K. Behera та A. K. Sahoo, "Comparative Analysis of scalar & vector control of Induction motor through Modeling & Simulation", *Int. j. innovative res. elect., electron., instrum. control eng.*, vol. 2, №. 4, pp. 1340–1344, Apr. 2014.
2. C. L. Graciola et al., "Comparison between predictive and scalar control strategies for minimizing losses in induction motors", *Syst. Sci. & Control Eng.*, vol. 13, № 1, Mar. 2025., doi:10.1080/21642583.2025.2481942
3. Z. N. Min, X. F. Zhang та T. J. Zhong, "The Research of Direct Torque Control of Induction Motor Based on Efficiency Optimization", *Adv. Mater. Res.*, vol. 650, pp. 537–542, Jan. 2013. doi:10.4028/www.scientific.net/amr.650.537
4. B. Kolonja, B. Jeftenić, D. Ignjatović, "The application of frequency converters for the regulation of belt conveyor drives in surface mining", *Int. J. Transport Logistics*, vol. 5, № 3, pp. 11–26, 2003.
5. D. Bordeasu, O. Prostean, I. Filip "Adaptive Control Strategy for a Pumping System Using a Variable Frequency Drive", *Machines*, vol. 11, № 7, p. 688, Jun. 2023. doi:10.3390/machines11070688

УДК 621.313

М. ОМЕЛЬЧУК, аспірант

Криворізький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ОЦІНКИ І ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ СИСТЕМ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ПРОМИСЛОВОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Сучасний розвиток промислового електротранспорту значною мірою залежить від надійності та ефективності тягових електроприводів, які є ключовими елементами таких систем. Експлуатаційні режими тягових електроприводів значно впливають на навантаження, що діють на компоненти, і, отже, на типи та швидкість потенційних відмов, технічних несправностей і, як наслідок, зниження продуктивності. Розуміння цих взаємозв'язків є важливим для розробки ефективних стратегій моніторингу стану та прогнозування. Різні режими роботи (максимальна тяга, постійна швидкість, гальмування) та пов'язані з ними стратегії керування свідчать про те, що електричні та механічні навантаження на двигун та інші компоненти значно відрізнятимуться. Ця варіативність передбачає, що єдиний статичний підхід до виявлення несправностей може бути неоптимальним, і що системи моніторингу повинні бути чутливими до поточних умов експлуатації при оцінці стану приводу [1,2]. Традиційні методи діагностики та прогнозування стану систем електроприводу промислового електротранспорту у важких виробничих умовах досить обмежені через ряд причин і здебільшого базуються на планових перевірках і аналізі даних, отриманих вручну, що часто є недостатньо точним і потребує значних витрат часу та ресурсів. Комплексні рішення для оцінки і прогнозування стану систем тягових електроприводів промислового електротранспорту існують досить давно і в останні роки активно впроваджуються у виробництво. У цьому контексті варто розглянути й передові методи для підвищення точності оцінки стану тягових електроприводів та прогнозування їхньої поведінки в майбутньому, перш за все засновані на використанні технологій штучного інтелекту (ШІ), таких як машинне навчання [3].

Технології штучного інтелекту, зокрема методи машинного навчання та глибинного навчання, дозволяють обробляти великі обсяги даних, отриманих від датчиків, установлених на тягових електроприводах. Ці датчики фіксують параметри роботи системи, такі як температура, вібрація, струм, напруга та швидкість обертання. Аналізуючи ці дані в реальному часі, алгоритми здатні виявляти аномалії, які можуть свідчити про початок деградації компонентів або наближення відмови. Наприклад, нейронні мережі можуть бути навчені розпізнавати характерні патерни у вібраційних сигналах, що вказують на знос підшипників або порушення балансування ротора. Такий підхід дозволяє не лише своєчасно виявляти проблеми, а й прогнозувати залишковий ресурс роботи окремих елементів системи [5].

Однією з ключових переваг використання методів машинного навчання є можливість переходу від «пасивного» до «активного» підходу в обслуговуванні тягових електроприводів. Замість того щоб реагувати на поломки після їх виникнення, системи на базі технологій ШІ можуть передбачати потенційні несправності та створювати перелік рекомендацій для обслуговуючого персоналу з точними вказівками щодо оптимального часу для технічного обслуговування чи заміни деталей. Наприклад, алгоритми прогнозного аналізу, такі як регресійні моделі чи часові ряди дають можливість оцінити, коли саме певний компонент досягне критичного рівня зносу, базуючись на даних отриманих під час попередніх ремонтів, технічних характеристиках окремо взятих елементів приводу отриманих безпосередньо від виробників і поточних умовах експлуатації. Все це в комплексі дозволяє знизити витрати на ремонт, зменшити простої обладнання та підвищити загальну безпеку промислового електротранспорту [1,2,4].

Реалізація подібних систем потребує інтеграції технологій ШІ з технологіями «Інтернету речей» (IoT), що забезпечують безперервний моніторинг стану обладнання. Дані, отримані від IoT-пристроїв і датчиків, обробляються в хмарних або локальних обчислювальних центрах, де відповідні моделі виконують аналіз і видають рекомендації операторам. Успішна інтеграція алгоритмів машинного навчання в існуючу інфраструктуру операційних технологій вимагає ретельного стратегічного планування, яке враховує не лише технологічні аспекти та поширення

IoT, а й необхідності модернізації поточних систем та всебічне навчання співробітників ефективному використанню нових інструментів на основі ШІ. Значною проблемою може бути забезпечення сумісності між сучасними та застарілими системами керування та моніторингу, які можуть не мати необхідних інтерфейсів або форматів даних. Інтеграція функціональних можливостей ШІ, особливо складних алгоритмів машинного навчання, у пристрої з обмеженими ресурсами, такі як ПЛК, може спричинити технічні складності, пов'язані з обчислювальною потужністю, обмеженнями пам'яті та необхідністю спеціалізованих навичок програмування. Вибір методу інтеграції та протоколу зв'язку слід ретельно обмірковувати, виходячи з конкретних вимог промислової транспортної системи, включаючи такі фактори, як потреби в продуктивності в режимі реального часу, обмеження мережевої інфраструктури, міркування безпеки [1,2,3].

Попри очевидні переваги і значні перспективи, впровадження алгоритмів машинного навчання у промисловому електротранспорті стикається з певними викликами. По-перше, необхідна висока якість даних для навчання моделей, що вимагає встановлення точних і надійних датчиків. По-друге, створення та налаштування алгоритмів потребує значних обчислювальних ресурсів і кваліфікованих спеціалістів. Забезпечення надійності та достовірності результатів роботи алгоритмів є першочерговим завданням, і підприємства, що впроваджують їх повинні враховувати потенційні попередження в даних або моделях, які можуть призвести до неточних прогнозів або несправедливих результатів. Надійні процедури перевірки та тестування мають важливе значення для підвищення якості роботи систем. В даному випадку можуть застосовуватися певні технічні обмеження, пов'язані з впровадженням будь-яких технологій штучного інтелекту і з забезпеченням точності даних, що використовуються для навчання та експлуатації моделей. Складність, властива багатьом моделям ШІ, особливо архітектурам глибокого навчання, може ускладнити інтерпретацію їхніх прогнозів та розуміння основних причин їхніх рішень, що може викликати проблеми у критично важливих промислових застосуваннях, де важливі прозорість та підзвітність. Проте ці труднощі компенсуються довгостроковими вигодами, такими як підвищення надійності тягових електроприводів і зниження експлуатаційних витрат.

Підсумовуючи можна з упевненістю стверджувати, що в реаліях сьогодення використання технологій машинного навчання для оцінки і прогнозування стану систем, зокрема і тягових електроприводів промислового електротранспорту є перспективним напрямом, який сприяє підвищенню ефективності та безпеки експлуатації. Завдяки здатності аналізувати великі масиви даних і передбачати поведінку складних систем, цей підхід може стати основою для створення новітніх інтелектуальних систем управління в промисловості. Подальші дослідження в цій галузі мають бути спрямовані на вдосконалення алгоритмів і адаптацію їх до специфічних умов роботи електротранспорту [2,3].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Surendran R., Ibrahim Khalaf O., Andres Tavera Romero C. Deep Learning Based Intelligent Industrial Fault Diagnosis Model. *Computers, Materials & Continua*. 2022. Vol. 70, no. 3. P. 6323–6338. doi:10.32604/cmc.2022.021716
2. Predictive Maintenance of Machine Tool Systems Using Artificial Intelligence Techniques Applied to Machine Condition Data / W. J. Lee et al. *Procedia CIRP*. 2019. Vol. 80. P. 506–511. doi:10.1016/j.procir.2018.12.019
3. Ali Soofastaei. Energy-Efficiency Improvement in Mine-Railway Operation Using AI. *Journal of Energy and Power Engineering*. 2019. Vol. 13, no. 9. doi:10.17265/1934-8975/2019.09.002
4. Fault Diagnosis of Electric Motors Using Deep Learning Algorithms and Its Application: A Review / Y. Yang et al. *Energies*. 2021. Vol. 14, no. 21. P. 7017. doi:10.3390/en14217017
5. Fault Diagnostics of Synchronous Motor Based on Artificial Intelligence / S. Abood et al. *Machines*. 2025. Vol. 13, no. 2. P. 73. doi: 10.3390/machines13020073

УДК 621.314

Д. БОРОВИК, здобувач

Криворізький національний університет

КОМЕНТАР ЩОДО МЕТОДІВ БОРОТЬБИ З ОБЛЕДЕННЯМ НА ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Пошкодження повітряних ліній електропередач (ЛЕП) призводить до багатомільйонних збитків і знеструмлення цілих районів і населених пунктів. При аваріях на повітряних лініях електропередачі в результаті ожеледі часто відбуваються обриви проводів і тросів. Середній час ліквідації аварій від ожеледі перевищує середній час ліквідації аварій, викликаних іншими причинами, в 10 і більше разів. Це висуває підвищені вимоги до надійності і якості електропостачання.

Ожеледь створює додаткові механічні навантаження на всі елементи повітряних ліній (ПЛ). При значній ожеледі можливі обриви проводів, тросів, руйнування арматури, ізоляторів і навіть опор ПЛ. Ожеледь може відкладатися по фазним проводам нерівномірно.

Основними метеорологічними факторами, що приводять до утворення ожеледно-паморозевих відкладень (ОПВ), є наявність переохолоджених крапель води (опадів, туману) і мінусової температури повітря. Найбільш небезпечним для народного господарства й, у першу чергу для засобів зв'язку, ЛЕП і усіх видів транспорту є ожеледь і заledenілий мокрий сніг.

В Україні систематично спостерігаються пошкодження повітряних ЛЕП, що викликані впливом ожеледних і вітрових навантажень. В деяких областях, особливо в західній і південній частинах України, відмічається збільшення пошкоджуваності ПЛ, що можна пояснити загальною тенденцією зростання частоти виникнення екстремальних погодних явищ, у тому числі випадків утворення значних ОПВ [1].

Внаслідок сильної ожеледі, що супроводжувалась поривами вітру, сталася найбільша для України природна катастрофа за останнє сторіччя, що паралізувала діяльність майже п'яти тисяч населених пунктів 12 областей України (27-28.11.2000 р.). Товщина стінки ожеледі досягала 200 мм. Було пошкоджено 5 ПЛ 750 кВ, 12 ПЛ 330кВ, одна міждержавна ПЛ 110 кВ і знеструмлена підстанція 330 кВ «Котовська» (повністю або частково зруйновано 54 металевих опори 750 кВ, 245 залізобетонних і металевих опор 330 кВ і 141 залізобетонні опора 110 кВ, розірвані троси і проводи, зруйновані гірлянди ізоляторів та ін.). Загальний збиток для НЕК «Укренерго» становив більше 68 млн. грн. [2].

За статистикою, більшість технологічних порушень елементів ЛЕП 110 кВ і вище обумовлено пошкодженням проводів (53,1 % від загального числа) і лінійної ізоляції (28,06 %), що в сукупності є причиною понад 81 % усіх відмов на ЛЕП високої напруги.



Рис. 1 – Приклад аварій, спричинених відкладенням ожеледі: а – руйнування траверси фази С; б – руйнування проміжної ПЛ 330 кВ; в – муфта ожеледі на проводі

На сьогоднішній день у світі знаходять широке застосування різні системи моніторингу ПЛ, що забезпечують системного оператора детальною інформацією про поточний стан повітряних ЛЕП. Найбільш об'єктивним методом є вимірювання ваги одного або декількох прольотів дроту ПЛ. Величина натягу дроту для конкретної ПЛ визначається навантаженнями від ожеледі і вітру, а також температурою. З погляду оцінки ступеня напруженого стану матеріалу дроту і порівняння його з гранично допустимим є доцільним контроль натягнення дроту.

Передовим способом для визначення обледеніння є оптичний датчик, який виконаний у вигляді трубки з прозорого матеріалу, наприклад скла, на поверхню якої нанесено напівпрозоре дзеркальне металізоване покриття. Всередину цієї трубки запаюється випромінювач світла і фотоприймач. У разі появи відкладень на поверхні трубки зростає здатність віддзеркалення внутрішньої поверхні трубки, що приводить до збільшення освітленості фотоприймача, збільшення сигналу на виході фотоприймача і підсилювача. Блок відображення інформації інформує про початок обледеніння.

Нині енергетиками розроблено ряд комплексних заходів щодо боротьби з ожеледдю, в основу яких покладено декілька найбільш ефективних способів для вирішення даної проблеми.

Одним з екологічно безпечних методів боротьби з обмерзанням є механічне видалення ожеледі, як правило, проводяться на невеликих ділянках ЛЕП. Для цієї мети використовуються жердини, мотузки та інші підручні засоби. Механічний спосіб полягає в тому, що намерзаючи лід і сніг збивають з дротів жердинами, шкрябаннями, укріпленими на жердинах, вірвовками, перекинутими через дрони. На контактних мережах електрифікованого транспорту застосовують спеціально обладнані автодрезини і електровози. Механічні способи не перешкоджають обмерзання, а лише усувають його, не можуть проводитися у важко доступних лісистих і гірських районах та вимагають чималих матеріальних, тимчасових і трудовитрат і часто не є доцільними. Вони можуть призвести до прискорення зносостійкості проводів, і згодом до їх обривів.

Використання фізико-хімічних підходів, зокрема наноматеріалів і нанотехнологій, відкриває нові перспективи в запобіганні обледенінню повітряних ліній електропередач (ЛЕП). Застосування супергідрофобних покриттів, що імітують ефект лотоса, дозволяє створити поверхні, які ефективно відштовхують воду, зменшуючи ймовірність утворення льоду на проводах та опорах ЛЕП. Ці покриття мають наноструктуровану поверхню, що сприяє зниженню адгезії води та льоду, запобігаючи їх накопиченню та замерзанню. Одним із перспективних напрямків є розробка нанокомпозитних покриттів на основі епоксидних смол та наночастинок діоксиду кремнію. Такі покриття демонструють високу гідрофобність та ефективність у запобіганні обледенінню, затримуючи процес замерзання води на поверхні ЛЕП. Дослідження показують, що ці покриття можуть значно зменшити адгезію льоду, що спрощує його видалення та знижує ризик пошкодження інфраструктури [3].

Більшого ефекту у боротьбі з льодом можна домогтися, використовуючи профілактичний прогрів проводів і тросів, починаючи з моменту, що передує початку відкладень. Раннє реагування на складну ожеледно-вітрову ситуацію шляхом включення в заздалегідь визначених вузлах електричної мережі штучного навантаження на період можливого утворення ожеледі дозволяє забезпечити «самозахист» проводів і тросів ПЛ на великій території. Як правило, плавлення ожеледі в електричних мережах 110 кВ та вище здійснюється з використанням напруги, зниженої проти номінальної, а в мережах до 35 кВ – за номінальної напруги. В розподільчих мережах до 10 кВ найбільш поширені способи плавлення ожеледі створенням штучних коротких замикань і зустрічним вмиканням джерел струму. У електричних мережах напругою до 220 В за техніко-економічними показниками найбільш ефективно застосовувати схеми плавлення змінним струмом. Плавлення ожеледі змінним струмом на виведених з роботи ПЛ здійснюється переважно методом короткого замикання або способом зустрічного увімкнення джерел з взаємним фазовим зсувом напруг, більш ніж 60 електричних градусів. Для оплавлення ожеледі штучно створюють такі види замикань: трифазне коротке замикання; двофазне коротке замикання; «змійка» – однофазне коротке замикання з послідовним сполученням проводів усіх фаз [2-3].

Актуальним завданням для сучасної енергетичної галузі є не лише збереження існуючої інфраструктури, а й постійне її удосконалення, в тому числі і, методів боротьби з обледенінням повітряних ЛЕП. Удосконалення існуючих технологій та впровадження інноваційних рішень дозволить запобігати аварійним ситуаціям, значно зменшити рівень пошкоджень та втрат, а також забезпечити стабільну, надійну й безперебійну роботу системи електропостачання. Особливої важливості це питання набуває в умовах України, де ожеледно-вітрові навантаження є частим природним явищем, яке щороку спричиняє значні технічні та економічні збитки. Таким чином, розробка і впровадження нових, більш ефективних способів моніторингу та захисту ПЛ від

обледення є не лише технічно доцільною, а й стратегічно необхідною для забезпечення енергетичної безпеки країни.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. І. Білаш, О. Савченко, та О. Пархоменко, «Задачі моніторингу повітряних ліній електропередавання в ожеледних районах», Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України, Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2011, с. 13–15.
2. І. Білаш, та О. Савченко, «Зняття ожеледі на коротких ділянках повітряних ліній електропередавання 6-10 кВ», Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». т. 1, № 57, с. 42–48, 2007.
3. С. Адамова, та Д. Кривцов, «Методи боротьби з ожеледдю на повітряних лініях електропередачі змінним струмом», IV Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференція пам'яті В. В. Овчарова. Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем, Мелітополь, 2021, с. 127.

УДК 621.1

Я.В. ПАЛІЄНКО студент гр. ЕПА-24м, Ю.Г. ОСАДЧУК канд. техн. наук, доцент кафедри електричної інженерії
Криворізький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ - КОМПЕНСАТОРІВ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Компенсація реактивної потужності, або підвищення коефіцієнта потужності електроустановок промислових підприємств, має велике народногосподарське значення і є частиною загальної проблеми підвищення ККД роботи систем електропостачання й поліпшення якості електроенергії, що відпускає споживачеві. Підвищення коефіцієнта потужності на 0,01 у масштабі країни дає можливість додатково корисної відпустки електроенергії в 500 млн. кВт·год у рік. Споживачі електроенергії, наприклад асинхронні двигуни, для нормальної роботи потребують як активної, так і реактивної потужностей, які виробляються, як правило, синхронними генераторами й передаються по системі електропостачання трифазного змінного струму від електростанції до споживачів. У процесі передачі споживачам активної (P) і реактивної (Q) потужностей у провідниках системи електропостачання створюються втрати активної потужності[1]:

$$\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot R = \frac{S^2}{U^2} \cdot R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R = \frac{P^2}{U^2} \cdot R + \frac{Q^2}{U^2} \cdot R = \Delta P_a + \Delta P_p$$

де ΔP_a й ΔP_p — втрати на передачу активної й реактивної потужностей.

Реактивна потужність, споживана промисловими підприємствами, розподіляється між окремими видами електроспоживачів у такий спосіб: 65 - 70% доводиться на асинхронні двигуни, 20 - 25% - на трансформатори й близько 10% — на повітряні електричні мережі й інші електроспоживачі (люмінесцентні лампи, реактори, індуктивні прилади й т.п.).

Збільшення споживання реактивної потужності електроустановкою викликає зростання струму в провідниках будь-якої ланки системи електропостачання й зниження величини коефіцієнта потужності електроустановки.

Підвищення коефіцієнта потужності електроустановки залежить від зниження споживання реактивної потужності. При зниженні споживання реактивної потужності Q до значення ($Q - Q_k$), де Q_k — потужність пристрою, що компенсує, значення кута ϕ_1 також зменшується до ϕ_2 , а отже, коефіцієнт потужності збільшується із $\cos\phi_1$ електроспоживачі 1 до $\cos\phi_2$. Використання пристроїв, що компенсують реактивну потужність, трохи здорожує експлуатацію електричних установок. Крім того, у них створюються деякі додаткові втрати активної потужності ΔP_k , які, однак, значно менше втрат активної потужності ΔP .

Підвищення коефіцієнта потужності, або зменшення споживання реактивної потужності елементами системи електропостачання, знижує втрати активної потужності й підвищує напруга. На тих ділянках, де споживання реактивної потужності елементами системи електропостачання

збільшується, втрати активної потужності теж збільшуються, а напруга знижується. На тих ділянках, де споживання реактивної потужності зменшується, збільшується, крім того, пропускна здатність елементів системи електропостачання, а при проектуванні нових ліній створюється можливість застосування проводів менших перетинів при передачі тієї ж активної потужності.

Одним з методів компенсації реактивної потужності є використання синхронних двигунів компенсаторів реактивної потужності. У порівнянні з асинхронними синхронні двигуни мають наступні переваги:

а) можливість використання як компенсуючих пристроїв при порівняно невеликих додаткових первісних витратах, оскільки при роботі з випереджальним коефіцієнтом потужності повна потужність синхронного двигуна $S_{ном.сн}$ визначальна його вартість, росте в набагато меншому ступені, чим його здатність, що компенсує[2]:

Номинальний коефіцієнт $\cos\phi$	1,0	0,9	0,85	0,8
Повна потужність $S_{ном.сн}$, %	0	11	17	25
Компенсуюча здатність ($Q_{дв.сн}/P_{ном.сн}$) 100%	0	48	62	75

б) економічність виготовлення на невелике число обертів; при цьому відпадає необхідність у проміжних передачах між двигуном і робочою машиною;

в) меншу залежність обертаючого моменту від коливань напруги: у синхронного двигуна момент пропорційний напрузі в першому ступені, а в асинхронного — у другому ступені;

г) більше високу продуктивність робочого агрегату при синхронному електроприводі, оскільки швидкість двигуна не залежить від навантаження;

д) менші втрати активної потужності, тому що ККД синхронних двигунів вище, ніж КПД асинхронних двигунів.

Компенсуюча здатність синхронного двигуна визначається навантаженням на його валу, напругою, підведеною до затисків двигуна, статичною стійкістю системи привода, максимальним і мінімальним значенням струму збудження та нагрівом провідних частин двигуна (ротора та статора). Зі зменшенням струму порушення нижче номінального здатність, що компенсує, двигуна знижується.

Звичайно в практичних умовах навантаження синхронних двигунів на валу становить 50—100% від номінальної. При такому навантаженні, а також при регулюванні напруги, підведеної до електродвигуна, можна використати електроприводи із синхронними двигунами як компенсатори реактивної потужності при роботі їх з випереджальним коефіцієнтом потужності. Наприклад, для електродвигуна типу СДН-18-24-40 ($P_{ном.с} = 615$ кВт, $n = 150$ об/хв) при коефіцієнті навантаження $k_n = 0,8$ і $U_{ном} = 6$ кв компенсуюча здатність становила 1,27; при $U = 0,95 \cdot U_{ном}$ компенсуюча здатність збільшувалася до 1,40, а при $k = 0,7$ вона підвищилася до 1,45.

Синхронний двигун, що працює в режимі холостого ходу, тобто без механічного навантаження на валу, являє собою синхронний компенсатор. Це дозволяє виготовляти спеціальні синхронні компенсатори з меншим повітряним зазором і полегшеним валом у порівнянні зі звичайними синхронними двигунами.

При перезбудження синхронний компенсатор генерує випереджальну реактивну потужність, а при недозбудження споживає відстаючу реактивну потужність. Це властивість синхронних компенсаторів використовується для регулювання реактивної потужності й підвищення коефіцієнта потужності й для регулювання напруги в електричних мережах. При роботі синхронних двигунів в режимах компенсації реактивної потужності бажано враховувати і контролювати технологічні параметри роботи агрегату: максимальне можливе значення генеруючої реактивної потужності, максимально можливе значення повної потужності, мінімально можливе значення струму збудження[3].

Переваги синхронних компенсаторів:

- плавне й автоматичне регулювання реактивної потужності й напруги у великому діапазоні, що забезпечує збільшення статичної й динамічної стійкості в енергетичній системі, а також висока надійність її роботи.

Недоліки синхронних компенсаторів:

- відносно висока вартість, а отже, і високі питомі капітальні витрати на компенсацію (6.1 грн/кВАр);

- питома витрата активної потужності на компенсацію (0,027 кВт/кВАр), що значно більше в порівнянні зі статичними конденсаторами (0,003 кВт/кВАр);
- більша займана виробнича площа й шум, вироблений при роботі.

Зазначені особливості синхронних компенсаторів, а також можливість їхнього пуску від джерел живлення великої потужності обмежують їхнє застосування тільки на підстанціях енергетичних систем.

Таким чином, використання синхронних машин для компенсації реактивної потужності є доволі надійним методом компенсації, що підвищує стійкість енергетичної системи, але й доволі затратним для виробників та споживачів як матеріально, так і енергетично.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Конспект лекцій з дисципліни з навчальної дисципліни „Енергозбереження в галузі економіки” для студентів усіх форм навчання спеціальності 8.05070108 «Енергетичний менеджмент»/ укл.: д.т.н., проф. Нізімов В.Б. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, с. 78-88, 2015. (Електронний ресурс). Доступно: <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/6/30/6-30-kl24.pdf>. Дата звернення Бер. 31, 2025.
2. Тиристорная преобразовательная техника в цветной металлургии/ Никулин А.Д., Родштейн Л.С., Сальников В.Г., Бобков В.А. М.: Металлургия (Экономии топлива и электроэнергии), 1983. – 128 с.
3. Патент №153672 Україна, Пристрій для підвищення енергоефективності технічних систем технологічних агрегатів з синхронними приводами//Осадчук Ю.Г. та ін – опубл. 09.08.2023, бюлетень №32.

УДК 621.314

С.В ГОРБЕНКО студент групи ЕПА-24м, Ю. Г. ОСАДЧУК канд. техн. наук, доцент кафедри електричної інженерії
Криворізький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМПЕНСАТОРІВ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ГІРНИЧО-ДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Сучасна гірничодобувна промисловість характеризується зниженням рівня виробництва (видобутку і переробки корисних копалин), що значно підвищує рівень споживання реактивної потужності підприємствами. Це пов'язано зі зменшенням активної навантаження живильних трансформаторів, використанням напівпровідникової техніки, зменшенням активного навантаження двигунів постійного струму, асинхронних двигунів та інше.

Оскільки передавання реактивної енергії призводить до значних втрат напруги та потужності в мережі, зокрема, при споживанні реактивної потужності підприємствам встановлюється лімітовані значення цього параметру, за перевищення якого можуть накладатися штрафні санкції, тому доцільно використовувати на місцях засоби компенсації реактивної потужності, до мінімуму зменшивши її споживання з електричної мережі.

В якості технічних засобів компенсації використовуються статичні компенсатори (СК), фільтро-компенсуючі пристрої (ФКУ) - для компенсації реактивної потужності та вищих гармонік мережі, а також синхронні двигуни (СД) технологічних механізмів гірничодобувних підприємств, таких як дробарки, насоси, млини, конвеєри тощо.

Синхронні двигуни мають перевагу над статичними компенсаторами щодо їх швидкості та плавності регулювання, можливості форсування потужності, тому навіть при перевазі у техніко-економічних показниках на користь СК, доцільно вибрати варіант з СД [1]. Якщо можливості статичних компенсаторів та ФКУ вичерпані, необхідно використовувати СД.

Особливістю СД є те що чим менше його активне навантаження - тим більше реактивної потужності може бути віддане у живлячу мережу.

Так, повна номінальна потужність синхронного двигуна може бути визначена за формулою:

$$S_n = \sqrt{P^2 + Q^2},$$

де Р - активна потужність;

Q - реактивна потужність.

Тобто, враховуючи завантаженість по повній потужності синхронних двигунів 65-70%, можна визначити можливий рівень компенсації реактивної потужності [2]:

$$Q_{cd} = \frac{\alpha_n P_n \operatorname{tg} \varphi_n}{\eta_n},$$

де α_n - найбільше допустиме перевантаження СД по реактивній потужності, яке залежить від типу двигуна, відносної напруги U^* та коефіцієнта завантаження по активній потужності β ;

P_n , $\operatorname{tg} \varphi_n$, η_n - номінальні параметри двигуна.

При цьому бажано контролювати завантаження та рівень напруги мережі.

При техніко-економічному порівнянні СД з іншими компенсаторами розрахунки доцільності регулювання реактивної потужності повинні враховувати диференціацію тарифів на активну і реактивну потужність, а також втрати активної енергії, спричинені генерацією реактивної енергії. Так для генерації в мережу реактивної потужності необхідно витратити додатково 7-10% активної енергії.

Також в умовах кар'єрів, шахт та інших подібних підприємств велике значення мають вимоги вибухозахисту та пилозахисту. Це обмежує можливість встановлення звичайних компенсаторних установок без спеціального виконання.

Отже, компенсація реактивної енергії в умовах гірничодобувної промисловості має свою специфіку, зумовлену особливостями навантаження, складними умовами експлуатації та високими технічними вимогами до обладнання. Використання синхронних двигунів у ролі компенсаторів дозволяє значно підвищити ефективність роботи електричних мереж таких підприємств.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Патент №153672 Україна, Пристрій для підвищення енергоефективності технічних систем технологічних агрегатів з синхронними приводами//Осадчук Ю.Г. та ін – опубл. 09.08.2023, бюлетень №32.

2. Гойхман В. М. Регулирование электропотребления и экономия электроэнергии на угольных шахтах / В. М. Гойхман, Ю. П. Миновский. – М.: Недра, 1988. – 189 с.

УДК 621.65:621.3

І.КОВАЛЕНКО, магістрант

Криворізький національний університет

ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНВЕРТОРІВ З АКТИВНИМ ФІЛЬТРУВАННЯМ

Забезпечення високої якості електроенергії є ключовим завданням при інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у локальні та магістральні енергосистеми. Сучасні енергомережі дедалі частіше стикаються з проблемами, спричиненими впровадженням сонячних електростанцій, вітроустановок та інших джерел з нестабільною генерацією. Однією з найбільш актуальних проблем є поява гармонік, зниження коефіцієнта потужності, коливання напруги та частоти, що ускладнює стабільну роботу електрообладнання і призводить до зростання втрат енергії. Особливої уваги потребують промислові об'єкти та об'єкти критичної інфраструктури, де якість електроенергії безпосередньо впливає на безпеку, стабільність технологічного процесу та термін служби обладнання. Для вирішення цих проблем доцільним є впровадження інверторних систем з активним фільтруванням, які дозволяють ефективно компенсувати гармоніки, керувати реактивною потужністю та згладжувати коливання напруги. Комплекс електроперетворювального обладнання включає інвертор напруги з можливістю двостороннього енергопотоків, акумуляторну батарею, систему керування із функцією активного фільтру, а також контрольно-вимірювальні прилади для моніторингу параметрів енергосистеми. Основна мета впровадження – стабілізація параметрів електричної мережі в точці підключення та підвищення коефіцієнта потужності до нормативних значень. Результати аналізу функціонування прототипу системи показали, що при використанні інвертора з активним фільтруванням спостерігається суттєве зниження гармонічних складових струму (до 90% на основних гармоніках), стабілізація напруги та можливість оперативної реакції на зміну навантаження. Зокрема, компенсація реактивної потужності дозволяє зменшити навантаження на трансформатори і лінії

електропередач, покращуючи загальний енергетичний баланс. Особливу увагу приділено алгоритмам керування інвертором, які включають аналіз спектру струму та напруги в реальному часі, синхронізацію з фазою мережі, адаптацію режимів заряд-розряд акумулятора залежно від рівня навантаження та стану заряду. Завдяки цьому забезпечується динамічна стабілізація мережі при змінній генерації з ВДЕ.

Запропонована система має потенціал для широкого використання у складі локальних систем зберігання енергії, мікромереж та автономних енергетичних кластерів. Її впровадження дозволить підвищити якість електроенергії, зменшити втрати, уникнути перевантажень і продовжити ресурс роботи обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондаренко О.В. Якість електроенергії в системах з ВДЕ: проблеми та шляхи їх вирішення. Електроенергетика та електротехніка, 2021, №2, с. 45–52.
2. Василенко І.Г. Інверторні системи з активною компенсацією гармонік // Технічна електродинаміка, 2020. №6. С. 28–34.

УДК 621.314

Ю.ШЕРСТНЬОВ, аспірант

Криворізький національний університет

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНЕ КЕРУВАННЯ КОМПЕНСАЦІЙНИМИ ПРИСТРОЯМИ ПІДПРИЄМСТВ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ

Оптимізація енергоефективності вітчизняних підприємств гірничо-збагачувальної галузі є актуальною науково-технічною проблемою. Дослідження свідчать, що частка витрат на електричну енергію у загальній собівартості продукції таких підприємств може досягати 60%. Водночас існує значний потенціал для зниження енергетичних витрат шляхом аналізу та оптимізації електроспоживання, зокрема завдяки вдосконаленню методів компенсації реактивної потужності.

Аналіз динаміки споживання електричної енергії за останні роки виявив зростання співвідношення активної та реактивної потужності. Такий дисбаланс створює суттєві проблеми для управління енергетичними ресурсами, оскільки підвищене реактивне навантаження призводить до неефективного використання трансформаторів і електродвигунів, які функціонують у режимі часткового завантаження. Окрім безпосередніх енергетичних втрат, підприємство зазнає фінансових витрат не лише через споживання реактивної потужності, а й унаслідок невідповідності нормативним вимогам щодо її компенсації.

У 2022-2023 роках зафіксовано значне скорочення споживання активної потужності, в середньому на 25,5% і реактивної – на 17,5% споживачами ГЗП підприємства гірничозбагачувального комплексу. Однак, попри це, через зростання тарифів загальні витрати на оплату реактивної потужності зменшилися лише на 2%. Така тенденція підкреслює необхідність удосконалення методів компенсації для підвищення економічної ефективності електроспоживання.

Складність електроенергетичних процесів у гірничо-збагачувальній промисловості обумовлена великою кількістю споживачів, нестабільністю їх навантаження та наявністю випадкових збурень. Це висуває підвищені вимоги до системи моніторингу та управління реактивною потужністю, що зумовлює необхідність розробки нових методологій та вдосконалення існуючих підходів. Ефективна компенсація реактивної потужності, заснована на синергетичному поєднанні сучасних наукових підходів, сприятиме підвищенню енергоефективності підприємств та зниженню експлуатаційних витрат

Для підстанцій, що живлять обладнання з нелінійним типом навантаження та характеризуються значним рівнем енергоспоживання, доцільним є впровадження конденсаторних установок (КУ). Їх основна функція – підвищення коефіцієнта потужності системи електропостачання шляхом локальної компенсації реактивної потужності (забезпечення $\text{tg}\varphi < 0,25$). Крім того, підприємствам, у складі яких є підстанції з синхронними двигунами (СД),

рекомендується розглядати можливість їх залучення до процесу компенсації реактивної потужності.

Для керування компенсаційними пристроями пропонується адаптивний алгоритм [1]. Рівень генерації реактивної потужності конденсаторними батареями регулюється дискретно. У випадку наявності синхронних двигунів в активі підприємства, рекомендується їх використання у процесі компенсації реактивної потужності. Для цього система відслідковує технологічні показники СД (їх число, температуру охолоджуючого повітря, температуру обмоток статора та побічно ротора, живлячу напругу) з метою не перевищення допустимих значення цих параметрів [2].

У результаті система мінімізує споживання реактивної потужності розподільною підстанцією з мережі, наближуючись до «нуль-перетікання», що суттєво знижує фінансові витрати підприємства на оплату електроенергії.

Таким чином, інтеграція адаптивного керування компенсаторами реактивної потужності з іншими елементами енергетичного менеджменту не лише сприяє зменшенню втрат, але й оптимізує функціонування електроенергетичної системи підприємства. Це, своєю чергою, підвищує стабільність і надійність електропостачання, забезпечуючи ефективне використання енергетичних ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ю.В. Шерстнов, Ю.Г. Осадчук, «Розробка алгоритму оптимізації рівнів споживання електричної енергії підстанцій гірничо-збагачувального комбінату за допомогою інтелектуальних систем», Вісник Криворізького Національного Університету, Збірник наукових праць, вип. 58, с. 116-128 2024. doi: 10.31721/2306-5451-2024-1-58.

2. Ю. Шерстньов, «Енергоефективне регулювання перетікання реактивної потужності підприємств гірничозбагачувального комбінату», на Всеукр. наук.-практ. конф. Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві, Кропивницький, 2024, с. 93-95.

УДК 621.314

В. ЛОМАКОВСЬКИЙ, здобувач

Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

AUTOMATED CONTROL OF TRACTION SYSTEMS IN MINES USING BROADBAND WIRELESS COMMUNICATION

The development of mine communication shows that the frequency range of the systems used is expanding [1]. As can be seen from Table 1, it currently covers the area from hundreds Hz of to several Hz.

Table 1 – Types of mine communication

Communication type	Range frequency s, MHz	Communic ation range, km	Influential factors	Field of application
Rock everywhere	0.001	0.2...0.3	Array properties	Alternate connection
Telephone wire	0.034	15.0	Leading network	Telephone, mining equipment
Inductive connection	1.0	5.0	3...5 м from the waveguide	Local connection
Radiating cable	500	100.0	50 м from the waveguide	Communication information network
Point antenna	1800	3.0	1000 м from the base	Operational communication
Direction finder	0.01	0.003	Individual tool	Search for the victim

The analysis of the table data shows that in the conditions of underground mining it is impossible to unambiguously formulate a universal principle for the organization of a wireless system on the basis

of certain equipment. Separate capital workings (trunk, pumping road, etc.), which have a sufficient cross section and significant rectilinear sections, form waveguides filled with a weakly conductive medium and limited by the conductive medium of the rock mass. This creates the conditions for the propagation of hyperhigh frequency waves with higher-order modes. The main factors influencing the propagation of waves in this range are the presence of power electrical equipment, cross sections of workings and their saturation with metal structures, which can limit the line of sight for the radio channel. On the other hand, for inductive communication systems, metal structures are waveguides that increase the range of radio waves in underground workings [1]. In this regard, it is rational to create a combined analog-digital structure of wireless communication, which is able to solve a local production problem and have access to the control panel or ATE. This raises the problem of providing the possibility of transmitting analog channels of the decimeter range of the entire amount of information that can be transmitted by digital channels with higher bandwidth.

The system of monitoring of mobile objects [2], presented in Figure 1, is the closest to the solution of the set task. It is designed to control the operation of passenger and freight transport, personnel and mobile technical equipment and is recommended for operation in places where it is impossible or irrational to use wired or wireless communication channels. The part of the system located in the underground workings contains: stationary readers SR, which are interconnected by the information highway IH (fiber-optic, cable lines, etc.) and are located at characteristic points of the route; RT beacons, which are embedded in holes drilled in the sides of the workings and oriented in such a way as to match the polarizations of the RT's own antennas and devices connected to them by the RI radio interface; devices of the monitoring and positioning system MPS; mobile objects MO.

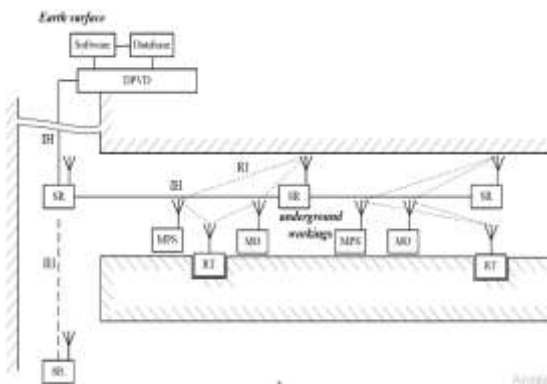


Fig.1. Mobile object monitoring system

The terrestrial part of the system consists of a device for processing and visualization of DPVD data with installed software and communication with the database database.

The DPVD manages the data exchange by conducting periodic surveys of stationary readers and fills in the database, which includes the number of the SR, the identifier of the MPS or MO, etc. If a mobile object or MPS device enters the controlled area of the radio beacon, its (beacon) unique number and time of registration are fixed. The received data is transmitted by transceivers

of controlled objects after they receive the code combination of the request, which is periodically emitted by the equipment of a stationary reader, in the range of which the object will be in its further movement.

The considered system expands the possibilities of monitoring mobile objects in the conditions of incomplete coverage of the system coverage area by wired or radio data transmission channels, the monitoring process is fully automated. A significant disadvantage of this solution is the significant focus of the system on solving the problem of monitoring the actual location of objects of control and not the state of electrical equipment as a whole. It is limited, in this case, only to the control of the discharge status of the batteries RT, MPS, MO. The spectrum width of such a signal is much smaller than the spectrum width of the signal that must be used in the construction of more information systems. To increase the volume of the message that is transmitted, it is necessary to use methods of distribution of the information message over the entire width of the available radio frequency range. This will provide, first of all, an increase in the signal base, and will significantly reduce the impact of the peculiarities of signal propagation in the mine underground conditions.

Due to the peculiarities of the work discussed above, the use of frequency and time distribution is complicated by the limited range and the need for simultaneous operation of a certain number of subscribers.

The solution of this problem is possible provided that the use in such systems of methods of channel separation by form, which provide for the possibility of simultaneous operation of radio equipment in the common frequency band ΔF .

The principle of operation of such an asynchronous addressing communication system (AACS) is shown in Figure 2 [4].

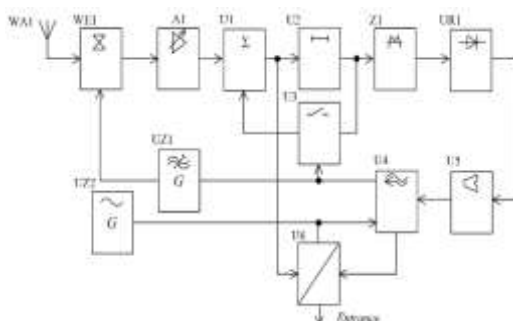


Fig. 2. Functional diagram of the receiving device of noise-like signals

A possible circuit solution [5] on the example of the organization of the receiving part is shown in Figure 4. The functional circuit includes an antenna WA1, mixer WE1, intermediate frequency amplifier A1, local oscillator UZ1, adder U1, delay line U2, matching filter Z1, detector UR1, key U2, reference generator UZ2, synchronization circuit U4, decision device U5, selection circuit U6. The operation of the device is based on the detection of the signal by the accumulation of the detected clock signal

and the formation of the output signal in the selection circuit, which consists of a correlator and a phase detector. A possible circuit solution [5] on the example of the organization of the receiving part is shown in Figure 4. The functional diagram includes an antenna WA1, mixer WE1, intermediate frequency amplifier A1, local oscillator UZ1, adder U1, delay line U2, matching filter Z1, detector UR1, key U2, reference generator UZ2, timing circuit U4, decision device U5, selection circuit U6. The operation of the device is based on the detection of the signal by the accumulation of the detected clock signal and the formation of the output signal in the selection circuit, which consists of a correlator and a phase detector.

REFERENCES

1. V. I. Yatsyshyn, "Method for calculating the coverage radius of mine wireless communication systems", *Collected Scientific Works of the State University of Infrastructure and Technologies*, no. 2(10), pp. 32–38, 2021.
2. O. Ye. Zaitsev and I. V. Petrenko, "Optimization of wireless network structures in complex industrial environments", *Mining Electromechanics and Automation*, no. 135, pp. 45–50, 2020.
3. A. S. Kovalchuk, "Positioning systems in coal mines: problems and prospects", *Eastern-European Journal of Advanced Technologies*, no. 3(99), pp. 60–64, 2019.
4. V. H. Lysenko and V. V. Holovko, "Problems of radio signal transmission in complex mine geometries", *Bulletin of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University*, no. 2, pp. 77–83, 2021.
5. S. M. Tymchenko and S. I. Kudinov, "Use of broadband signals in mining information systems", *Mining Informational and Analytical Bulletin*, no. 1, pp. 12–18, 2022

УДК 621.314

Ю. КРИВИЙ, здобувач

Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

CONTROL OF TEMPERATURE FIELDS OF ELECTRICAL ENGINEERING EQUIPMENT OF ELECTRIFIED TRANSPORT

Improving the reliability of a power electric motors (PEM) is impossible without current control temperature regimes of all types of electric motors in electrical traction complexes (ETC) mine electric [1-3]. The experience of the operation of electric transmission, use only of continuous temperatures the thermal control regimes of PEM reduces the failure last 30...35% of failure collectors 2.6...3.3 times, circular lights in them 3.1...3.7 times for a total reduction collector 2.8...3.4 times [4]. Operating without PEM systems for heat mode increases the number of failures in 1.5...3.5 times.

By measuring the temperature of electrical machines put forward the following technical requirements [5]: measurements made in the right spots at different heating modes; making minimum range of thermal irregularities in the process of measurement; the ability to perform remote measurements,

mainly direct method of direct assessment of electromagnetic fields and environmental conditions; independent measurement results of vibration; high accuracy of measurement; applying for temperature measurement simple and standard equipment. Thermal relays efficiently applied in the protection of motors with permanent or load, which varies slightly. If excess current regime long thermal relay changes too quickly could cause a "racing machine" and therefore unsuitable for motor protection from overheating.

The calculation of energy loss in traction motors for the billing period allows indirect assessment of its heating. When applying this method during the engine break at intervals during which the motor current can be considered constant. In terms of iron ore mines motion cycle is:

$$T \leq t_{utw} + t_{load} + t_{lrc} + t_{hnd} + t_{man} + t_{dow} \quad (1)$$

where t_{utw} , t_{load} , t_{lrc} , t_{hnd} , t_{man} , t_{dow} – under a train without a load, loading, loaded traffic composition, handling, maneuvering and downtime.

Given the formula (1) is equivalent current can be represented as:

$$I_{eqv} = \alpha \sqrt{\frac{1}{T} \left(I_{utw}^2 t_{utw} + I_{load}^2 t_{load} + I_{lrc}^2 t_{lrc} + I_{hnd}^2 t_{hnd} + I_{man}^2 t_{man} + I_{dow}^2 t_{dow} \right)}$$

where α – coefficient for iron ore mines is considered equal to 1.4, and taking into account the deterioration of engine cooling during maneuvers and stops. In modern microprocessor control locomotives can be implemented directly estimate the energy loss, which is proportional functions $I^2 t$, integration of functions and determine the equivalent current according to the expression (3)

$$I_{eqv} = \alpha \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2 dt} \quad (3)$$

If the calculated value exceeds the rated current long mode I_{nLM} , triggered protection that sends a signal to the driver or affect the disconnection drive.

The magnitude of the resistance of the windings can be determined by the average temperature of the winding. The method is based on the properties of the winding resistance changes as a function of temperature.

The temperature of the hot coil is given by:

$$t_h = \frac{R_h - R_c}{R_c} (k + \tau_c) + \tau_c, \quad (4)$$

where R_h , R_c – support windings are measured, respectively, in the hot and cold; τ_c – famous winding temperature in a cold state in which the measured resistance R_c ; k – the reciprocal of the temperature coefficient of resistance for 0 °C and that takes a value of 235 for the copper windings and 245 – for the winding of aluminum; τ_c – winding temperature in almost cold.

Based on the expression (4) for the copper windings can be written:

$$\Delta t_h^{Cu} = \frac{R_h - R_c}{R_c} (235 + \tau_c) + \tau_c - \tau_{cm}, \quad (5)$$

where Δt_h^{Cu} – excess temperature hot copper winding temperature τ_{cm} cooling medium.

In the real level of accuracy measurement of resistance of 1% and a temperature of 130 °C hot winding temperature measurement error C temperature method is 2.8% or 325 °C, which is quite acceptable.

According to research, the most dangerous heating occurs in the armature winding. Control of resistance and corresponding temperature accompanied by great difficulties associated with the brush contacts. Their resistance is connected in series with the armature winding, unstable and can vary tenfold depending on the brand of brush, they attach to the work surface condition and its collector temperature, speed. Moreover brush cover several collector plates with shunt winding section anchor. So enough temperatures accurately anchor for its winding resistance impossible. However, there is another way - to control the temperature resistance of the winding. This can be based on the following considerations: winding traction engines include series with the armature winding because it runs the same current; windings located in one machine, so they are heating and cooling interrelated. This allows for the winding temperature accurately determine the temperature anchor.

Given that the allowable temperature for armature winding insulation class F is 155 °C, the maximum allowable temperature for heating armature winding is 155-25=130 °C.

Thus, despite the fact that the winding and allows a higher temperature, protection against overheating engine should operate at a temperature of winding 130 °C, which corresponds resistance:

$$R_h = R_c \frac{235 + \tau_h}{235 + \tau_c}, \quad (6)$$

or, if $\tau_h = 130^\circ \text{C}$ and copper windings:

$$R_{130}^{Cu} = R_c \frac{365}{235 + \tau_c}, \quad (7)$$

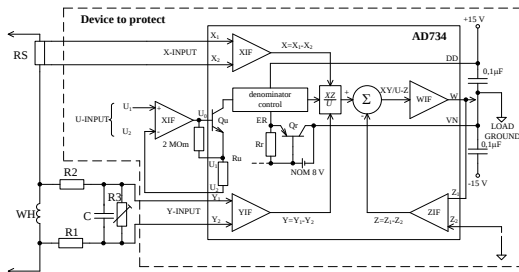


Fig. 1. Protection Scheme mine electric traction motor from overheating using AD734

Fig. 1 shows a possible embodiment of a circuit protection traction electric motor from overheating. The average value of the voltage U is removed from the winding health WH through the circle, which consists of $R1 - R2$ and that C limits voltage pulses at commutations in the power unit circle, which is protected. The average value of current I that flows through WH, determined by the shunt. Set up protection for a specified resistance exercise and proper temperature resistor adjustment $R3$.

Block protection device includes an integrated analog divider, which acts as a division U_{av}/I_{av} – that continuously measures the resistance value windings. Upon reaching the resistance value, which corresponds to a temperature of 130 °C winding, protection work, armature winding temperature with temperature reaches 155 °C. The scheme does not require the engine temperature sensors – directly winding engine is a sensor. This makes protection simple and reliable. In this structure as a real option divider for practical implementation can serve as a chip-I 4-Quadrant Multiplier/Divider AD734 © Analog Devices, Inc. The scheme supports two modes of analog division.

The chip recommended as an analog divider, which operates on a direct voltage regulation denominator. This mode is more accurate, flexible and can increase the frequency of the chip, because all inputs are available. Typical greatly divider provides performance functions:

$$W = \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{(U_1 - U_2)} + Z_2, \quad (8)$$

where X , Y , Z – signals that can be both positive and negative, but the difference signals must be positive and be within 10 mV ... 10 V

REFERENCES

1. V. H. Shumilo and P. I. Shved, "Estimation of the winding temperature of electric machines under operating conditions", *Bulletin of the National Technical University of Ukraine "KPI"*, no. 16, pp. 84–89, 2020.
2. M. M. Bilyk and O. S. Lytvynenko, "Temperature monitoring and protection systems of asynchronous electric motors in mining enterprises", *Mining Electromechanics and Automation*, no. 133, pp. 55–60, 2019.
3. I. H. Solodovnik and R. V. Marchenko, "Thermal overload protection of electric traction motors using microprocessor devices", *Technical Electrodynamics*, no. 2, pp. 43–48, 2021.
- 4 D. M. Demchuk, "Measurement of heating in traction motors by resistance method: accuracy and limitations", *Journal of Electrical Engineering and Automation*, vol. 27, no. 1, pp. 12–17, 2020.
5. Y. V. Tomchuk and S. V. Nechyporenko, "Development of thermal protection systems for electric traction motors based on AD734 analog devices," *Bulletin of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, no. 1(122), pp. 90–95, 2022.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ І КОМПЛЕКСІВ

УДК 621.314

О. ДОЗОРЕНКО, доктор філософії, ст. викладач.

Криворізький національний університет

АНАЛІЗ АКТУАЛЬНОГО СТАНУ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДО ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ

В сьогодення досить гостро постають питання забезпечення енергетичної безпеки, надійності та безперервності електропостачання. Відповідно до «Енергетичної стратегії України на період до 2050 року» для вирішення цих питань передбачено розвиток та впровадження відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Ця стратегія, зокрема, визначає індикативні показники майбутнього розвитку ВДЕ. Серед них – досягнення частки 27 % енергії, виробленої з ВДЕ, до 2030 року у валовому кінцевому споживанні енергії, 70 % енергії з ВДЕ у загальному первинному постачанні енергії до 2050 року та наближення до кліматичної нейтральності до 2060 року.

Водночас, збройна агресія Російської Федерації проти України має суттєвий негативний вплив на енергетичну галузь України, зокрема на функціонування галузі відновлюваної енергетики. Так, станом на початок 2022 року загальний обсяг встановленої потужності об'єктів відновлюваної електроенергетики за «зеленим» тарифом становив більше 9,5 ГВт. Унаслідок вторгнення було окуповано близько 25 % встановленої потужності відновлюваної енергетики. Особливо складна ситуація з вітровими електростанціями (ВЕС) – 75 % або близько 1,25 ГВт, також 14 % або понад 0,6 ГВт сонячних електростанцій (СЕС) розташовані на окупованих територіях.

Але навіть в таких умовах частка ВДЕ залишається значною – у 2023 році близько 10 % електричної енергії (ЕЕ) було вироблено з використанням енергії сонячного випромінювання та енергії вітру. Враховуючи обсяги виробництва ЕЕ великими гідроелектростанціями (ГЕС), ця частка досягла 20,3 % (більше, ніж в довоєнний період). Загалом протягом 2022-2023 років в Україні введено понад 650 МВт нових потужностей відновлюваної енергетики, з яких: 371 МВт – СЕС (з яких 287 МВт приватними домогосподарствами); 227 МВт – ВЕС; 50 МВт – об'єкти біоенергетики (біомаса та біогаз); 1 МВт – малі ГЕС.

Особливістю роботи ВЕС та СЕС є мінливість та стохастичність швидкості вітру та сонячного випромінювання протягом доби, що в свої чергу впливають на потужність генерації ЕЕ. Інтеграція ВДЕ до об'єднаної енергосистеми України приводить до виникнення певних проблем зі стабільністю мережі. Важливими факторами при цьому є швидкість та амплітуда змін генерованої потужності, їх узгодженість з добовими графіками споживання ЕЕ та її виробництва іншими електростанціями. Очевидно, що у випадку ВЕС та СЕС можна говорити лише про оцінку ймовірності таких факторів.

Згідно з досвідом країн з високим рівнем ВДЕ, певну частку виробленої відновлюваної ЕЕ енергосистема може поглинати практично без будь-яких складнощів, але при перевищенні цієї величини виникають труднощі як мережевого, так і режимного характеру.

Існує ряд способів проектування і експлуатації систем зі змінними ВДЕ, так щоб вони могли надійно задовольняти попит на ЕЕ, з яких можна виділити наступні:

1. Генерація має бути географічно рознесена, змінні за природою джерела енергії (наприклад, вітру, сонця) значно згладжують подачу ЕЕ;
2. Слід використовувати додаткові стабільні джерела енергії (наприклад, ГЕС), щоб заповнити тимчасові проміжки між попитом і генерацією ЕЕ;
3. Використовувати «розумні» управління попитом, щоб перенести досить гнучкі навантаження на час, коли доступно більше ВДЕ;
4. Накопичення ЕЕ (акумуляторні батареї, водень, ГАЕС), для подальшого використання;
5. Оптимізація розміру генеруючих потужностей для мінімізації часу, коли доступні ВДЕ генерують менше, ніж поточний попит, також забезпечення використання вільних потужностей;
6. Вдосконалення методів прогнозу потужності генерації ВДЕ (прогноз вітру, сонця);

Сьогодні вже не ставиться під сумнів, що об'єднана енергосистема України має в значній мірі базуватись на ВДЕ. Зі збільшенням частки ВДЕ у виробництві ЕЕ трансформуються принципи управління енергетичним господарством, змінюється його структура. На перше місце виходять

питання технологічно і економічно оптимального, гнучкого управління великими обсягами стохастичної генерації ЕЕ.

Ключовим показником, за допомогою якого оцінюється якість роботи енергосистеми є SAIDI (System Average Interruption Duration Index) – середній час непланових перерв енергопостачання на одного споживача в рік. Тому, одним з основних завдань, з урахуванням значного збільшення частки ВДЕ у виробленні ЕЕ, є підвищення надійності енергосистеми, тобто зниження показника SAIDI.

УДК 621.311.243:504.5

Д. ЗАБОЛОТНИЙ, аспірант

Криворізький національний університет

ВПЛИВ ЗАПИЛЕНOSTІ НА РОБОТУ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ ТА МЕТОДИ ЇЇ ЗНИЖЕННЯ В ПРОМИСЛОВИХ РЕГІОНАХ УКРАЇНИ

У наш час сонячна енергетика розвивається доволі стрімко як в Україні, так і у світі. Все більше країн інвестують у будівництво сонячних електростанцій, адже це екологічно чисте та відновлюване джерело енергії. В Україні завдяки сприятливим кліматичним умовам і державним програмам підтримки зростає кількість як промислових, так і приватних СЕС. Світові технології у цій сфері також не стоять на місці: розробляються нові матеріали для фотоелементів, удосконалюються системи накопичення енергії.

Сонячні електростанції мають великий потенціал, проте їх ефективність залежить від низки факторів, які можуть знижувати продуктивність. Однією з головних проблем є затінення панелей, яке навіть на невеликій ділянці може суттєво зменшити вихідну потужність усієї системи. Важливим викликом також є забруднення поверхні панелей пилом, листям або снігом, що зменшує кількість світла, яке потрапляє на фотоелементи. Крім того, ефективність сонячних модулів залежить від температури – при високих температурах їхня продуктивність знижується через підвищення внутрішнього опору. Нестабільність вироблення енергії в різні пори року та погодні умови потребує додаткових систем накопичення або балансування енергоспоживання. Ефективність також знижується через старіння панелей, що призводить до поступового зменшення їхньої потужності. Втрата енергії в інверторах і кабельних з'єднаннях може ще більше вплинути на загальний ККД станції, характеристика залежності потужності від напруги сонячної електростанції при затіненні показано на рисунку 1. Проблема затінення є доволі важливою, подальші дослідження у цій сфері дозволять підвищити ефективність сонячних електростанцій навіть за умов часткового затінення.

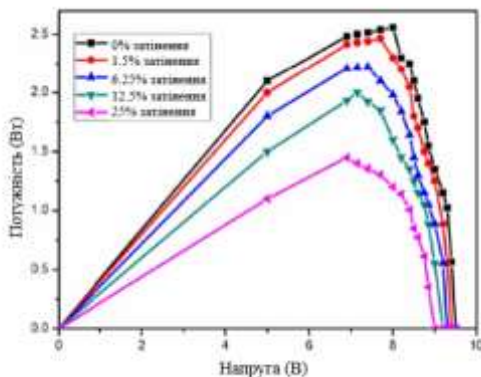


Рис.1. Характеристика залежності потужності від напруги сонячної електростанції при затіненні.

Оптимізація розташування сонячних панелей є важливим кроком для мінімізації впливу затінення та підвищення їх ефективності. Під час проєктування системи важливо правильно вибрати місце для встановлення панелей, щоб уникнути потрапляння тіні від будівель, дерев або інших об'єктів, які можуть перекривати сонячне світло.

Регулярне очищення панелей також грає важливу роль у забезпеченні їх максимальної ефективності. Накопичення пилу, бруду або інших забруднень на поверхні панелей може зменшити кількість світла, яке досягає фотоелементів, що призводить до зниження потужності. Очищення панелей допомагає підтримувати їх у належному стані, забезпечуючи постійну продуктивність і зменшуючи втрати енергії, викликані забрудненням.

Одним з способів зниження ефекту затінення на сонячні панелі є використання обхідних діодів, залежно від типу сонячних панелей вони можуть підвищити ефективність сонячної панелі під час затінення. Одним із способів зниження ефекту затінення на сонячні панелі є використання обхідних діодів, які дозволяють електричному струму обходити затінені ділянки. Це особливо важливо для панелей із послідовним з'єднанням фотоелементів. Невелике затінення близько 10% може призвести до значного зниження потужності — середнє зменшення становить близько 32%. Обхідні діоди можуть підвищити ефективність панелі при затіненні на 24.8%. Хоча обхідні діоди можуть значно покращити ефективність сонячних панелей при затіненні, вони не повністю усувають проблему. Вони лише дозволяють зменшити втрати потужності, але при більшому або нерівномірному затіненні їх ефективність може бути обмеженою. [1]

Іншим способом зменшення впливу затінення є використання сонячних панелей з половинними елементами. Сонячні панелі з половинними елементами, які мають менші фотоелектричні елементи, спрямовані на підвищення продуктивності та ефективності панелей шляхом зменшення внутрішнього опору і мінімізації впливу затінення. Коли відбувається затінення, електричний струм, що виробляється затіненими елементами, зменшується, що призводить до зниження загальної потужності панелі. Проте технологія з половинними елементами допомагає зменшити цей ефект. Підвищення ефективності при використанні панелей з половинними елементами, що ділять звичайні елементи на два менших, для підвищення ефективності та зменшення втрат, особливо в умовах затінення або нерівномірного випромінювання. Цей підхід дозволяє зменшити втрати потужності при затіненні та підвищити ефективність сонячної панелі в умовах непостійного освітлення. [2]

Ще одним шляхом підвищення ефективності є використання алгоритмів MPPT при сонячних електростанціях з інвертором, який перетворює постійну напругу в змінну. У разі часткового затінення, коли не всі фотоелектричні елементи панелі отримують рівне сонячне освітлення, потужність може значно знижуватися. MPPT дозволяє інвертору компенсувати це зниження, коригуючи струм і напругу, що надходить від сонячної панелі, та підтримуючи її на оптимальному рівні для максимального збору енергії. Таким чином, навіть при частковому затіненні панелі, інвертор з MPPT допомагає отримати більше потужності, що в результаті підвищує загальну ефективність сонячної установки.

Ще одним шляхом є використання оптимізаторів сонячних панелей. Коли сонячні панелі зазнають затінення, деякі частини системи можуть генерувати менше електроенергії, що знижує загальну ефективність. Оптимізатори допомагають вирішити цю проблему, що дає змогу максимізувати вихідну потужність кожної панелі навіть при неповному освітленні. Система з оптимізаторами може суттєво зменшити ці втрати, досягаючи 2,8-кратного середнього покращення ефективності за всіх умов затінення порівняно з неоптимізованими системами. Втрати ефективності були суттєво знижені до 1,3% за оптимальних умов і не перевищували 37,4% за умов сильного затінення. Ключовою перевагою оптимізаторів є їх здатність роз'єднувати роботу затінених і незатінених модулів. Це дозволяє кожному модулю працювати в його власній точці потужності, ефективно ізолюючи вплив затінення на окремі модулі. [3]

Затінення є серйозною проблемою для сонячних електростанцій, оскільки навіть незначне перекриття світла може суттєво знизити продуктивність фотомодулів. Це призводить до втрат генерації, нерівномірного навантаження на панелі та підвищення ризику перегріву окремих елементів. Щоб мінімізувати вплив затінення, необхідно оптимально розташовувати панелі, враховуючи рух сонця та можливі перешкоди. Ефективним рішенням є використання

оптимізаторів потужності, які дозволяють кожному модулю працювати незалежно, зменшуючи негативний ефект затінення. Додатково можна застосовувати технології трекінгу точок максимальної потужності для кращої адаптації до умов освітлення. Використання мікроінверторів також допомагає покращити ефективність при частковому затінненні масиву. Комплексний підхід до вирішення цієї проблеми дозволяє підвищити загальну продуктивність та надійність сонячної електростанції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Tchira, J., & Thompkins, T. (2023, November 30). The effects of bypass diodes on partially shaded solar panels. Journal of Student Research, 12. <https://doi.org/10.47611/jsrhs.v12i4.5288>
2. Venkatadurgaprasad, K., Venugopal Reddy, B., Varma, G., & Das, S. (2024). Investing Solar Bifacial Half Cut Single PV Panel for Enriched Power Delivery and System Stability Using Hybrid Approaches. E3S Web of Conferences, 547, 01023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454701023>
3. Eum, J., & Choi, H.-J. (2024). Analysis of power enhancement in facade-BIPV systems through module-level power optimizer: Evaluating performance under shading conditions. Buildings, 14(12), 3850. <https://doi.org/10.3390/buildings14123850>

УДК 621.316

І. ПЕРЕСУНЬКО, кандидат технічних наук, доцент кафедри електричної інженерії
Криворізький національний університет

ОЦІНКА ВТРАТ ГЕНЕРАЦІЇ СОНЯЧНИМИ ЕЛЕКТРИЧНИМИ СТАНЦІЯМИ ЧЕРЕЗ ПРОМИСЛОВЕ ЗАПИЛЕННЯ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ

Одним із ключових напрямів розвитку електроенергетики України є реформа ринку електроенергії згідно із Законом України «Про ринок електричної енергії» та збільшення частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) відповідно до енергетичної стратегії до 2035 року. У 2020 році Міненергодоквілля представило Концепцію «зеленого» енергетичного переходу до 2050 року, що передбачає модернізацію галузі, скорочення викидів парникових газів і поступове зменшення вугільної генерації. Вуглеву ТЕС планується замінити сонячними, вітровими електростанціями та біоенергетикою, доповненими технологіями накопичення електроенергії для балансування системи [1].

Зростання потужностей сонячних електростанцій (СЕС) створює нові технічні виклики, зокрема запиленість фотоелектричних модулів, що особливо актуально для промислових регіонів України, таких як Кривий Ріг. Запилення знижує ефективність панелей, спричиняючи втрати генерації та додаткові експлуатаційні витрати. Тому важливо оцінити вплив запиленості на виробіток електроенергії та розробити ефективні методи очищення та підтримки СЕС у регіонах із високим рівнем пилового забруднення. Кривий Ріг відомий своїми гірничо-металургійними підприємствами і великими відкритими кар'єрами, де буровибухові роботи піднімають у повітря значну кількість пилу. За даними досліджень як в Україні, так і за кордоном, концентрації твердих часток PM_{10} у таких містах регулярно перевищують норми: зокрема, у Кривому Розі граничні рівні PM_{10} були перевищені понад 200 разів [2]. У промислових регіонах з високим рівнем забруднення повітря, до якого відноситься Криворізький регіон, на панелі буде осідати пил, що може суттєво знижувати генерацію електроенергії СЕС.

Промислові зони з активним видобутком корисних копалин, металургією, цементними заводами тощо характеризуються високою запиленістю, яка може бути навіть більш критичною для СЕС, ніж природний пухлястий пил. Розглянемо особливості експлуатації сонячних станцій в таких умовах та наявні дані. Польові вимірювання і лабораторні експерименти, наближені до промислових умов, демонструють суттєві втрати продуктивності сонячних модулів. Зведемо кілька прикладів у таблицю:

Таблиця 1

Приклади втрат потужності СЕС при запиленості фотоелектричних модулів

Локація / Дослідження	Умови та тип пилу			Втрати вихідної потужності СЕС
Ісламабад, Пакистан	6 тижнів	без	чистки;	-15,1% (зниження ККД модуля)
Бахавалпур, Пакистан	міський/пустельний пил	~6,4	г/м ²	-25,4% (зниження вихідної потужності)
	6 тижнів без чистки; пустельний пил	~10,3	г/м ²	

Близький Схід, пустельні райони	Кілька тижнів без очищення; пустельний пил, бурі	-20%...-70% (діапазон зафіксованих втрат)
США, різні штати	Різні кліматичні зони; змішаний пил, часті дощі місцями	~2,8% потужності на кожен 1 г/м ² пилу
Кривий Ріг, Україна	Промисловий пил (рудний, металургійний); постійне забруднення повітря, РМ ₁₀ понад норму >200 днів/рік	Аналогічні регіони вказують на потенційні втрати ~20–30% без очищення; необхідна часта чистка панелей

Таким чином можна зробити висновок що запилення фотоелектричних модулів призводить до зниження їх прозорості та ефективності поглинання світла. Це прямо зменшує генерацію електричної енергії СЕС через пил можуть сягати значних величин. Фактор відсутності дощу протягом кількох тижнів може зменшити виробку ЕЕ на ~15%, а в особливо запорошених регіонах річні втрати енергії від забруднення становлять 7–50%. Традиційне рішення таке як періодичне очищення панелей буде пов'язане з додатковими витратами та простоєм СЕС. Отже, виникає потреба в технологічному рішенні, яке мінімізує вплив запиленості на роботу СЕС між циклами очищення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кириленко, О., Басок, Б., Базєєв, С., & Блінов, І. (2020). Енергетика України та реалії глобального потепління. Технічна електродинаміка, (3), 052.
<https://doi.org/10.15407/techned2020.03.052>
2. <https://www.undp.org/ukraine/blog/air-webreath#:~:text=highest%20concentration%20of%20PM,from%20the%20source%20of%20origin>

УДК 621

П.В. Розен, аспірант

Інституту загальної енергетики НАН України

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

Вперше, термін «моніторинг» з'явився перед проведенням Стокгольмської конференції ООН по навколишньому середовищу (Стокгольм, 1972 р.). Термін «моніторинг» став загальною прийнятим як в науці, так і в суспільних науках. З того часу термін «моніторинг» постійно розвивається і доповнюється в різних сферах діяльності. Термін «моніторинг» не має точного однозначного тлумачення, так як вивчається і використовується в різних сферах науково-практичній діяльності.

Основні області, що проявляють до «моніторинга» як способу наукового дослідження – екологія, біологія, педагогіка, економіка, психологія, теорія управління, енергетика.

Порівняльний аналіз видів моніторингу включає в себе різні види моніторингу: глобальний, навіколишнього середовища, технічний, якості харчових продуктів, лісовий, санітарний, педагогічний, соціальний, СМІ, суспільної думки населення.

В енергетиці використовується термін енергетичний моніторинг, який враховує такі функції управління як спостереження, контроль, аналіз, прогнозування. Терміном енергетичний моніторинг називається функція управління енергоефективністю, що базується на виконанні норм, правил та режимів енерговикористання, виконання запланованих проектів та дій, установлених значень енергетичних показників.

Міжнародний стандарт ДСТУ ISO 50001:2020 дає наступне визначення моніторингу: Моніторинг (monitoring) це визначення стану системи, процесу або діяльності

Примітка 1. Для визначення стану потрібно перевіряти, наглядати або критично спостерігати.

Примітка 2. В системі енергетичного менеджменту моніторинг є аналізом енергетичних даних.

Мета системи моніторингу споживання ПЕР – це оцінка ефективності використання фінансових ресурсів, а також оцінювання можливостей зменшення витрат енергетичних ресурсів.

Система моніторингу дозволяє відслідковувати потенціал енергозбереження в кожному звітному періоді, шляхом вибору, реалізації енергозберігаючих проектів враховуючи при цьому виділені фінансові ресурси.

УДК 621

Ю. МОНАСТИРСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., І. ГІРІН, ст. викладач,
Криворізький національний університет

НАПРЯМКИ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ НА КАР'ЄРАХ КРИВБАСУ ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ ТРОЛЕЙВОЗІВ

У сучасних умовах зростання вартості та дефіциту паливно-енергетичних ресурсів особливу актуальність набуває оцінка енергетичної ефективності промислових технологій. Енергоспоживання автомобільного транспорту у кар'єрах визначають поздовжній ухил автодорог, швидкість руху самоскидів та потужність двигуна, які у свою чергу впливають на загазованість кар'єрів, визначають розвиток фронту робіт, що в кінцевому рахунку впливає на рознесення бортів та можливу глибину кар'єрів. Для скорочення енергоспоживання можуть бути використані різні варіанти: - вдосконалення техніки та технології відкритих гірських робіт спрямоване на економне витрачання дизельного палива; - заміна нафтового палива іншими видами мінерального чистішого та дешевшого пального, наприклад природного газу або водню; - переведення автотранспорту на споживання поповнюваних видів палива, тобто на електроенергію. Електроенергія в останньому випадку отримується з виділеної підстанції та передається через підвісну контактну мережу безпосередньо на двигун кар'єрного самоскида. При видобуванні корисних копалин до підвісної контактної мережі ставляться вимоги, аналогічні щодо тягових приводів на легкій залізничній інфраструктурі: механічна стабільність, надійність в експлуатації та низькі експлуатаційні витрати. Інфраструктура тролейвозного комплексу включає систему контактних мереж, тягові підстанції, щогли ліній високої напруги, освітлення системи провисання і струмприймач кар'єрного самоскида. Техніка безпеки при експлуатації та обслуговуванні електрифікованого колісного кар'єрного автотранспорту та залізничного кар'єрного автотранспорту аналогічна. Застосовувані нині системи управління трансмісією великовантажних кар'єрних самоскидів дозволяють легко адаптуватися під умови роботи з контактною мережею, забезпечуючи плавний розгін та роботу на оптимальних режимах. Слід також зазначити, що в теперішній час багатьма світовими компаніями ведуться роботи зі створення та удосконалення повністю електричного кар'єрного автосамоскида, в якості приклада якого можливо навести Komatsu HD 605-7. Дослідження показують, що для ефективної та економічно вигідної експлуатації дизель-тролейвозів та акумуляторних тролейвозів на кар'єрах Кривбасу необхідне виконання наступних умов: - наявність сталого електропостачання; - стаціонарна ділянка траси з рівним покриттям, яка обладнана контактною мережею та становитиме не менш 40% загальної довжини транспортування; - віддалення контактних ліній від місць проведення вибухів на 300-600 м; - відстань транспортування гірничої маси 3-30 км; - ділянки без тролейного руху мають бути мінімальними і визначатися необхідністю вільного маневрування, навантаження у вибої та розвантаження на відвалі. Дизель-тролейвоз, акумуляторний тролейвоз та акумуляторний автосамоскид мають наступні переваги: - значно вища енергоефективність (близько 90%); - постійний крутний момент (включаючи високий крутний момент на малих швидкостях); - майже дворазове збільшення швидкості руху на керівному ухилі; - збільшення тривалості роботи дизельного двигуна між моментами обслуговування; - підвищення доступності обслуговування та збільшення життєвого циклу дизельного двигуна; - низький рівень шуму та вібрації; - виключення або зменшення дизельного вихлопу і відтак відсутність загазованості кар'єру та утворення туману, отже відбувається значне покращення екологічної ситуації; - виключення витрат на закупівлю, зберігання та транспортування дизельного палива чи їх зменшення на 70-80%; - зменшення витрат на шини через меншу власну масу тролейвозу, особливо у випадках, коли тролейвози використовуються практично на горизонтальній дорозі; - несприйнятливість електродвигуна до морозів, що особливо вигідно відрізняє його взимку від дизеля (сильні мінусові температури негативно впливають в основному на акумулятори); - збільшення виробничої потужності гірничого підприємства та зменшення кількості машин за рахунок вищої швидкості самоскидів, (ефективніше використання автопарку); - значно вищий ККД електродвигуна порівняно з дизельним - зменшення маси самоскида на 10-15% та його вартості за збереження тієї ж вантажопідйомності. Цю техніку краще експлуатувати на довгострокових розробках, тому що утримання контактних ліній потребує обслуговування та догляду. Термін окупності витрат може становити 1-2 роки. Дані можливості відкривають у майбутньому хороші перспективи розвитку та експлуатації дизель-тролейвозів, акумуляторних тролейвозів та акумуляторних автосамоскидів на гірничодобувних підприємствах.

УДК 621.382.323

В. ЛЕВЧЕНКО, аспірант, В. БАРАНОВСЬКИЙ, ст. викладач,
Криворізький національний університет**ПОСТІЙНЕ УДОСКОНАЛЕННЯ IGBT І ПОГЛИБЛЕНИЙ АНАЛІЗ КЛЮЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ**

Завдяки таким перевагам, як велика швидкість нагріву, відсутність відкритого вогню, висока вихідна потужність, висока ефективність перетворення електричної енергії в теплову та низькі витрати на функціонування, індукційне нагрівання широко використовується на ринку побутової техніки. Водночас виробникам та кінцевим користувачам потрібна більша точність роботи цих систем. Тому важливо розробити потужну, високонадійну та високо інтегровану систему індукційного нагріву. Візьмомо, наприклад, кухонну плиту з індукційним нагрівом: змінний струм проходить через котушку, створюючи змінне магнітне поле. У металевому посуді, який поміщений у змінне магнітне поле, виникають вихрові струми, і ефект Джоуля від їх дії змушує метал нагріватися; таким чином плита з індукційним нагрівом продукує тепло [1].

На рисунку 1 показано типову функціональну схему плити з індукційним нагрівом.

Основним джерелом енергії є змінний струм, що генерується одноканальним інвертором, до складу якого входять металевий посуд, конденсатор та IGBT [3]. Основним компонентом цього інвертора є IGBT. Модуль RC-IGBT особливо добре підходить для застосувань з індукційним нагріванням, оскільки він поєднує чудову продуктивність IGBT з надійністю антипаралельного діода.

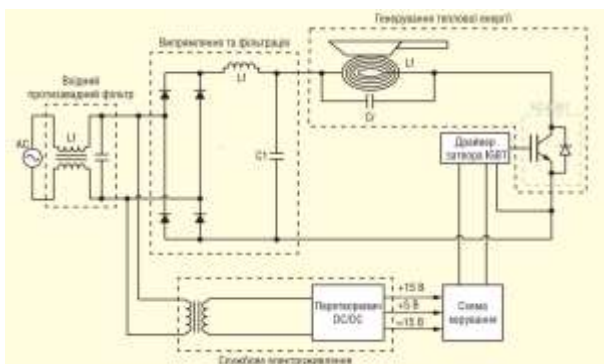
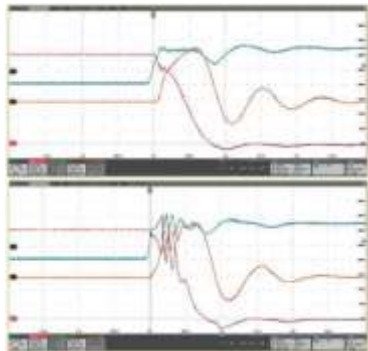


Рис.1 – Типова функціональна схема кухонної плити з індукційним нагрівом



Рис.2 – Тестування на ріст температури корпусу модулів

Для прикладу візьмомо нові модулі RC-IGBT виробництва компанії WeEn — WG30R135W1 і WG30R140W1. Модуль WG30R135W1 розрахований на 1350 В, тоді як модуль WG30R140W1 — на 1400 В. Обидва модулі мають однаковий номінальний струм 30 А і однаковий корпус TO247. Ці модулі забезпечують замовникам більшу гнучкість у проектуванні та дозволяють вирішувати складні і трудомісткі задачі використання кухонних плит з індукційним нагрівом, тим самим допомагаючи виробникам у процесах проектування та застосування [2].



високих імпульсних струмів.

Рис.3 – Сигнали перемикання у модулях WeEn RC-IGBT (зверху) і у модулі-конкуренті (знизу)

Така ситуація вимагає, щоб IGBT успішно вмикався за умов високої напруги та великого імпульсного струму, гарантуючи, що форма сигналу залишається без спотворень та вільною від паразитних коливань. На діаграмах на рисунку 3 показано форми сигналів перемикання модулів WeEn RC-IGBT у порівнянні з модулем-конкурентом. Із порівняння кривих видно, що модулі WeEn RC-IGBT мають стабільні й плавні форми сигналу перемикання в умовах високої напруги та великого імпульсного струму, забезпечуючи більшу надійність [5].

На діаграмах на рисунку 4 показано результати випробувань, проведених у лабораторії для типових умов застосування; з графіків випливає, що модулі WeEn RC-IGBT мають високу стійкість до напруги пробою та вищу надійність.

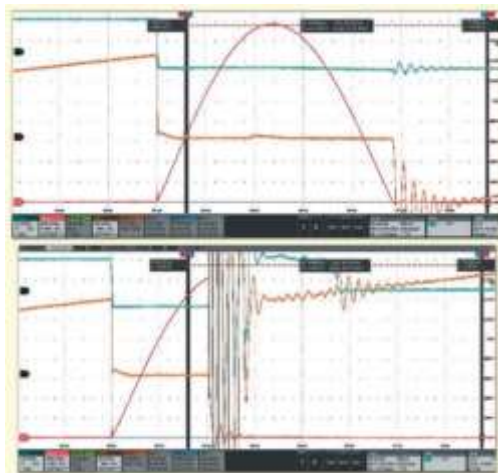


Рис.4 – Осцилограми напруг для модулів WeEn RC-IGBT (зверху) і модулів одного з конкурентів (знизу)

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. B. J. Baliga, The IGBT Device: Physics, Design, and Applications of the Insulated Gate Bipolar Transistor, Elsevier, Amsterdam, 2023.
2. A. Ahmedi, Advanced Wind Turbine Operational Modelling for Evaluating and Improving Power Electronics Reliability, 2022.
3. Z. Khatir, R. Lallemand, A. Ibrahim, and D. Ingrosso, "Thermal stress analysis comparison in IGBT power modules between DC and switching power cycling," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 38, no. 9, pp. 11500–11506, Sep. 2023.
4. K. Kimura et al., "Development of new IGBT to reduce electrical power losses and size of power control unit for hybrid vehicles," SAE International Journal of Alternative Powertrains, vol. 6, no. 2, pp. 303–308, Mar. 2017.
5. L. He, X. Hu, L. Zhang, T. Xing, and Z. Jin, "Performance evaluation and optimization of series flow channel water-cooled plate for IGBT modules," Energies, vol. 16, no. 13, p. 5205, Jul. 2023.

УДК 621.333.41

О.О. КУХТА, аспірант

Криворізький національний університет

ІНТЕГРОВАНІ СТРАТЕГІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО КЕРУВАННЯ РУХОМ У СИСТЕМАХ МІСЬКОГО РЕЙКОВОГО ТРАНСПОРТУ

У контексті стрімкої урбанізації та зростання навантаження на міську інфраструктуру, підвищення енергоефективності рейкового транспорту стає надзвичайно актуальним завданням. Сучасні мегаполіси все більше покладаються на метрополітен та швидкі трамвайні лінії як на основний засіб масових перевезень, здатний забезпечити безпечний і надійний рух сотень тисяч пасажирів щоденно. Проте значна частина електричної енергії, витраченої на рух поїздів, втрачається внаслідок нерациональних режимів прискорення, гальмування та простою обладнання. З огляду на стрімке зростання вартості енергоносіїв і суворі екологічні норми, розробка інтегрованих підходів до оптимізації руху поїздів набуває не лише наукової, а й соціально-економічної значущості.

Аналіз енергоспоживання поїзда показує, що близько 80 % усієї енергії споживається тяговими приводами, тоді як решта 20 % йде на допоміжні системи — кондиціонування повітря, освітлення, привід дверей тощо. Водночас до 33,6 % тягової енергії може бути повернуто в мережу за рахунок рекуперативного гальмування, яке перетворює кінетичну енергію поїзда на електричну й надсилає її назад у контактну мережу або накопичує в бортових чи наземних накопичувачах. Ефективне використання цієї рекуперованої енергії здатне суттєво знизити чисте споживання, що робить подальші дослідження в цій сфері вкрай перспективними.

Одним із ключових напрямів є оптимізація розкладу руху, суть якої полягає в синхронізації фаз прискорення та гальмування сусідніх поїздів на одній електропостачальній ділянці. Розробка математичної моделі передбачає підбір часу прибуття й відправлення кожного поїзда так, щоб максимізувати площу перекриття «споживчих» та «генеративних» профілів потужності.

Паралельно розвивається напрям енергоефективного керування профілем швидкості, у межах якого для заданого часу руху та відстані між станціями визначають оптимальний режим розгону, руху за інерцією та гальмування. Аналітичні рішення, ґрунтовані на принципі максимуму. Існуючі дослідження доводять існування унікального оптимального профілю, тоді як чисельні методи мурашині системи, динамічне програмування — дозволяють врахувати реальні обмеження: змінний градієнт колії, ліміти швидкості, можливості накопичувачів енергії. У сукупності такі алгоритми можуть продемонструють економію до 7–9 % тягової енергії в порівнянні з традиційними стратегіями руху.

Найбільш перспективним напрямом є інтегрований підхід, який поєднує оптимізацію розкладу та профілів руху в єдину модель. У рамках таких досліджень цільова функція одночасно мінімізує чисте енергоспоживання (різницю між витратами на прискорення й обсягом рекуперованої енергії) та підтримує допустимі часові інтервали руху. У прикладі Beijing Metro Yizhuang Line інтегровані алгоритми забезпечили зниження загального енергоспоживання на понад 20 % порівняно з окремими підходами, що свідчить про суттєву синергію між розкладом і профілем руху.

Попри значний прогрес, перед дослідниками постають нові виклики. Необхідно точніше моделювати електричну мережу рейкового електротранспорту, враховуючи втрати в підстанціях, опір контактної мережі та змінну масу поїзда через пасажиропотік. Хаотичні затримки на платформах і в мережі вимагають розробки адаптивних онлайн алгоритмів, здатних реагувати на реальні операційні умови. Лише за умови успішного подолання цих складнощів інтегрована оптимізація руху може стати невід'ємною складовою стратегії сталого розвитку сучасних мегаполісів, забезпечуючи економію ресурсів, підвищення надійності та зниження екологічного навантаження.

УДК 621.333.41

О.О. КУХТА, аспірант

Криворізький національний університет

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ МІСЬКОГО РЕЙКОВОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ:
ВИКЛИКИ, ІННОВАЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ**

Сучасні урбаністичні трансформації супроводжуються стрімким зростанням попиту на екологічно чистий, надійний та енергоефективний міський транспорт. Рейковий електротранспорт — трамвай, метрополітен — відіграє ключову роль у формуванні сталого міського середовища. Проте, попри очевидні переваги перед автомобілями, енергоспоживання міських рейкових систем залишається мало енергоефективної, і потребує інтеграції новітніх рішень.

Одним з таких рішень є рекуперація енергії гальмування. У рейковому електротранспорті енергія, яка розсіюється у вигляді тепла, може перетворюється на електричну завдяки регенеративному гальмуванню. Технології на кшталт KERS демонструють можливість досягнення енергозбереження до 20% із мінімальним приростом маси транспортного засобу.

У контексті підвищення енергоефективності залізничного транспорту дедалі більшого поширення набувають двонаправлені тягові підстанції, здатні не лише забезпечувати живленням рухомий склад постійного струму, а й повертати надлишкову гальмівну енергію назад до мережі змінного струму. Це забезпечує не лише зниження експлуатаційних витрат, а й сприяє екологічній модернізації транспортної інфраструктури.

Одним із найпростіших технічних рішень є архітектура «діодний випрямляч + тиристорний інвертор» (TCI), де останній вмикається антипаралельно до наявного випрямляча та трансформатора. Така схема дає змогу рекуперувати енергію у мережу середньої напруги, не потребуючи значної перебудови існуючого обладнання.

У свою чергу, система Enviline ERS реалізує рекуперацію за допомогою інвертора на IGBT-транзисторах, що формує синусоїдальний струм з високою якістю (низькі гармоніки) та коефіцієнтом потужності, наближеним до одиниці. Такий підхід дозволяє оптимізувати енергетичний баланс підстанцій без шкоди для стабільності мережі.

Інша ефективна архітектура — реверсивний тиристорний випрямляч (RTCR, Enviline TCR), що складається з двох тиристорних мостів в антипаралельному включенні. Система забезпечує чотириквadrантне перетворення, регулювання DC-напруги та повернення до 50 % гальмівної енергії.

Підвищену ефективність демонструє гібридна схема HESOP, де керований випрямляч доповнюється інвертором на одній шині. Інвертор у такій системі не лише здійснює рекуперацію, а й виконує функцію активного фільтра, покращуючи якість живлення. Прототипи продемонстрували до 99 % ефективності енергоповернення.

Ще більш досконалою є архітектура Advanced HESOP, що реалізується одним чотириквadrантним IGBT-конвертером. Такий підхід дозволяє гнучко змінювати режими роботи (випрямлення ↔ інвертування) й досягати максимального рівня енергозбереження. Встановлення системи у London Underground (600 В/1 МВт) підтвердило понад 99 % повернення енергії у мережу.

У порівняльному аналізі зазначено, що Enviline ERS дозволяє скоротити енергоспоживання до 30 %, Enviline TCR — повертає до 50 % енергії з коротким терміном окупності, тоді як системи типу HESOP демонструють абсолютне рекупераційне лідерство та здатні зменшити загальне споживання енергії до 22 %.

Попри численні переваги — високу енергоефективність, стабільність напруги та якість живлення — двонаправлені підстанції потребують певних інвестицій. Наприклад, для RTCR ці витрати можуть бути на 30 % вищими порівняно зі звичайними системами, а PWM-інвертори мають вищі втрати. Також модернізація трансформаторів передбачає збільшення потужності на 20–30 %.

Таким чином, впровадження двонаправлених тягових підстанцій відкриває перспективи значної енергозбереження в залізничному транспорті, водночас потребуючи грамотного інженерного підходу та економічного планування.

Таким чином, рейковий міський електротранспорт має значний потенціал для енергоефективної трансформації завдяки поєднанню новітніх технологій управління, зберігання та відновлення енергії.

УДК 621.333.41

О.О. КУХТА, аспірант

Криворізький національний університет

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ РУДНИКОВИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ: ШЛЯХ ДО СУЧАСНОЇ ШАХТНОЇ ЛОГІСТИКИ

Сучасні гірничо-металургійні підприємства постають перед новими викликами: зростанням енерговитрат, моральним і технічним зносом обладнання, а також посиленням вимог до екологічної безпеки. У цьому контексті підземний електрифікований рейковий транспорт, зокрема рудникові електровози, стає об'єктом глибокої модернізації. Особливої актуальності тема набуває для промислових підприємств Криворізького басейну — серця залізорудної промисловості України.

Традиційні електровози, що експлуатуються в шахтах, зазвичай використовують двигуни постійного струму з релейно-контакторним або реостатним управлінням. Такий підхід є морально застарілим: він не дозволяє точно регулювати швидкість, не забезпечує достатньої стабільності при малих навантаженнях і суттєво збільшує енергоспоживання. Найбільш характерними проблемами є буксування при розгоні та юз під час гальмування — ці процеси не лише призводять до втрат енергії, а й значно знижують ресурс коліс і рейок.

Інженерне рішення полягає у переході до асинхронного частотно-регульованого електроприводу (ЧРП). Як вбачається з досліджень, реалізація такого підходу дозволяє формувати гнучкі тягові характеристики, зменшити енергоспоживання до 20%, забезпечити керований старт і гальмування, що особливо важливо для підземних маршрутів зі складним профілем.

Ключову роль відіграє моделювання електромеханічної системи рудникового електровозу у середовищі Matlab/Simulink. Необхідно створити багатомасову модель рухомого складу, що враховуватиме складні зчеплення, наявність люфтів у зчіпках, нерівномірність навантаження та різні коефіцієнти зчеплення коліс з рейками — від сухих до забруднених брудом. Саме така модель дозволяє дослідити складні перехідні процеси та розробити алгоритми запобігання буксуванню й юзу.

Не менш важливою є адаптація тягового приводу до умов роботи з обмеженим живленням — як від акумуляторів, так і контактної мережі низької напруги (до 250 В). Серійні промислові інвертори не підходять для таких умов, тому в дослідженні пропонує варіанти спеціальних перетворювачів, включаючи імпульсні трансформатори та мікропроцесорне керування.

Серед відомих досліджень електродвигунів найкращі результати показав частотно-регульований крановий двигун 4МТКМФП225М6, який поєднує хорошу динаміку пуску, жорсткість механічної характеристики та високу перевантажувальну здатність. Така конструкція дозволяє адаптуватися до високих навантажень і несприятливих умов шахтної експлуатації.

Особливу увагу потребує розробка системи керування з векторним регулюванням і можливістю зворотних зв'язків за струмом, моментом і швидкістю. Така система дасть змогу точно реагувати на зміну умов руху, автоматично коригувати режими роботи, знижувати втрати та підвищувати безпеку. Крім того, вона дозволить машиністу працювати в більш комфортному та контрольованому середовищі, що зменшує втому й ризики помилок.

Враховуючи накопичений досвід модернізації магістрального залізничного транспорту, застосування подібних технологій у рудниковому транспорті є логічним кроком. Це дозволить ліквідувати технологічне відставання та забезпечити ефективну роботу навіть в екстремальних умовах гірничої промисловості.

Таким чином, тема підвищення тягових властивостей і енергоефективності рудникових електровозів є не лише технічно обґрунтованою, а й стратегічно важливою для економічного та екологічного майбутнього промислових регіонів України.

УДК 621.333.41

О.ЯЛОВИЙ, аспірант

Криворізький національний університет

ДО ДИСКУСІЇ ПРО ДОЦІЛЬНІСТЬ ЗМІНИ КАНОНІЧНОГО ФОРМАТУ ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТТЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

В останні 5-7 років в ряді періодичних видань зондуються погляди ряду науковців щодо невідповідності каانونічних визначень рівнів електроенергоефективності промислових, в тому числі і гірничовидобувних, підприємств. Креативність такої дискусії визначається науковим вбачанням (професора Сінчука О.М.) членів наукової школи, з нахилом в конкретиці умов сучасних варіантів СЕП в умовах гірничовидобувних підприємств.

Існуючий та опонуваний авторами статті варіант визначення рівня електроенергоефективності формалізується як результат електроенергії котра затрачається на 1т видобутої руди. Причиною перфектності такого визначення стала розробка нових структур систем електропостачання а так званому варіанті мереж з розподіленою генерацією електричної енергії. Тобто варіант централізованого електропостачання від генеруючих електростанцій доповнювався автоматичними джерелами виробництва ЕЕ.

Таких джерел може бути декілька в структурі СЕП в тому числі і в системах внутрішнього електропостачання підприємств – автономних джерел живлення. Ефективність таких варіантів СЕП доведена і визначається ти, при цьому варіанті загальні обсяги споживання ЕЕ підприємством не зменшується, але рівень їх сплати генеруючим організаціям зменшується і значно, оскільки ціна за 1кВт.год. спожитої ЕЕ від автономного генератора в 495 разів дешевше ціни, котру підприємство отримує в разі централізованого постачання від стаціонарних електростанцій.

Тобто зрозуміло, що існуючий варіант оцінювання електроенергоефективності тут не є реально визначальним.

В цьому спрямуванні для визначення усучаснених варіантів оцінювання енергоефективності взагалі та електроенергоефективності зокрема зявляється ряд пропозицій, корті підлягають обговоренню науковим загалом та відповідного оцінювання для прийняття кінцевого варіанту. Автором пропонується для обговорення варіант оцінювання електроенергії як ділення суми матеріальних витрат підприємства за спожиту ЕЕ на загальну ціну собівартості або переробки залізної руди.

УДК 621.333

Д.С МОСКАЛЕНКО, студент гр. ЕЕМ-22ск, І.В. Касаткіна, канд. техн. наук, доцент кафедри електричної інженерії

Криворізький національний університет

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Вітрова енергетика є одним із найбільш перспективних напрямків розвитку альтернативної енергетики в Україні. Завдяки своєму географічному розташуванню та кліматичним умовам, країна має значний потенціал для використання енергії вітру.

На сьогоднішній день Україна поступово збільшує частку вітрової енергетики у загальному енергетичному балансі. Найбільш сприятливі регіони для розвитку вітроенергетики – це південні області (Одеська, Херсонська, Миколаївська) та узбережжя Азовського і Чорного морів. Також перспективними є Карпати та Приазов'я.

Розвиток вітрової енергетики вимагає значних інвестицій у будівництво вітроелектростанцій (ВЕС), вдосконалення мережевої інфраструктури та локалізацію виробництва обладнання. Завдяки технологічному прогресу, ефективність вітроустановок постійно зростає, що робить їх конкурентоспроможними у порівнянні з традиційними джерелами енергії. У західних регіонах країни спостерігається зростання інтересу до будівництва нових ВЕС, зокрема у Львівській та Івано-Франківській областях. Окрім внутрішніх інвестицій, міжнародні організації, такі як Європейський банк реконструкції та розвитку (СБРР), розглядають можливість фінансування відновлення вітроенергетичних проєктів в Україні. Також спостерігається зростання інтересу з боку приватних інвесторів, які розглядають західні регіони як безпечніші для реалізації нових проєктів. Вітрова енергетика є екологічно чистою альтернативою викопному паливу, що сприяє зниженню викидів парникових газів та покращенню екологічної ситуації. Впровадження таких технологій відповідає зобов'язанням України щодо скорочення викидів CO₂ у рамках міжнародних кліматичних угод.

Попри позитивну динаміку, галузь стикається з низкою викликів, серед яких – недостатня законодавча підтримка, нестабільність інвестиційного клімату та необхідність модернізації електромереж. Додатковою проблемою стали військові дії, які загрожують безпеці інфраструктури та знижують привабливість сектору для іноземних інвесторів. Втім, деякі міжнародні компанії, такі як норвезька компанія NBT та французька TotalEnergies, висловили готовність інвестувати у відновлення та розширення ВЕС в Україні після завершення бойових дій. Також уряд розглядає можливість залучення грантів та пільгових кредитів для розвитку відновлюваної енергетики. Крім того, нові тенденції у вітроенергетиці включають розвиток технологій плавучих вітроелектростанцій, які можуть бути встановлені в акваторії Чорного моря, що значно розширить потенціал України у виробництві відновлюваної енергії.

Вітрова енергетика в Україні має значний потенціал і може відігравати важливу роль у формуванні енергетичної незалежності країни. Війна завдала серйозного удару по цій галузі, але одночасно відкрила нові можливості для розвитку у відносно безпечних регіонах. За умови створення сприятливого інвестиційного клімату та розвитку інфраструктури, ця галузь може стати ключовою складовою майбутньої енергетичної системи України, сприяючи як економічному зростанню, так і екологічному відновленню країни.

СПИСОК :ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. <https://uk.wikipedia.org/>
2. <http://energetika.in.ua/>
3. Вітроенергетика Монографія

УДК 621.333

В.А АШМАРІН, студент гр. ЕЕМ-22ск, І.В. КАСАТКІНА, канд. техн. наук, доцент кафедри електричної інженерії

Криворізький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ РЕКУПЕРАЦІЇ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Процес рекуперації відомий досить давно. Він використовується і в залізничному, і в автомобільному транспорті.

Рекуперація припускає можливість часткового повернення використаної енергії (тепла, води, газів) з метою її повторного застосування.

Процес рекуперації в електромобілі — це перетворення кінетичної енергії в електричну з наступним її поверненням в акумуляторний блок, а саме це підзарядка акумулятора та збільшення запасу ходу електрокара просто в русі. Використовуючи педаль для рекуперативного гальмування можна акумулювати частину витраченої енергії та використати її повторно.

При гальмуванні електромобіля його силовий агрегат відключається від акумулятора і переходить в генераторний режим, самостійно виробляючи енергію. У такому режимі в обмотках ротора та статора виникають протилежно спрямовані струми. На валу електромотора з'являється гальмівний момент. Він забезпечує гальмування транспортного засобу, знижуючи швидкість. Одночасно з цим невитрачена кінетична енергія перетворюється на електроенергію і тепло. Електрична енергія надходить в акумулятор, збільшуючи його заряд.

Електродинамічне гальмування широко застосовується на електровозах, електропоїздах, трамваях, тролейбусах, коли під час гальмування електродвигун починає працювати як електрогенератор, а вироблена електроенергія передається через контактну мережу іншим електровозам або в загальну електросистему через тягові підстанції.

Аналогічний принцип використовується на електробусах, електромобілях, гібридних автомобілях, де електроенергія, яка виробляється під час гальмування, повертається назад до акумуляторів і зумовлює їх заряджання.

Широко використовується такий метод на залізничному транспорті. Електродинамічне гальмування з рекуперацією на залізничному транспорті називається процес перетворення кінетичної енергії руху поїзда в електричну енергію тяговими електродвигунами (ТЕД), які працюють у режимі генератора. Вироблена електрична енергія повертається в контактну мережу (на відміну від реостатного гальмування, під час якого вироблена електрична енергія гаситься на гальмівних резисторах, тобто перетворюється в тепло й розсіюється системою охолодження).

Електродинамічне гальмування використовують для зменшення швидкості поїзда або утримання сталої швидкості на схилах, де застосування пневматичних гальм є недоцільним, хоча на практиці в різних країнах та в Україні така практика не застосовується. Цей вид гальмування дає можливість значно заощадити електроенергію, оскільки вироблена електрична енергія повертається через контактну мережу й може бути використана іншими локомотивами на даній ділянці контактної мережі.

СПИСОК :ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. https://uk.wikipedia.org/wiki/Пекуперативне_гальмування
2. <https://ncars.com.ua/media/rekuperativne-galmuvannia/>

УДК 622.684:629.353:621.333.4

А.А. ЗАЯЦЬ, студент гр. ЕЕМ-22ск, І.В. КАСАТКІНА, канд. техн. наук, доцент кафедри електричної інженерії
Криворізький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ І РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.

Сучасний світ неможливий без мехатроніки — симбіозу механіки, електроніки, комп'ютерних технологій та автоматизації. Однак саме інновації в системах керування роблять ці системи "розумними", адаптивними та здатними до самонавчання. Найважливішим проривом останніх років стало інтегрування штучного інтелекту (ШІ) в мехатронні контролери. Таким чином, алгоритми машинного навчання перетворюють традиційні системи керування на автономні комплекси, здатні приймати рішення в реальному часі.

Класичні мехатронні системи базуються на ПІД-регуляторах (пропорційно-інтегрально-диференційних), які керуються жорсткими алгоритмами. Їхня слабкість — нездатність адаптуватися до непередбачуваних змін середовища або параметрів системи. На противагу цьому, ШІ додає контролерам "нейропластичність". Наприклад, глибокі нейронні мережі (DNN) дозволяють системам аналізувати величезні масиви даних з сенсорів, виявляти шаблони та прогнозувати стани. У промисловості це реалізується через предиктивне обслуговування: робот-маніпулятор із вбудованим ШІ може виявляти знос шестерень за вібрацією або температурою, уникаючи простоїв. Алгоритми зміцненого навчання (reinforcement learning) дають змогу системам експериментувати, знаходячи оптимальні стратегії керування без людського втручання.

Приклади інтеграції ШІ. Автономні транспортні засоби: Мехатронні системи безпілотників використовують комбінацію комп'ютерного зору та нейромереж для розпізнавання перешкод, планування маршруту та корекції руху в умовах обмеженої видимості.

Медицина робототехніка: Хірургічні роботи Da Vinci здатні адаптуватися до індивідуальних анатомічних особливостей пацієнта завдяки алгоритмам глибокого навчання, зменшуючи ризик помилок.

"Розумні" електромережі: Гібридні системи керування енергоспоживанням аналізують дані з мільйонів датчиків, балансуючи навантаження в режимі реального часу.

Реалізація складних моделей ШІ на мікроконтролерах вимагає оптимізації алгоритмів (наприклад, використання квантування нейромереж для зменшення їх розміру). Системи, що навчаються в реальному часі, уразливі до кібератак — злам алгоритму може призвести до катастрофічних помилок.

Етика автономності: Хто несе відповідальність, якщо ШІ-контролер у промисловому роботі прийме фатальне рішення? Це питання вимагає міждисциплінарного діалогу між інженерами, юристами та філософами. Майбутнє: від edge computing до біоміметики

Наступний крок — децентралізовані системи керування, де ШІ функціонує на рівні окремих компонентів (edge devices), а не центрального сервера. Це зменшить затримки та підвищить надійність. Також досліджується біоміметичний підхід: алгоритми, що імітують роботу людського мозку (наприклад, спайкові нейромережі), можуть забезпечити безпрецедентну енергоефективність.

Висновок: інтеграція штучного інтелекту в мехатронні системи керування — це не просто технічний апгрейд. Це революція, яка стирає межі між фізичними пристроями та "розумом". Від промисловості до побутових приладів, ШІ робить мехатроніку не просто автоматизованою, а справді розумною. Однак, як і будь-яка революція, вона вимагає відповідального впровадження — адже майбутнє, де системи керування життєво важливими процесами повністю автономні, вже на порозі.

СПИСОК :ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. "Machine Learning in Control Systems: From Theory to Practice" (2022)
2. "Deep Reinforcement Learning for Robotic Manipulation" (2023)
3. "Artificial Intelligence for Robotics" (2018)

УДК 621.333

В.А. АНТОНОВ, студент гр. СЕП-24м, І.В. КАСАТКІНА, канд. техн. наук, доцент кафедри електричної інженерії
Криворізький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ І РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Сучасні енергосистеми стикаються зі значними витратами, пов'язаними з передачею електроенергії. Однією з ключових проблем є втрати електроенергії через реактивну потужність, яка знижує ККД мережі та збільшує експлуатаційні витрати. Реактивна потужність не виконує корисної роботи, але створює додаткове навантаження на лінії електропередач, трансформатори та генератори.

Оптимізація роботи енергосистем шляхом компенсації реактивної потужності дозволяє знизити втрати, підвищити стабільність мережі та зменшити витрати на передачу електроенергії. Це особливо актуально в умовах зростання енергоспоживання та необхідності екологічно раціонального використання ресурсів.

Реактивна потужність (Q) виникає в мережах змінного струму через зсув фаз між напругою та струмом, спричинений індуктивними або ємнісними навантаженнями (двигуни, трансформатори, лінії електропередач). На відміну від активної потужності (P), яка виконує корисну роботу, реактивна потужність циркулює в системі, не трансформуючись у корисну енергію.

Негативні наслідки реактивної потужності:

Збільшення навантаження на лінії – струми, пов'язані з реактивною потужністю, додатково навантажують кабелі та трансформатори.

Додаткові втрати енергії – нагрів провідників через протікання реактивних струмів знижує ефективність системи.

Падіння напруги – реактивна складова спричиняє зниження напруги в мережі, що може порушувати роботу споживачів.

Для зменшення негативного впливу реактивної потужності використовуються різні методи компенсації:

Статичні компенсатори (SVC, STATCOM). Ці пристрої на основі тиристорів або силових напівпровідників швидко регулюють реактивну потужність, підтримуючи стабільність напруги. Вони особливо ефективні в промислових мережах з коливним навантаженням.

Конденсаторні батареї це найпростіший та найдешевший спосіб компенсації. Конденсатори генерують реактивну потужність, компенсуючи індуктивну складову. Однак вони підходять лише для стабільних навантажень і потребують ручного або автоматичного перемикання.

Синхронні компенсатори можуть як генерувати, так і споживати реактивну потужність. Вони застосовуються у високовольтних мережах для підтримки напруги та стабілізації роботи системи. Впровадження заходів з компенсації реактивної потужності дає такі переваги:

Зниження втрат електроенергії на 10–30% – за рахунок зменшення реактивних струмів. Підвищення пропускної здатності мережі – лінії електропередач можуть передавати більше активної потужності.

Поліпшення якості електроенергії – стабілізація напруги, зменшення спотворень.

Компенсація реактивної потужності є ключовим елементом підвищення ефективності енергосистем. Інтеграція сучасних технологій дозволяє досягти значних економічних переваг, знизити втрати енергії та підвищити надійність електропостачання. В умовах енергетичної кризи та екологічних викликів оптимізація реактивної потужності стає необхідним кроком до сталого розвитку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Кириленко О. В., Петров С. М. Методи компенсації реактивної потужності в електричних мережах. – К.: Наукова думка, 2019. – 215 с.
2. Коваленко І. П. Реактивна потужність: проблеми та шляхи їх вирішення // Енергетика і електрифікація. – 2020. – № 4. – С. 45–52.

УДК 621.233

О.В. КОГАН, студент гр. ЕПА-24м, І.В. КАСАТКІНА, канд. техн. наук, доцент кафедри електричної інженерії
Криворізький національний університет

БЕЗДРОТОВА ПЕРЕДАЧА ЕНЕРГІЇ

Бездротова передача енергії— спосіб передачі електричної енергії без використання струмопровідних елементів в електричному колі.

Основні методи такої передачі:

- Індуктивна передача – використовується в бездротових зарядках для смартфонів, електромобілів. Базується на явищі електромагнітної індукції між двома котушками.

- Резонансна передача – підвищує ефективність індуктивного методу, працюючи на однакових резонансних частотах.

- Електромагнітна хвильова передача – використовує мікрохвилі або лазер для передачі енергії на великі відстані, наприклад, у космічних проектах.

Бездротова передача енергії застосовується у мобільних пристроях, медичних імплантах, транспорті та навіть у перспективних космічних системах енергопостачання. Технологія активно розвивається, збільшуючи ефективність і дальність передачі.

Зараз є проблема для передавання електроенергії у великих масштабах і на великі відстані, оскільки система бездротової передачі енергії — це не нове питання. Системи передавання електроенергії вже використовують технологію бездротової передачі енергії або відмінну від прямого електричного з'єднання.

Існує багато проектів, і багато людей намагаються пояснити успіх бездротової передачі електроенергії, але насправді передача значної кількості енергії все ще неможлива.

Отже, можна сказати, що бездротова передача енергії можлива, але її ефективність різко знижується зі збільшенням відстані.

Основні обмеження бездротової передачі електроенергії без проводів:

Якщо ми хочемо передавати велику кількість електроенергії, пластили або котушки передавача і приймача повинні бути досить великими для передавання та приймання такої високої потужності. На практиці це буде складно сконструювати.

Зараз частота електромережі становить 50 або 60 Гц, але для бездротової передачі енергії потрібна набагато вища робоча частота – від кількох кГц до МГц. Звичайні та високочастотні схеми й пристрої складні у проектуванні та дорогі у виготовленні.

Дальність бездротової передачі енергії є дуже обмеженою. Коли передавач і приймач розташовані дуже близько один до одного – на кілька мікронів – ефективність становить приблизно 90–95%. Але зі збільшенням відстані ефективність експоненціально знижується.

Під час роботи на високих частотах і потужностях виникають проблеми з перегрівом. Необхідна належна теплоізоляція та радіатори для відведення тепла, що може збільшити витрати. Проте через несприятливий інвестиційний клімат та неефективне управління цей проєкт не знаходить фінансування та залишається на рівні лабораторного прототипу. Прототип досі доступний для демонстрації в Національному авіаційному університеті.

Українська компанія «Meredot» отримала грант в рамках програми Horizon 2020 на розвиток свого рішення бездротової передачі енергії Компанія «Meredot» розробляє технологію передачі електроенергії потужністю до 7 кВт на відстань 30 см «в повітрі» з такою ж ефективністю, як і дровоті рішення.

СПИСОК :ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. <https://www.wazipoint.com/2016/10/wireless-electrical-energy-transmission.html> ;
2. <https://www.meredot.com/about> ;
3. <https://www.nemko.com/blog/wireless-power-transfer> ;
4. https://www.rohde-schwarz.com/nl/solutions/wireless-communications-testing/wireless-standards/wireless-power-transfer/wireless-power-transfer_257906.html

УДК 621.83

Д. КАЛЬМУС, ст. викладач, А. ОМЕЛЬЧЕНКО, здобувач, С. ГОРБЕНКО, здобувач
Криворізький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ НАМОТУВАЛЬНОГО АПАРАТУ ПРОКАТНОГО СТАНУ

Технологічна лінія прокатного виробництва містить у своєму складі декілька груп, пов'язаних між собою електромеханічних систем. Це складний конструкторсько-технологічний комплекс, який потребує автоматизації виробничих процесів з врахуванням особливостей усіх механізмів та дотриманням вимог до об'єктів керування. Кінематична схема прокатної секції наведена на рис. 1.

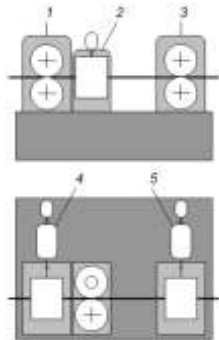


Рис.1 – Кінематична схема прокатної секції: 1,3 – привідні кліті; 2 – непривідна кліть; 4,5 – електричні двигуни

Для підвищення ефективності прокату металу використовують безперервну прокатну секцію, що складається з трьох клітей. Така конструкторська розробка дозволяє суттєво знизити експлуатаційні витрати та за рахунок можливості використання у осередку деформації резерву сил тертя підвищити коефіцієнт корисної дії. До переваг подібної структури можна додати й зручність обслуговування обладнання.

Момент прокатки можна визначити за виразом:

$$M_n = 135 \frac{G \cdot D \cdot \omega}{L},$$

де: G – вага заготовки, D – діаметр валка, ω – питомі втрати енергії, L – довжина після прокату.

Загальний момент має враховувати момент холостого ходу $M_{х.х.}$:

$$M = M_n + M_{х.х.}.$$

Тоді, середньоквадратичний момент можна визначити:

$$M_{ск} = \sqrt{\frac{M^2 t + M_{х.х.}^2 t_{х.х.}}{t_{ц}}},$$

де: t – час прокату, $t_{х.х.}$ – час холостого ходу, $t_{ц}$ – час циклу.

Підвищити продуктивність процесу прокату виконується за рахунок реалізації процесу безперервного зняття дроту. Безперервність цього процесу забезпечується завдяки використанню намотувального апарату з двома котушками. Паралельне розташування вертикально розміщених котушок дозволяє здійснювати автоматичне перекидання дроту при заповненні однієї котушки на іншу, порожню.

Особливостями автоматизації електроприводу намотувального апарату є необхідність враховувати силовий взаємозв'язок між складовими об'єкту керування. Розв'язок такої системи необхідно виконувати із застосуванням переданих функцій за розрахунковими алгоритмами. Важливим при цьому є не тільки можливість виконання системою електроприводу технологічного завдання, але й забезпечення безаварійності процесу прокату. Критерієм оптимальності управління при цьому має виступати енергоефективність роботи електроприводу, для чого формується раціональний закон щодо зміни сили натягу дроту при намотуванні.

УДК 536.5:621.317.7

А. ВИШНИЧЕНКО, студент гр. ЕЕМ-24, В. БАРАНОВСЬКИЙ, д-р філософії, старший викладач кафедри електричної інженерії
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕРМОРЕЗИСТОРА ТА ТЕРМОПАРИ

Терморезистор та термопара відомі ще з 19 століття. Тоді був створений перший терморезистор Майклом Фарадеем, який виявив напівпровідникову поведінку сульфиду срібла. Однак їх промислове виробництво розпочалося лише після 1930 року. Термопара використовується в устаткуванні для вимірювання температури, а також для прямого перетворення енергії тепла в електричну енергію у тих випадках, коли доцільно уникнути рухомих деталей. Термістори часто вибирають для застосувань, де важливі міцність, надійність і стабільність [1-6]. Вони добре підходять для використання в середовищах з екстремальними умовами або там, де присутній електронний шум [1].

Метою роботи стало дослідження властивостей терморезисторів і термопар, їх конструкції та характеристик, включаючи діапазон робочих температур, чутливість та точність вимірювання.

На рис. 1 показано схему установки для проведення вимірювань з допомогою термопари. Резистор підключали до центральної та однієї з крайніх клем. Мультиметр підключили в електричне коло таким чином, щоб можна було вимірювати опір змінного резистора та напругу на ньому.



Рис. 1 - Схема установки для проведення вимірювань з допомогою термопари



Рис. 2 - Схема установки для вивчення роботи терморезистора



Рис. 3 - Схема установки для дослідження охолодження води з допомогою терморезисторів



Рис. 4 - Схема установки для дослідження охолодження циліндрів за допомогою терморезистора

Виміряли опір та напругу, силу струму та напругу обчислювали за формулами:

$$I = U/R; \quad (1)$$

$$P = IU. \quad (2)$$

$$U = U_0 - I r. \quad (3)$$

За цими даними побудували вольт-амперну характеристику $U=f(I)$ (рис. 5), та залежність $P=f(R)$ (рис. 6). Залежність $U=f(I)$ практично лінійна.

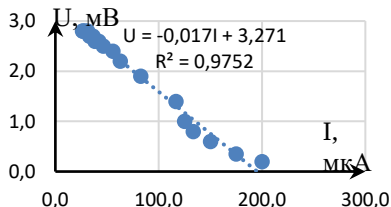


Рис. 5 - Залежність $U=f(I)$

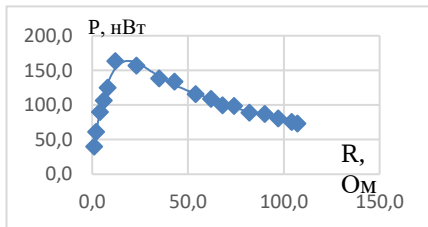


Рис. 6 - Залежність $P=f(R)$

$$r = 17 \text{ Ом}$$

На рис. 2 наведена установка для градування терморезистора, яка складається з мультиметра, ємності з окропом, з'єднувальних дрітів, терморезистора номінальним опором 22

Ом. Вимірювання температури проводилися термометром, при цьому вимірювався опір терморезистора. Побудували графік залежності $R=f(t)$ (рис. 7) та логарифмічну залежність $\ln R=f(1/T)$ (рис. 8)

$$1/R = 1/R_0 \cdot e^{(\Delta E/2kT)}; \quad (4)$$

$$R = R_0 \cdot e^{(\Delta E/2kT)}; \quad (5)$$

$$\ln R = \ln R_0 + \Delta E/2k \cdot 1/T; \quad (6)$$

$$y = ax + b. \quad (7)$$

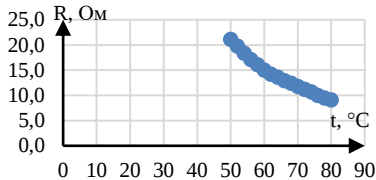


Рис. 7 - Залежність $R=f(t)$ для терморезистора номінального опору 22 Ом

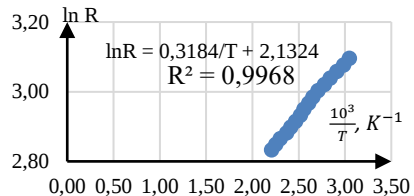


Рис. 8 - Залежність $\ln R = f\left(\frac{1}{T}\right)$ для терморезистора номінального опору 22 Ом

Параметри отриманої лінійної залежності взяли з лінії апроксимації. Отримали наступні значення:

$$a_1 = (0,32 \pm 0,01) \cdot 10^3 \text{ K}^{-1}; \quad b_1 = 2,13 \pm 0,03. \quad [\Delta E]_1 = (0,055 \pm 0,003) \text{ eV}.$$

Для дослідження охолодження води з допомогою терморезисторів побудували установку (рис. 3). Було використано мультиметр, секундомір, ємність з киплячою водою, з'єднувальні дроти та терморезистор номінальним опором 22 Ом. Всі вимірювання проводили за допомогою терморезистора. Побудували графік залежності $\tau(t)$ (рис. 9), та залежність $P(t)$ (рис. 10)

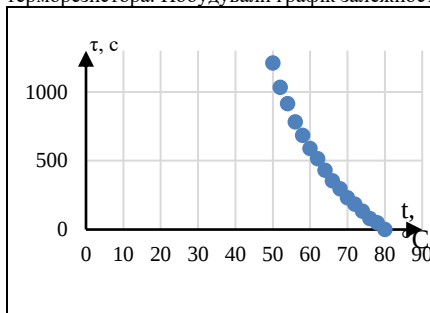


Рис. 9 - Залежність $\tau=f(t)$ при дослідженні охолодження води з терморезистором в 22 Ом

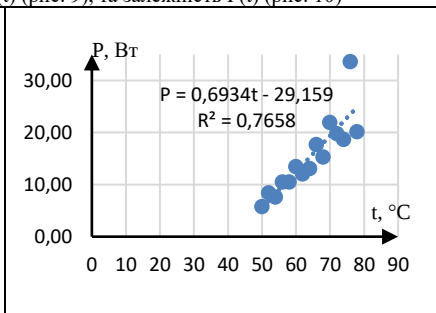


Рис. 10 - Залежність $P=f(t)$ при дослідженні охолодження води з терморезистором в 22 Ом

Параметри залежності потужності тепловіддачі від температури $P = At + B$ визначені з лінії апроксимації (рис. 10):

$$A = 0,69 \text{ Вт/}^\circ\text{C} \quad B = -29,16 \text{ Вт} \quad P = 0,69t - 29,16$$

В результаті експериментальних досліджень було з'ясовано, що залежність $U=f(I)$ термопарі практично лінійна. При малих напругах отриманий розкид значень пояснюється малою точністю вимірів. З нашої точки зору, це може бути пояснено законами послідовного з'єднання та наявністю опору термопарі. З цієї залежності визначили опір термопарі. А за максимумом графіка залежності потужності від опору $P=f(R)$ має чітко виражений максимум, який, з нашої точки зору,

пояснюється тим, що зі зростанням опору зменшується сила струму в колі, але зростає частка напруги на резисторі.

Експериментально було доведено формулу $R=R_0 e^{\gamma(\Delta E/2kT)}$ залежності опору терморезистора від абсолютної температури. Також було експериментально з'ясовано, що потужність тепловіддачі в довкілля, можна вважати лінійною функцією від температури води, з якої було з'ясовано коефіцієнт тепловіддачі та деякий сталий параметр.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Терморезистор / URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Терморезистор>
2. Проценко І.Ю., Шумакова Н.І. Датчики неелектричних величин : навч. посібн. Суми : СУМДУ, 2003. 70 с.
3. Царенко О.М. Основи фізики напівпровідників і напівпровідникових приладів : навч. посібн. Кіровоград : РВВ КДПУ ім. Винниченка, 2011. 243 с.
4. Терморезистор, поняття, типи, схеми підключення / URL: <https://radio-detalety.com/termorezistori-termopari>
5. Електричний струм в напівпровідниках / URL: <https://disted.edu.vn.ua/courses/learn/6123>
6. Третяк О.В., Лозовський В.З. Основи фізики напівпровідників: Підручник : у 2 т. К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007. Т. 1. 338 с.

УДК 004.1:004.42:621.38

Д. МРАЧКОВСЬКИЙ, аспірант, В. ТИТЮК, д.т.н., професор
Криворізький національний університет

МЕТОД ВІЗУАЛЬНО-АНАЛІТИЧНОЇ ОЦІНКИ ЕНЕРГОВИТРАТ У СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ ЗАСОБАМИ UNREAL ENGINE ТА MATLAB

Matlab/Simulink є потужним інструментом для побудови математичних моделей електромеханічних систем і проведення динамічних симуляцій. Проте можливості стандартної візуалізації в цьому середовищі є обмеженими, особливо у випадках, коли потрібна просторово-реалістична анімація роботи складних механізмів. Для розширення візуальних можливостей запропоновано підхід до поєднання Matlab з рушієм Unreal Engine 5.3 [1].

Об'єктом дослідження є електромеханічна система екскаватора «ЕКГ-8И», що складається з трьох основних виконавчих механізмів: поворотної платформи, механізму підйому ковша та механізму напору (рис. 1). У середовищі Simulink реалізовано математичну модель приводу кожного з механізмів із урахуванням динаміки електричних машин та навантаження. У процесі моделювання розраховуються положення виконавчих ланок, які передаються для візуалізації.

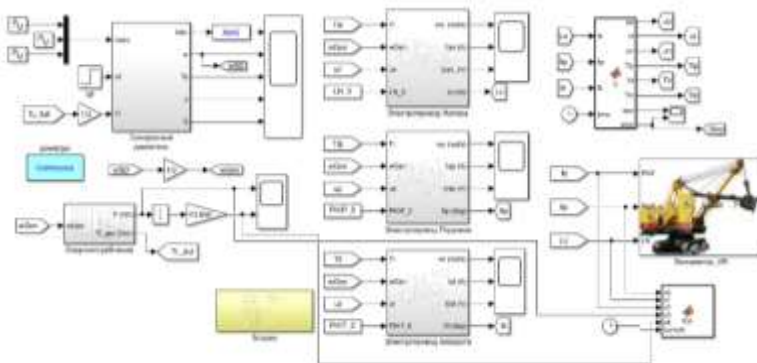


Рис.1 – Математична модель суцільної електромеханічної системи екскаватора

Для обміну даними між Matlab і Unreal Engine використовується локальний TCP/IP-сервер, розроблений на мові програмування C#. У Matlab формуються текстові повідомлення з координатами та кутами механізмів (параметри R, T, N), які передаються на сервер у режимі

симуляції. Unreal Engine, використовуючи Blueprints, приймає ці дані, розпізнає структуру повідомлень та відображає зміни у положенні тривимірних об'єктів сцени відповідно до результатів обчислень [2].

Процес інтеграції включає три етапи: запуск сервера, встановлення з'єднання між клієнтом Unreal Engine і сервером, запуск симуляції в Matlab. Система працює в режимі обміну даними в реальному часі, що забезпечує плавне і синхронне відображення динаміки механізмів.

Запропоноване рішення дозволяє ефективно поєднати обчислювальні можливості Matlab і графічну платформу Unreal Engine без потреби використання вбудованих засобів інтеграції. Такий підхід відкриває нові можливості для створення віртуальних стендів, навчальних симуляторів і наукових демонстрацій з акцентом на підвищення енергоефективності електромеханічних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Z. Zhou, Y. Liu and H. Wang, "Hybrid Simulation and Visualization of Robotic Systems Based on Simulink and Unreal Engine," *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 20, no. 1, 2023. doi: 10.1177/17298814231152319
- [2] L. Zhou, Y. Liu and Q. Liu, "Real-time Co-simulation of Simulink and Unreal Engine for Control System Visualization," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 144009–144019, 2020. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3014713

УДК 621.311

О. ШИНКАРЕНКО, здобувач

Криворізький національний університет

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ У ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРІ

У сучасних умовах енергетичної нестабільності та зростання вартості електроенергії (ЕЕ) питання енергоефективності у житловому секторі набуває особливої актуальності. Житлові будинки — одні з найбільших споживачів ЕЕ, при цьому значна її частина втрачається через застарілі системи електропостачання, нерациональне використання електроприладів та відсутність автоматизованого контролю. Впровадження енергоефективних рішень у сфері електропостачання дозволяє не лише знизити витрати домогосподарств, а й підвищити надійність енергосистем та зменшити негативний вплив на довкілля [1].

Стан систем електропостачання у більшості житлових будинків, особливо збудованих у радянський період, залишається критичним: вони часто побудовані із застарілих матеріалів, не розраховані на сучасне навантаження від великої кількості електроприладів і побутової техніки, що призводить до значних втрат ЕЕ, нестабільності напруги, частих збоїв і навіть пожеж. Застарілі електроштити, алюмінієва проводка, низький рівень ізоляції та відсутність систем контролю — все це знижує енергоефективність як на рівні окремого будинку, так і в масштабах мікрорайону. Значною проблемною можна виділити відсутність точного обліку, адже старі електророзподільники не враховують пікові навантаження та не дозволяють ефективно планувати споживання [2].

На цьому тлі стає очевидною потреба у впровадженні сучасних енергозберігаючих рішень. Модернізація електромереж, а саме заміна старої проводки, встановлення нових щитів, автоматичних вимикачів і стабілізаторів — суттєво зменшує технічні втрати ЕЕ та підвищує надійність електропостачання. Додатково важливою є поява інтелектуальних лічильників, які дають змогу контролювати споживання ЕЕ в реальному часі й застосовувати багатотарифну оплату, стимулюючи більш раціональне використання ЕЕ. Також ефективним кроком є впровадження енергоощадного обладнання: сучасні світлодіодні світильники, побутова техніка класу A+++, «розумні» системи управління (таймери, датчики руху, терморегулятори) та локальні джерела енергії (сонячні панелі). Вони дозволяють зменшити навантаження на систему електропостачання, зменшити витрати ЕЕ без зниження комфорту проживання.

Проте лише технічної модернізації для підвищення стабільності систем електропостачання недостатньо: необхідно застосовувати організаційні та управлінські підходи. Ефективним є використання автоматизованих систем диспетчерського контролю та управління (SCADA), що

дозволяють оперативно реагувати на зміни у споживанні, контролювати стан мереж у режимі реального часу та запобігати аваріям. Також дедалі більшого значення набуває впровадження енергетичного моніторингу у багатоквартирних будинках – це дає змогу аналізувати динаміку споживання ЕЕ, знаходити неефективні ділянки та оперативно коригувати роботу обладнання. У комплексі ці заходи дозволяють створити ефективну, безпечну та стабільну систему електропостачання для житлового сектору.

Підвищення енергоефективності у житловому секторі є ключовим завданням сучасної енергетичної політики, особливо в умовах зростання вартості енергоресурсів та обмежених можливостей енергосистем. Системи електропостачання відіграють у цьому процесі провідну роль, адже саме їхній технічний стан, ефективність обліку та рівень керованості визначають обсяги споживання та втрат ЕЕ. Тому модернізація електромереж, використання енергоощадних технологій та розвиток локальної генерації є ефективними кроками для підвищення стабільності та ефективності енергоспоживання. Додатково, автоматизація контролю, моніторинг та активна участь мешканців у процесі енергозбереження формують нову культуру відповідального споживання ЕЕ. Тобто, розвиток сучасних систем електропостачання є необхідним для створення енергоефективного та економічно доцільного житлового середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. С. Бурцева, А. Клик, та Ю. Постол, «Використання низькопотенційної енергії ґрунтів як спосіб підвищення енергоефективності будівель», II Міжнар. наук.-практ. інтернет-конференція: Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі, Мелітополь: ТДАТУ, 2020, с. 657–661.

2. А. Біляєва, та Ю. Постол, «Актуальні питання енергозбереження та енергоаудиту», II Всеукраїнської наук.-практ. інтернет-конференція: Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії, Мелітополь: ТДАТУ, 2021, с. 10–11.

УДК 621.926

Г.П. ВЛАСЮК, магістрант, А.Б. СЬОМОЧКИН, канд. техн. наук, доц., В.О. ФЕДОТОВ, канд. техн. доцент., С.В. СЬОМОЧКИНА, канд. техн. доцент.
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ ДРОБАРКИ ТИПУ ККД-1500/300 З РЕГУЛЬОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

Відомо, що наймасовішою дробаркою крупного дроблення в умовах Кривбасу є конусна типу ККД. Вона початково має нерегульований привод. Єдиний спосіб регулювання в дробарці – за допомогою регулювання величини щільни. Повстає питання можливих шляхів підвищення техніко-економічних показників використання дробарки. Першим очевидним варіантом відразу постає використання регульованого електроприводу. Для дослідження впливу регулювання швидкості на потужність та продуктивність дробарки використовується вирази [1, 2]:

$$P_{\text{дв}} = (\pi^2 \cdot \sigma^2 \cdot D_k) / (0.01224 \cdot E \cdot \eta) \cdot (D_{\text{св}}^2 - d_{\text{св}}^2) \cdot \omega_k K_{\text{пр}}, \text{ Вт} \quad V = \pi \cdot d_{\text{св}} \cdot D_k \cdot l \cdot \omega_d \cdot \mu \cdot 3600 \cdot \text{м}^3/\text{год.}$$

За допомогою цих виразів були отримані наступні залежності деяких показників роботи дробарки від швидкості приводу (при різних $\square$ - тимчасовому опорі стиску вихідного матеріалу, 100, 125, 150 кПа).

Графіки рис. 1 та 2 вказують на значну залежність потужності та продуктивності від швидкості, причому потужність сама значно залежить від $\square$ - тимчасовому опорі стиску вихідного матеріалу. Враховуючи, що $\square$ є випадковою величиною, є ідея, коли на дроблення йде руда з мінімальною $\square$, коли потужність споживання зменшується, збільшувати швидкість.

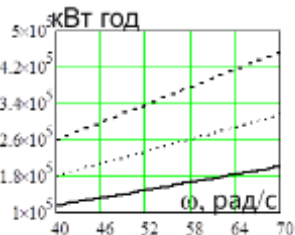


Рис. 1. Споживана потужність

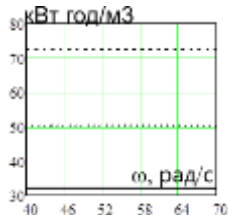


Рис. 2. Поточна витрата потужності

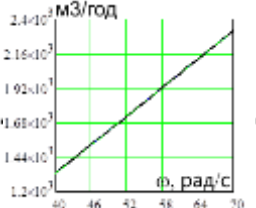


Рис. 3. Продуктивність дробарки

Це приводить не тільки до переведу двигуна в режим, близький до номінального, а також до значного підвищення продуктивності дробарки. Якщо розробити систему керування стабілізацією потужності, та змодельовати реакцію такої системи на збурення з боку $\square$ або d_2 , то ми отримуємо наступні графіки:

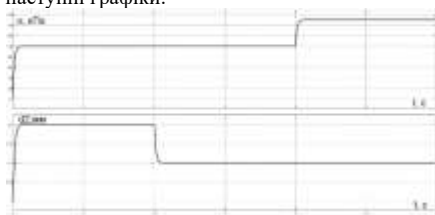


Рис. 4. – Графіки збурень за σ та d_2



Рис. 5. – Графік потужності



Рис. 6. – Графік продуктивності дробарки



Рис. 7. – Графік швидкості системи приводу

Якщо вважати, що руда має $\square$, рівномірно розподілену в діапазоні 100-150 кПа, то ми тільки за рахунок додаткової продуктивності дробарки, при збільшенні швидкості дробарки до 140% маємо настільки значний економічний ефект, що термін окупності досягає декількох днів. Виглядає фантастично, але ми можемо значно знизити швидкість дробарки, або звузити діапазон $\square$ - все одно економічний ефект буде дуже помітний.

СПИСОК :ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Терещенко А. Н. Кинематический расчет конусной дробилки / Терещенко А. Н. // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова: Сборник труд. конф. - Белгород, 2017. - с. 2297-2304
2. Софронов, В. Л. Машины и аппараты химических производств / В. Л. Софронов. - Северск: СГТА, 2008. - 263 с

УДК 621.65:621.3

М. ЛОЗА, магістрант

Криворізький національний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ НАСОСНОЇ ДІЛЬНИЦІ АДМІНІСТРАТИВНО-БАННОГО КОМПЛЕКСУ ДРОБИЛЬНОЇ ФАБРИКИ №2 ПАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ»

Рациональна експлуатація насосного обладнання промислових підприємств відіграє надзвичайно важливу роль у забезпеченні стабільного функціонування виробничих процесів, а також у підтриманні належного рівня санітарно-побутових умов для працівників. Насосні системи забезпечують безперерйну подачу води для технологічних потреб, охолодження обладнання, протипожежного захисту та потреб особистої гігієни персоналу. Особливу роль відіграють адміністративно-побутові комплекси, які часто обслуговуються окремими насосними дільницями з повним циклом подачі та регулювання води. Комплекс електромеханічного обладнання насосної дільниці включає відцентрові насоси типу ЦН 300-160, електродвигуни потужністю до 75 кВт, системи частотного регулювання, трубопровідну арматуру, а також контрольно-вимірювальні прилади для моніторингу основних параметрів роботи [1]. Основною метою аналізу є визначення ефективності функціонування цієї системи, виявлення недоліків, які призводять до перевитрат енергії, та пошук оптимальних шляхів їх усунення.

Результати проведеного аналізу показали, що в нинішньому стані насосна система функціонує з вітчутними енергетичними втратами. Основна причина цього - експлуатація насосного обладнання в режимах, далеких від оптимального робочого діапазону. Це спричиняє не лише перевитрати електроенергії, а й пришвидшене зношування агрегатів, що призводить до частих ремонтів та зупинок у роботі. Зокрема, відсутність частотного регулювання швидкості обертання електроприводів значною мірою обмежує можливості адаптації системи до реального навантаження, особливо у випадках непостійного водоспоживання. Запропоновано технічне рішення, яке передбачає впровадження сучасних інверторних перетворювачів для організації частотного регулювання, а також інтеграцію системи моніторингу, здатної в реальному часі оцінювати технічний стан обладнання. Завдяки цьому стає можливою автоматична адаптація режимів роботи насосів до поточних умов експлуатації, що сприяє зменшенню енерговитрат до 20%. Окрему увагу необхідно приділити кавітаційній стійкості насосів, рівню вібрацій у вузлах електроприводів, стану підшипникових блоків, а також температурним режимам у періоди пікових навантажень. У зв'язку з цим доцільним є застосування алгоритмів технічного обслуговування на основі предиктивної діагностики, яка включає збір даних з допомогою сенсорних модулів (вібраційні, температурні, тискові датчики) та аналіз інформації у SCADA-системах.

Реалізація вищезазначених заходів дозволить не лише зменшити питомі витрати електроенергії, але й значно підвищити ресурс експлуатації обладнання, зменшити ймовірність аварійних ситуацій та зупинок. Додатковим позитивним ефектом стане покращення умов праці для персоналу насосної дільниці, зниження рівня шуму та вібрацій, а також оптимізація витрат на технічне обслуговування й ремонт. Отже, модернізація електромеханічного комплексу насосної дільниці адміністративно-побутового комплексу із застосуванням новітніх технологій автоматизації, частотного керування і предиктивного діагностування є не лише доцільною, а й необхідною умовою ефективної та безпечної експлуатації інженерних систем промислових підприємств у сучасних умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Режим роботи насосних та вентиляторних установок із автоматизованим електроприводом: навч. посібник / Т. В. Коренькова, О. О. Сердюк, В. Г. Ковальчук. Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О. В., 2013. 200 с.

УДК 621.318

В. ЛЕВЧЕНКО, аспірант, В. БАРАНОВСЬКИЙ, старший викладач
Криворізький національний університет

ТРЕТІЙ ТИП МАГНЕТИЗМУ: ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ТА НАДПРОВІДНОСТІ

Магнетизм є одним із ключових фізичних явищ, що відіграє значну роль у багатьох сучасних технологіях, зокрема в зберіганні та передаванні інформації. До останнього часу науковці розрізняли два основні типи магнетизму: феромагнетизм, де магнітні моменти всіх атомів вирівнюються в одному напрямку, та антиферомагнетизм, у якому моменти сусідніх атомів орієнтовані у протилежні сторони [1]. Феромагнітні матеріали широко застосовуються у виготовленні жорстких дисків, магнітних сенсорів та інших пристроїв, а антиферомагнетики завдяки відсутності зовнішнього магнітного моменту використовуються для стабілізації феромагнетиків у багатошарових структурах. Однак відкриття нового типу магнетизму — альтермагнетизму — відкриває нові можливості у створенні високошвидкісних та енергоефективних електронних пристроїв [4].

Альтермагнетики поєднують у собі властивості як феромагнетиків, так і антиферомагнетиків. У таких матеріалах магнітні моменти сусідніх атомів розташовані у протилежних напрямках, як в антиферомагнетиках, але при цьому вони мають особливу просторову орієнтацію, що надає їм певних феромагнітних характеристик. Такі матеріали можуть демонструвати швидке перемикавання магнітних станів, що є важливим для інформаційних технологій. Крім того, альтермагнетики мають унікальну властивість — порушення зворотної симетрії у часі, що є важливим для фундаментальних досліджень у галузі квантової фізики та спітроніки [2].

Дослідницька група під керівництвом професора Пітера Уодлі з Ноттінгемського університету використала сучасні методи мікроскопії для аналізу структури альтермагнетиків. В ході експериментів було досліджено телурид марганцю — матеріал, який раніше вважався антиферомагнетиком. За допомогою фотоемісійної електронної мікроскопії вдалося отримати зображення магнітної структури матеріалу [3]. Використання циркулярно поляризованого світла дозволило виявити магнітні домени, а рентгенівське випромінювання допомогло встановити напрямки магнітних моментів у зразках. Поєднання цих методів дозволило створити детальну карту магнітних domenів в альтермагнітних матеріалах, що є важливим кроком для подальших досліджень і застосувань.

Альтермагнетики мають значний потенціал у створенні нового покоління запам'ятовуючих пристроїв, що поєднуюватимуть високу швидкість роботи, низьке енергоспоживання та підвищену стійкість до зовнішніх впливів. Такі матеріали можуть використовуватися у високопродуктивних обчислювальних системах, у спітроніці та у квантових технологіях. Окрім цього, їхні унікальні магнітні властивості можуть сприяти розробці нових надпровідникових матеріалів, що значно розширить можливості для побудови енергоефективних електронних пристроїв. Технологічні перспективи альтермагнетиків відкривають нові горизонти для розвитку інформаційних технологій, комунікаційних систем та електроніки майбутнього.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. O. Amin, P. Wadley, "Discovery of a third type of magnetism: implications for memory storage and superconductivity" Nottingham University Research Papers, 2024.
2. P. Wadley, et al., "Antiferromagnetic spintronics" Nature Nanotechnology, vol. 11, no. 3, pp. 231–237, 2016.
3. M. Železný, H. Gao, K. V. Kulikov, "Spin transport in altermagnetic materials," Physical Review Letters, vol. 129, no. 17, pp. 176401, 2022.
4. P. Nemes, M. Fiebig, T. Kampfrath, "Antiferromagnetic optospintronics" Nature Physics, vol. 14, no. 3, pp. 229–241, 2018.

УДК 621.38

В.А. ШАПОВАЛОВ, канд. техн. наук, доц., О.В. КЛЯЦЬКИЙ, аспірант, О.В. ЯВОДЧАК, аспірант,
Криворізький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОХОДКИ ПОВСТАЮЧИХ ВИРОБОК ПРИ ВИДОБУТКУ ЗАЛІЗНИХ РУД КРИВБАСУ

Покращення ефективності гірничо-металургійних підприємств під час переходу України до післявоєнної економіки може бути досягнуто через впровадження інноваційних технологій. Це особливо актуально для Криворізького залізрудного басейну (Кривбас), який щорічно виробляє близько 30 мільйонів тонн товарної руди через підземне видобування, що становить майже половину металургійної сировини країни. Одним із найважливіших виробничих процесів при підземному видобутку залізної руди є підготовка блоків для відробки, що становить 40-50% загальних витрат на гірничі роботи. Половина цих витрат пов'язана з бурінням підйомів. Щорічно в шахтах Кривбасу прокладається близько 70 000 метрів підйомних виробок, при середній продуктивності праці 1,26 м³ на зміну на працівника і вартості 130,89 грн за метр. Низькі техніко-економічні показники зумовлені широким використанням методів буріння малими отворами з дерев'яними платформами та сходовими проходами. За цією технологією ручна праця займає понад 80% усього циклу розробки.

Метою є підвищення ефективності буріння підйомів шляхом розробки вдосконаленої технології, яка раціонально поєднує буріння та вибухове руйнування з урахуванням енергетичних та соціальних факторів. Концепція передбачає вивчення технологічних процесів буріння підйомів з використанням бурильно-вибухових та механічних методів елемент за елементом, а також створення ефективної технології, що забезпечує руйнування гірської породи по всій висоті виробки за одну вибухову операцію, при цьому зменшуючи споживання енергії та ручну працю.

На сьогодні в шахтах Кривбасу застосовуються кілька методів буріння підйомів [1]. Основна частина буріння (78,9% від загального обсягу) виконується за допомогою тимчасових платформ та сходів. Додатково 17,8% операцій виконуються за допомогою самохідних комплексів, 3,3% — за допомогою бурильних машин, а лише 0,2% використовують секційне вибухове буріння глибоких свердловин. Висота виробок варіюється від 10 до 80 метрів, більшість (62,3%) виробок має висоту від 10 до 40 метрів. При цьому близько 94% усіх підйомів створюються методом буріння та вибуху. Хоча механізоване буріння забезпечує високий рівень механізації, воно економічно доцільно переважно для підйомів висотою близько 80 метрів у породах з міцністю до $f=12$. Натомість метод буріння та вибуху є більш універсальним, але він супроводжується низьким рівнем безпеки праці та підвищеними витратами на ручну працю.

Перспективним напрямом з точки зору технології та зменшення трудозатрат є безлюдний метод буріння підйомів за допомогою вибухових зарядів, що детонують у бік незарядженої свердловини збільшеного діаметру (компенсаційної порожнини). Суть цього методу полягає в бурінні ряду свердловин по контурі виробки до її повної висоти [1]. Одна свердловина розширюється до більшого діаметра і служить компенсуючою порожниною, інші свердловини заповнюються вибухівкою і детонуються за затримками. Розвиток технологій буріння підйомів у шахтах Кривбасу передбачає кілька перспективних напрямків вдосконалення, спрямованих на підвищення ефективності, поліпшення безпеки та зменшення ручної праці. Однією з основних переваг модернізованих методів є ліквідація кількох циклів буріння, заряджання, вибуху та вентиляції, що спрощує процес будівництва і мінімізує простой. Крім того, можливість організації узгодженої роботи між обладнанням і персоналом сприяє поліпшенню загальної ефективності робочого процесу і забезпечує кращу координацію. Підвищення використання обладнання додатково сприяє збільшенню продуктивності, а механізація основних операцій, таких як буріння, розшивка та заряджання, зменшує залежність від важкої ручної праці. Як результат, ці нововведення не тільки оптимізують оперативну ефективність, але й значно покращують безпеку праці, знижуючи вплив небезпечних умов.

Дослідження в галузі буріння підйомів спрямоване на підвищення ефективності, зменшення енергоспоживання та оптимізацію технологічних процесів у шахтах Кривбасу. Однією з основних

напрямок дослідження є аналіз енергоспоживання різних методів буріння підйомів для виявлення можливостей для скорочення витрат енергії. Додатково вивчаються характеристики руйнування порід при розшивці свердловин, що дає можливість покращити результати буріння. Важливим аспектом є також визначення впливу додаткової обмеженої площини впливу на характер вибухового руйнування породи, що може призвести до більш контрольованих і ефективних методів вибуху. Обґрунтування високоєфективної технології буріння підйомів, пристосованої до умов Кривбасу, є необхідним для покращення операційних результатів. Крім того, проведення промислових випробувань і впровадження результатів досліджень є важливим кроком у переході від теоретичних розробок до практичного застосування. Розробка стандартів для швидкості просування буріння підйомів також є важливою для забезпечення стабільності та надійності процесів у гірничих роботах.

Значні якісні та кількісні зміни в енергоспоживанні технологічних процесів були виявлені при використанні різних методів буріння підйомів. Дослідження довело залежність швидкості та енергоспоживання при створенні компенсаційних порожнин у породах міцністю $f=10-12$ і вище від рівня термічного впливу на стінки бурової свердловини. Крім того, було встановлено залежність між діаметрами вибухових отворів і компенсаційних порожнин, а також відстань прориву між ними, з урахуванням фізико-механічних властивостей порід. Також визначена залежність швидкості буріння підйомів у різних гірничо-геологічних умовах від їх висоти, при цьому різні методи буріння дають різні результати залежно від конкретних умов шахти.

Було розроблено нову [2], ефективну безлюдну комбіновану технологію буріння підйомів, яка значно знижує енергоспоживання, підвищує продуктивність і рівень механізації на 1,5 рази, а також покращує санітарно-гігієнічні умови праці. Крім того, розроблено методи і засоби механічної та термомеханічної розшивки бурових свердловин, що дозволяють знизити вартість створення компенсаційних порожнин під час буріння підйомів на 30–40%. Також були встановлені стандарти для швидкості просування буріння підйомів. Впровадження цих розробок у шахтах дає річний економічний ефект близько 152 мільйонів гривень [2].

Запропонована технологія безлюдного буріння підйомів з використанням компенсаційних порожнин дозволяє раціонально поєднувати механічні та вибухові методи руйнування породи, що забезпечує підвищення продуктивності праці, зменшення енергоспоживання, зниження трудових витрат і покращення умов безпеки в шахтах Кривбасу. Розроблені методики для розрахунку основних технологічних параметрів буріння підйомів дозволяють оптимізувати процес відповідно до конкретних гірничо-геологічних умов.

СПИСОК :ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Щокін В. Дослідження поблизоконтурних напружень у очисному вибої з закладкою порожнечі методом поляризаційної оптики / Станіслав Куліш, Вадим Щокін, Володимир Мошинський, Ігор Карапа, Андрій Карнаух // 3-тя Міжнародна конференція з питань сталого розвитку: екологічні, технологічні, соціальні та економічні аспекти, 24–27 травня 2022 р., Кривий Ріг, Україна.

2. Щокін В. Приклад застосування розробленого методу нейро-нечіткого нормування енергоспоживання на збагачувальних фабриках ПАТ "ЮГЗК" / Вадим Щокін, Ольга Щокіна, Сергій Бережний // Металургійна і гірнича промисловість. – 2015. – № 2. – С. 19–26.

УДК 621.318

Я.Ю ЯНЧИЙ, студент гр. ЕЕМ-22ск, І.В. КАСАТКІНА, канд. техн. наук, доцент кафедри електричної інженерії
Криворізький національний університет

РЕКУПЕРАТИВНЕ ГАЛЬМУВАННЯ В ЕЛЕКТРОМОБІЛЯХ

Сам по собі термін «рекуперація» відомий досить давно і має на увазі можливість часткового повернення використаної енергії (тепла, води, газів) з метою її повторного застосування. У цьому сенсі рекуперативного гальмування також має на увазі процес повернення частини витраченої енергії.

Рекуперативне гальмування електрообіля це процес отримання енергії в ході гальмування авто, тобто фактично це підзарядка акумулятора електрокара прямо по ходу руху.

При виборі електрообіля одним з найважливіших його параметрів є дальність пробігу на одній зарядці. Виробники електрокарів проводять активні дослідження і впроваджують все нові розробки, які дозволяють збільшити дальність пробігу електрокара на одній зарядці. Рекуперативне гальмування, як одна з можливостей часткового відновлення заряду батареї, є важливим нюансом при виборі електрокара.

При гальмуванні машини енергія витрачається в ході контакту гальмівних колодок і гальмівних дисків, стираючи їх, тобто просто «в нікуди». В електрообілях застосовується більш уважний підхід до використання енергії.

Рекуперація електродвигуна з точки зору фізичного процесу є досить ефективною, оскільки його ККД становить близько 70%. Тобто близько 70% витрачається на гальмування і ця енергія перетворюється в електроенергію. Однак ефективність рекуперативного гальмування з точки зору збільшення дальності пробігу машини не така велика, оскільки збільшення пробігу складає всього в межах 10-20% в залежності від умов: тип авто і асинхронного двигуна, розмір транспортного засобу, швидкість руху, характеристики батареї, дорожні умови і т.п.

Умови, при яких рекуперативне гальмування двигуна постійного струму найбільш ефективно:

- замські траси, що дозволяють розвивати хорошу швидкість;
- горбиста місцевість і круті спуски;
- в міських умовах при пересуванні в режимі «старт-стоп»;
- великі розміри і вага авто;

В даному випадку вірно правило: чим частіше гальмує електрокар, тим його батарея більше заряджається.

Ситуації, коли рекуперативне гальмування електродвигуна неефективне:

- рух по рівній поверхні з однією швидкістю (в такому режимі руху гальмо машини задіюється рідко);
- низька температура АКБ (при низькій температурі акумулятора рекуперативна електроенергія буде вироблятися в обмеженому обсязі);
- 100% заряд батареї (неможливо зарядити батарею, якщо вона вже заряджена на 100%).

СПИСОК :ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

<https://ecofactortech.com/ua/rekuperatyvne-galmuvannya-v-elektromobilyah-prostymy-slovamy/>

<https://ionity.ua/faq/shho-take-rekuperacziya-ta-koly-var-to-vyko/>

<https://toka.energy/uk/blog/rekuperativne-galmuvannya/>

УДК 621.318

В.А. ШАПОВАЛОВ, канд. техн. наук, доц., О.В. ЯВОДЧАК, аспірант, О.В. КЛЯЦЬКИЙ, аспірант,
Криворізький національний університет

ОБМЕЖЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЗОН ПЕРЕМІЩЕННЯ ВАНТАЖІВ КРАНАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

Щорічно вантажопідійомними машинами переміщують мільярди тон вантажів, з їх допомогою будуються мільйони будівель і споруд, в тому числі на потенційно небезпечних об'єктах. Разом з тим, безпека праці при використанні кранів та інших ванта-жопідійомних машин залишається серйозною проблемою, оскільки аварійність ванта-жопідійомного обладнання постійно зростає [1].

Іноді, в процесі будівництва або реконструкції будівель і споруд до небезпечної зо-ни переміщення вантажів кранами потрапляють будівлі і споруди, транспортні або пі-шохідні дороги та інші місця можливої присутності будівельників, а також людей, які не мають відношення до будівництва. Зазвичай, такі випадки характерні, коли небезпечна зона роботи крана виходить за межі будівельного майданчика або при наявності на будівельному майданчику приміщень, де знаходяться або можуть знаходитися лю-ди.

Перед будівельниками постає проблема забезпечення безпечної роботи крана в умо-вах щільної забудови, або коли межі небезпечних зон роботи крана виходять за межі будівельних майданчиків чи робочих місць, або при наявності на будівельному майда-нчику місць постійного чи тимчасового перебування людей.

Згідно п. 6.1.8 ДБН А 3.2-2, якщо до небезпечних зон переміщення вантажів крана-ми потрапляють транспортні або пішохідні шляхи, санітарно-побутові чи виробничі будівлі та споруди, інші місця постійного чи тимчасового перебування людей під час виконання будівельно-монтажних робіт, безпечні умови забезпечується застосуван-ням засобів штучного обмеження зони роботи баштових кранів, а також захисними пристроями, захисними екранами тощо [2].

Для обмеження зони роботи крана необхідно обмежувати шляхи переміщення крана та/або вантажного візка, виліт стріли крана та/або сектор її переміщення, а також ви-соту підйому вантажу.

В якості засобів штучного обмеження зони роботи крана застосовують датчики і кі-нцеві вимикачі, які виконують автоматичне відключення відповідних приводів механі-змів крана при загрозі зіткнення стріли або вантажу з об'єктами, що входять в зону обмеження, а також подають попереджувальні звукові сигнали при наближенні стріли крана або вантажу до заданої межі.

Для обмеження небезпечних зон переміщення вантажів за допомогою кранів, роз-роблений ряд автоматизованих систем [3-6]. Ці системи обмежують переміщення кра-на, його стріли й вантажу в заданих межах по вертикалі й горизонталі.

За командою датчиків система визначає місцезнаходження крана, положення стрі-ли, вильоту вантажу та висоти підйому вантажної підвіски на будівельному майданчи-ку, і порівнює отримані координати з даними, закладеними в блоці параметрів будіве-льного майданчика (БПБМ). За результатами порівняння система видає релейні сигнала-ли управління відповідними приводами крана: рух крана рейковими шляхами (ДРШ), повороту стріли (ДПС), рухи вильоту вантажу (ДВВ), рухи підвіски гака (ДПГ).

В результаті стає можливим виділити межі, за які не повинен потрапляти вантаж і стріла крана, а також можливість обмежувати висоту проносу вантажу.

Зони обмеження роботи крану необхідно вказувати на будгєнплані. Кут примусово-го обмеження прив'язують до осі рейкового кранового шляху або до осі вежі крана в залежності від типу крана.

У проектах виконання робіт (ПВР) кут обмеження повороту стріли позначається в координатах і градусах. По лінії променів кута обмеження повороту стріли (а також лініям примусового обмеження зони обслуговування) у ПВР вказують заборонні знаки, а перед ними (з боку переміщення стріли) – попереджувальні знаки. При цьому відс-тань між лініями обмеження та попередження в ПВР приймається не менше 7,0м.

Кранівник зобов'язаний не менше ніж за 1м до попереджувального знаку знизити швидкість переміщення вантажу до мінімальної і далі переміщати вантаж на цій швидкості короткими повторними включеннями.

Знаки встановлюються з розрахунку можливості кранівника бачити межу зони обслуговування, але не менше двох знаків кожного типу на один промінь кута або одну лінію зони обмеження.

Для зменшення величини небезпечної зони на баштових кранах може встановлюватися у відповідному положенні (а не тільки у верхньому) обмежувач висоти підйому, який у міру будівництва будівлі (споруди) може періодично переставлятися в нове положення.

Для зменшення величини небезпечної зони в обмежених умовах допускається обмеження висоти підйому вантажу при виконанні вантажно-розвантажувальних робіт, при прокладанні підземних комунікацій, зведенні підземних частин будівель і споруд з розробкою організаційно-технічних заходів.

При обмеженні висоти підйому вантажу до 4÷6 м відповідно до організаційно-технічних заходів у встановленій зоні обслуговування вантаж не повинен бути піднятий на висоту, більш прийнятну в ПВР. На території ця зона по всьому контуру позначається спеціальними знаками з пояснювальною написом про заборону підйому вантажу на висоту, прийнятої в ПВР. Спеціально призначений сигнальник з числа най-більш досвідчених стропальників візуально контролює висоту підйому вантажу. Місце знаходження сигнальника вказується на кресленнях. Між кранівником баштового крана і стропальником повинен бути забезпечений надійний зв'язок.

Роботи, що виконуються в умовах обмеження зони переміщення вантажів кранами, повинні проводитися за нарядом-допуском. Час виконання робіт з того чи іншого обмеження зони обслуговування краном має бути записано у вахтовому журналі кранівника, і підтверджуватись, щоразу перед зміною обмеження зони обслуговування краном. Одночасно переставляються знаки безпеки.

Отже, там де крани є ключовими засобами виробничого процесу, автоматизовані системи дозволяють захистити людей від небезпек, що виникають під час переміщення вантажів, шляхом обмеження роботи крана в межах небезпечних зон.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ali Hassan Ali, Tarek Zayed, Roy Dong Wang, Matthew Yau Shun Kit, Tower crane safety technologies: A synthesis of academic research and industry insights, Automation in Construction, Volume 163, 2024, 105429, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105429>.
2. ДБН А.3.2-2-2009 Охорона праці і промислова безпека у будівництві. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074220455066862610?doc_type=2
3. AUTOMATION. URL: <https://www.magnetekdrives.com/wp-content/uploads/sites/7/automation-brochure.pdf>.
4. MacGregor highly automated crane system proves optimal for ESL Shipping URL: <https://www.macgregor.com/news-insights/news-articles/2024/macgregor-highly-automated-crane-system-proves-optimal-for-esl-shipping/>
5. Noh, S.-H., Lee, Y.-S., Kim, S.-H., Cho, J.-S., Han, C.-S., Lee, S.-Y., & Lee, D.-E. (2020). Economical Auto Moment Limiter for Preventing Mobile Cargo Crane Overload. Sensors, 20(21), 6355. <https://doi.org/10.3390/s20216355>.
6. Шаповалов В. А. Забезпечення охорони праці при організації будівельних майданчиків: навчальний посібник. Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ», 2017. 161 с.

УДК 621.318

М. КОТЯКОВА

Криворізький національний університет

ОПЕРАТИВНЕ КЕРУВАННЯ РІВНЯМИ НАПРУГИ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

Електроенергетика промислових підприємств, в тому числі: гірничовидобувних з часом набуває свого креативу негативності в формуванні головного економічного показника даних виробництв – собівартості видобутку тих чи інших видів корисних копалин.

Так, якщо в 1971 році рівень електроенергоефективності або як він тоді називався – питома вага електроенергії в видобутку 1т залізної руди (ЗР) по конкретній залізрудній шахті Криворізького залізрудного басейну визначався показником 10,7 кВт.год/т. то на період 2024р. він становив 107,9 кВт.год/т, тобто збільшився практично в 10-ть разів з відповідним віддзеркаленням на рівні собівартості видобутку ЗР.

Одним із складових такого негативу, окрім природних факторів, в цьому зростанні постає втрата електроенергії при її транспортуванні по внутрішніх СЕП шахт, що є слідством природного збільшення протяжності ЛЕП по факту пониження глибин видобутку ЗР. Так, якщо повернутись до вищенаведеного показника, то на той час була глибина 775м., а зараз – 1045м., тобто глибина збільшилася на 270м. і якщо враховувати, що різниця в метрах при переходу процесу видобутку ЗР з одного на інший – нище лежачій складає зараз 100м., то з переходом на наступний підземний горизонт – 1135м. – витрати ЕЕ на 1т. видобутку ЗР збільшаться додатково на 5-ть разів.

Це драматично, але природньо. Проте, що не природне це вплине на цей процес показників якості електроенергії (ПЯЕ), рівні котрих регламентується ДСТУ () і котрі по факту в реаліях функціонування СЕП підземних підприємств не відповідають регламентуемим.

Одним із черги найбільш одіозних ПЯЕ є відхилення напруги (ΔU) та розмах її зміни (δU) в підземних ЛЕП шахт.

Цей факт впливає як на ПЯЕ так і на ефективність функціонування споживачів ЕЕ – силові трансформатори, електродвигуни. Для мінімізації рівнів відхилень (ΔU) пропонується авторське бачення шляхів досяжності

УДК 001.89

О.ПІЩИК, викладач спеціальних дисциплін, магістрантка,

Гірничий фаховий коледж Криворізький національний університет,

Криворізький національний університет

АНАЛІЗ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

Питання енергозбереження та енергоефективності з кожним роком стають все більш актуальними. Енергозберігаючі технології здатні звести до мінімуму непотрібні втрати енергії, що сьогодні є одним з пріоритетних напрямків не тільки на державному рівні, а й на рівні кожної окремо взятої родини. Це пов'язано з дефіцитом основних енергоресурсів, зростаючої вартістю їх видобутку, а також з глобальними екологічними проблемами.

Впровадження енергозберігаючих технологій в господарську діяльність як підприємств, так і приватних осіб на побутовому рівні, є одним з важливих кроків у вирішенні багатьох екологічних проблем - зміни клімату, забруднення атмосфери, виснаження копалин ресурсів та інші.

Основою забезпечення усіх видів життєдіяльності суспільства була і залишається енергетика. На даний момент у галузі склалася критична ситуація з постачанням сировини та сплатою за її споживання, а енергозбереження - єдиний шлях до поліпшення цієї ситуації.

Економія енергії - це ефективне використання енергоресурсів за рахунок застосування інноваційних рішень, які здійсненні технічно, обґрунтовані економічно, прийнятні з екологічної та соціальної точок зору, і не змінюють звичного способу життя.

Основні напрями і способи енергозбереження:

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ І КОМПЛЕКСІВ

- економія електричної енергії (освітлення, електропривод, електрообігрів та електроплити, холодильні установки та кондиціонери, споживання побутових і промислових пристроїв, зниження втрат в електромережі) (таб.1);

- економія тепла (зниження тепловтрат, підвищення ефективності систем теплопостачання);

- економія води (водозабір, споживання у побуті та на виробництві, зниження втрат і підвищення ефективності систем водопостачання) (таб.2);

- економія газу (споживання в побуті та на виробництві, зниження втрат і підвищення ефективності систем газопостачання);

- економія палива (зниження споживання в двигунах внутрішнього згоряння, альтернативні види та гібридні системи, зниження втрат і підвищення ефективності виробництва електричної та теплової енергії).

Таблиця 1 - Енергоспоживання побутових електроприладів

Побутові електроприлади	Робочий обсяг, л	Споживання, кВт/рік
Холодильники: - енергоефективні (клас A) - менш енергоефективні (клас D)	143 143	150 266
Холодильники з морозильними камерами: - енергоефективні - менш енергоефективні	175+20 180+13	197 332
Морозильники: - енергоефективні - менш енергоефективні	184 182	193 383
Пральні машини: - енергоефективні - менш енергоефективні	5кг білизни 5кг білизни	174 240
Пральна машина з вбудованою сушаркою	5кг білизни	878

Таблиця 2 - Розподіл витрат води на одну людину у помешканнях за добу

Вид споживання води	Витрати води, л
Приготування їжі та пиття	9
Щоденний туалет (чищення зубів, вмивання)	26
Ванна	49
Душ	27
Прання	42
Змивання унітазів	35

Енергозбереження - дуже важливе завдання по збереженню природних ресурсів.

Технічний стан об'єктів енергетики характеризується критичним рівнем зношеності основних фондів (від 60 до 70%), збільшенням питомих витрат палива на виробництво електроенергії, зростанням втрат в мережах під час транспортування енергопродуктів (в електроенергетиці витрати електроенергії під час транспортування в мережах у 1991 році складали 9%, на даний час - 14%) [1, 2].

На даний час існують два основних завдання, які потребують вирішення у сфері енергозбереження: створення економічних механізмів енергозбереження у вигляді фінансової підтримки державою енергозберігаючих проєктів і пошук джерел фінансування місцевих програм та проєктів [3, 4].

Фінансування державою сфери енергозбереження можливе за рахунок цільового виділення коштів з державного бюджету та шляхом формування спеціальних фондів енергозбереження з використанням визначених законодавством механізмів наповнення цих коштів. Джерелами наповнення таких фондів можуть бути як економічні санкції за нераціональне використання енергоресурсів, так і кошти, отримані в результаті впровадження енергозберігаючих заходів. Для цього потрібно звільнити від оподаткування частину прибутку платників податків, яка отримана в результаті ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів. Звільнена від оподаткування частина коштів підприємств може використовуватися на наповнення спеціальних фондів енергозбереження підприємств.

Важливим джерелом фінансового забезпечення Програм енергозбереження в регіонах має стати заощадження енергосистем. Ці заходи включають вирішення організаційних питань, впровадження механізму заохочення та стимулювання заощадження, облік витрат ресурсів з урахуванням диференційованих тарифів, запобігання витокам енергоресурсів. Економічне заохочування споживача за ефективне використання ПЕР повинне передбачати надання податкових пільг та дотацій (субсидій, компенсацій) організаціям, що розробляють нормативно-методичну та інформаційну базу забезпечення енергозбереження, НДДКР, програми енергозбереження на різних рівнях управління; підприємствам-виробникам енергоефективного обладнання (у тому числі дослідних зразків обладнання, що використовує місцеве паливо, відходи, нетрадиційні та поновлювані джерела енергії); споживачів ПЕР, які розробили й впроваджують енергоефективні заходи та реалізують енергоефективні проекти; підприємствам (організаціям), що зайняті оснащенням виробництва приладами обліку та контролю витрат ПЕР.

Для впровадження програми енергозбереження на місцях необхідне здійснення таких заходів: удосконалення законодавчо-правової бази енергозбереження на рівні конкретних населених пунктів; забезпечення матеріальної зацікавленості споживачів та енергопостачальників у результатах енергозбереження; проведення тотального енергоаудиту суб'єктів господарювання всіх видів власності; впровадження новітніх енергозберігаючих технологій в усіх галузях народного господарства, налагодження системи навчання з енергоменеджменту; залучення до обігу енергосистем вторинних, побічних та поновлювальних енергоресурсів [5].

Назріла необхідність розробки регіональних пілотних проектів в енергозбереженні при будівництві чи реконструкції будинків. Ці проекти повинні бути економічно і екологічно ефективними та інноваційно привабливими, що дасть змогу поширити досвід подібного будівництва.

В електроенергетиці необхідно більше уваги приділяти використанню альтернативних джерел енергії. Розвиток цієї сфери передбачає переорієнтацію значної кількості науково-дослідних і проектно-конструкторських установ, промислових підприємств на розробку та виготовлення енергетичного обладнання для альтернативної енергетики. Протягом останніх років в Одеській області ведуться переговори з німецькими фірмами щодо спорудження в різних районах області вітроенергоустановок і вітроенергоферм. Оскільки ефективність вітроенергооб'єктів значною мірою залежить від недопущення помилок під час вибору будівельних майданчиків, треба продовжити розробку «Вітроатласу України» з врахуванням особливостей клімату областей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Здановський В.Г. Деякі аспекти екобезпеки теплоенергетики України та шляхи її покращання // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Івано-Франківськ, 2000. № 37 (том 9). С. 21-30.
2. Енергетична стратегія України до 2030 року.
URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13#Text>
3. Ковалко М.П., Денисюк С. П. Енергозбереження - пріоритетний напрямок державної політики України. Київ : Українські енциклопедичні знання, 1998. 511 с.
4. Міністерство енергетики України <https://www.mev.gov.ua>
5. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) <https://www.nerc.gov.ua>

ПЕРЕЛІК АВТОРІВ

Антонов В. А.	71	Ломаковский В.	51
Ашмарін В. А.	69	Лоза М.	16, 80
Барановська М. Л.	14	Мартинюк Є. Д.	13
Барановський В.	14, 63, 74, 81	Мазун Б.	36
Белоус І.	38	Михайленко О. Ю.	34
Берідзе Т. М.	19	Монастирський Ю.	62
Бойко С. М.	10	Москаленко Д. С.	68
Боровик Д.	44	Мрачковський Д.	27, 76
Власюк Г. П.	78	Михуєнков М. Є.	19
Вишніченко А.	74	Омельченко А. Ю.	29, 73
Гаркуша О.	33	Омельчук М.	39, 42
Гірін І.	62	Оберемок Д. О.	23
Горбенко С. В.	31, 48, 73	Осадчук Ю. Г.	29, 46, 48
Гостев Д.	22	Палієнко Я. В.	17, 32, 46
Довганич О. В.	26	Пересунько І. І.	38, 60
Дозоренко О.	30, 57	Піцик О.	87
Дубравський М.	32, 35, 37	Рашковський Є.	30
Заболотний Д.	58	Рог О. С.	25, 42
Засулько Р.	17	Розен П. В.	61
Заяць А. А.	70	Самусенко В. Д.	34
Капінус А.	31	Сьомочкин А. Б.	78
Касаткіна І. В.	13, 26, 27, 70, 71, 72, 84	Сьомочкина С. В.	78
Коверсун Н. А.	12	Терещук М.	21
Коваленко І.	49	Титюк В.	27, 76
Коган О. В.	35, 37, 72	Фаренюк А. М.	11
Котякова М.	87	Федотов В. О.	78
Кривий Ю.	53	Шаповалов В. А.	82, 85
Кухта О. О.	65, 66, 67	Шафігуллін А.	28
Лелека Б.	35, 37	Шерстньов Ю.	18, 50
Левченко Р.	31, 36	Шинкаренко О.	77
Левченко В.	63, 81	Яловий О.	68
		Яводчак О. В.	82, 85