

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Кобеляцького Даниїла Віталійовича «Енергоефективне керування процесом споживання електроенергії приймачами з рівнем напруги живлення до 1000 В залізорудних шахт» подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Актуальність теми.

Сучасний стан електропостачання залізорудних шахт характеризується значною зношеністю обладнання, нерівномірністю графіків навантаження, високими втратами електроенергії та недостатнім рівнем автоматизації процесів керування електроспоживанням. Особливої актуальності набуває проблема нераціонального використання електроенергії низьковольтними приймачами напругою до 1000В, що пов'язано з відсутністю систем керування, які враховують технологічні особливості видобутку руди підземним способом, змінні режими роботи обладнання та фактори зовнішнього впливу. У таких умовах впровадження інтелектуальних та енергоефективних підходів до керування електроспоживанням низьковольтних електроприймачів дозволяє не лише знизити витрати на електричну енергію, але й підвищити надійність електропостачання та продовжити ресурс електрообладнання.

Додатковим фактором, що підсилює актуальність дослідження, є необхідність забезпечення енергетичної стійкості підприємств гірничорудної галузі в умовах нестабільності енергосистеми, що особливо характерно для регіонів із підвищеним техногенним та воєнним навантаженням. Рациональне керування електроспоживанням на рівні промислових підземних низьковольтних мереж дає можливість оперативно реагувати на зміни параметрів електропостачання, мінімізувати пікове споживання при цьому знижуючи втрати електроенергії.

Крім того, сучасні тенденції розвитку енергетики передбачають інтеграцію цифрових технологій, систем моніторингу та аналізу даних у процеси керування електроспоживанням. Використання таких підходів у шахтних умовах дозволяє реалізувати принципи інтелектуального керування, що базуються на прогнозуванні споживання електроенергії електрообладнанням до 1000В та оптимізації режимів роботи цих же електроприймачів. Це відкриває можливості для створення енергоефективних систем керування, здатних функціонувати в умовах невизначеності та змінності технологічних процесів видобутку залізної руди.

Таким чином, актуальність теми дисертаційної роботи визначається необхідністю підвищення енергоефективності залізорудних шахт, зниження витрат на електроенергію, забезпечення надійності електропостачання, а також впровадження сучасних інтелектуальних технологій керування електроспоживанням на рівні низьковольтних мереж напругою до 1000В. Розв'язання зазначених завдань має важливе наукове та практичне значення, оскільки сприяє підвищенню конкурентоспроможності гірничодобувних підприємств і забезпечує їх сталий розвиток в умовах сучасності.

Актуальність теми підтверджується й тим, що результати досліджень виконані за пріоритетним напрямом Міністерства освіти і науки України «Енергетика та енергоефективність» у межах держбюджетної науково-дослідницької роботи (номер державної реєстрації 0121U11709) «Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Технічні науки» (Завдання 2). Етап 2 2022 року «Дослідження можливостей використання методу рою часток для оптимізації конфігурації включення автономних джерел живлення».

Зміст та характеристика дисертаційної роботи

У *вступі* наведено аналіз проблем в електроенергетиці гірничодобувної галузі, сформовано мету, наукові завдання та викладено послідовність проведення дисертаційного дослідження.

У *першому розділі* виконане оцінювання сучасного стану функціонування систем промислового електропостачання при діючих технологіях видобутку типових вітчизняних залізрудних шахт, зокрема, Криворізького залізрудного басейну. Доведено, що застосовані раніше традиційні підходи до керування електропостачанням втратили свою актуальність, що обумовлює необхідність нових системних підходів, зокрема залучення до процесу керування не тільки потужних споживачів (підйом, водовідлив, вентиляція тощо) напругою до 6000В, а й електроприймачів напругою до 1000В, споживання електроенергії якими також суттєве.

У *другому розділі* наведено результати аналізу варіативності розбудови систем електропостачання залізрудних шахт. Досліджено стан функціонування систем промислового електропостачання на основних шахтах Криворізького залізрудного басейну та обґрунтовано доцільність розгляду та аналізу процесів електропостачання та видобутку як єдиної стохастичної системи.

У *третьому розділі* викладено результати моделювання процесу функціонування системи електропостачання залізрудної шахти в умовах технологічної невизначеності. Запропоновано математичну модель оптимізації витрат на електроенергію, відмінною рисою якої є застосування кусково-лінійної функції вартості електроенергії. Доведено наявність резерву для оптимізування витрат на електричну енергію шляхом ефективного врахування погодинних тарифів.

У *четвертому розділі* розроблено логіку побудови та роботи системи автоматизованого керування споживанням електричної енергії електроприймачами залізрудної шахти напругою до 1000В на базі генетичного алгоритму. Задачу керування форматована до бінарної форми змішаного цілочисельного програмування. Проаналізовано вплив установок генетичного алгоритму (розмір популяції, елітні фенотипи, методи схрещування) на якість оптимізації, який дозволив встановити найбільш ефективні налаштування.

Загальні висновки, сформульовані здобувачем, є обґрунтованими, коректними та всебічно відображають як теоретичні узагальнення, так і прикладні результати, отримані в ході виконання дисертаційного дослідження. Вони відповідають заявленій меті та науковим завданням.

Бібліографічний опис налічує 177 найменувань. Він засвідчує аналіз сучасного стану досліджуваної проблеми, охоплюючи актуальні вітчизняні та зарубіжні наукові публікації, нормативно-технічну документацію, а також матеріали всеукраїнських та міжнародних конференцій.

Структура роботи є цілісною, раціональною та підпорядкованою логіці послідовного вирішення поставлених завдань. Перехід від аналізу процесів електроспоживання до синтезу евристичної системи керування виконано методологічно грамотно. Основний текст викладено чітко, послідовно та аргументовано, із застосуванням коректного наукового апарату та усталеної галузевої термінології.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Розроблено, на основі відомих локальних рішень, концепцію, котра узагальнює та розширює межі можливостей реалізації заходів щодо підвищення рівня електроенергоефективності комплексів: електропостачання – електроспоживання підприємств із підземними способами видобутку залізної руди; проведено еквіполентування вхідних параметрів для формування схеми алгоритму керування процесом функціонування комплексом: електропостачання – електроспоживання.

2. Обґрунтовано та сформовано, як ефективний в своїй варіативності, новий формат підвищення покрокової досяжності енергоефективності підземних залізрудних підприємств шляхом керованості режимами роботи локальних споживачів електроенергії з відповідним централізованим управлінням рівнями споживання ними електроенергії.

3. Досліджено та проаналізовано показники енергоефективності, вперше виділено взаємопов'язані ланцюги між процесами електропостачання та електроспоживання в умовах підземного гірничорудного виробництва, а також на відміну від існуючих наукових підходів запропоновано виділяти інформаційну стохастичну кількісну складову, що є підґрунтям формування емерджентних властивостей комплексу енергоефективності задля отримання відповідних рекомендацій щодо ефективного керування процесами функціонування електропостачання.

4. Уперше розроблено евристичну систему автоматизованого керування споживанням електричної енергії підземними приймачами залізрудних шахт з напругою живлення до 1000 В на основі генетичного алгоритму, що дозволяє залежно від вартості електричної енергії визначати графік роботи споживачів підземних дільничних підстанцій.

Практична цінність роботи.

Розроблено та рекомендовано для практичної реалізації концепцію з оцінювання та реалізації заходів щодо підвищення електроенергоефективності електроенергетичного комплексу електропостачання – електроспоживання гірничовидобувних підприємств. Сформовано методику з оцінювання існування відповідного резерву при оптимізації рівнів електроспоживання споживачів електроенергетичного комплексу гірничорудних підприємств. Отримано кількісні

оптимізаційні значення затрат щодо рівнів електроспоживання однієї залізрудної шахти протягом доби може бути зменшено на 27,4 %. Розроблено архітектуру евристичної системи керування споживанням електричної енергії електроприймачами напругою до 1000 В на базі еволюційного логічного алгоритму, котра може бути застосована для оптимізації графіку електричних навантажень трансформаторних підстанцій.

Результати досліджень передано до ТОВ «Ракурс» для використання при розробці проєктів модернізації систем електропостачання залізрудних шахт, а також інтегровано у навчальний процес Криворізького національного університету при підготовці здобувачів вищої спеціальності G3 «Електрична інженерія».

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Заклюки І.В. відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям електричної інженерії. Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових результатів, висновків і рекомендацій забезпечується достатнім обсягом репрезентативного статистичного матеріалу зібрано автором особисто в ході експериментальних досліджень на діючих підземних залізрудних шахтах Криворізького басейну.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Кобеляцького Даниїла Віталійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Апробація матеріалів дисертації.

Основні результати дисертації доповідались та обговорювались на міжнародних науково-технічних конференціях («Розвиток промисловості та суспільства», м. Кривий Ріг; «Інформатика. Культура. Техніка», м. Одеса).

Основні результати дослідження викладено в 14 друкованих працях, у тому числі в 1 монографії (видана закордоном англійською мовою), 2 наукових статтях у періодичних виданнях, внесених до бази даних Scopus, 2 статтях у фахових виданнях України та 9 тезах конференцій. У вищезначених публікаціях результати дослідження представлені у повному обсязі.

Недоліки та зауваження до роботи.

1. Автор у тексті роботи декларує перспективність переходу внутрішньошахтних мереж з 0,4 кВ на 0,66 кВ. Проте розроблені математична модель та алгоритм керування не містять корекції на зміну параметрів мережі та величини втрат електроенергії при переході на цей клас напруги. Варто було б уточнити цей момент.

2. У формулі (3.100) вартість електроенергії задана кусково-постійною функцією лише для двох зон («ніч» і «день»). Водночас в Україні вже не застосовуються тарифні зони. Доцільно було б у тексті обґрунтувати обмеження моделі або показати шляхи її математичної адаптації для застосування в умовах ринку електроенергії, оскільки це вплине на оптимізацію графіка роботи електроприймачів напругою до 1000В залізничної шахти.

3. У табл. 3.2, 3.5, 3.8 та 3.11 наведено розрахункові дані для побудови математичних моделей та обчислення автокореляційних функцій, проте обсяг вибірки лише від 15 до 24 точок. Для коректного статистичного аналізу часових рядів, оцінки їх стохастичності та обчислення коефіцієнтів автокореляції такого обсягу даних, як правило, недостатньо. Крім того, у тексті наведено розраховані коефіцієнти кореляції (наприклад, у формулі 3.57) та зроблено висновок про «дуже високий зв'язок» за шкалою Чеддока, однак відсутня перевірка статистичної значущості цих коефіцієнтів.

4. Аналізуючи автокореляційні функції (рис. 3.9, 3.10, 3.13), автор приходить до висновку, що величини споживання електроенергії та видобутку руди «практично не залежать одна від одної, тобто є білим шумом» (формули 3.59, 3.62). Проте для підземної залізничної шахти, де робота чітко прив'язана до змінних графіків (наприклад, робота скреперних лебідок, відкатка), наявність внутрішньозмінних піків є об'єктивною реальністю. Ймовірно, що ефект «білого шуму» є наслідком не стохастичної природи процесу, а недостатньої дискретності або усереднення вхідних даних (малий обсяг вибірки), що «згладжує» реальні технологічні цикли.

5. У розділі 4 при описі роботи генетичного алгоритму не вказана явно обчислювальна складність та час виконання одного кроку еволюції. Для систем класу Smart Grid, концепція яких декларується у вступі як перспектива, критично важливо розуміти, чи встигає алгоритм оновлювати добовий графік за умови зміни вхідних даних (наприклад, при аварійних відключеннях або зміні плану видобутку) у режимі, наближеному до реального часу.

6. Існує певна методологічна розбіжність між доведеним у розділах 2-3 стохастичним характером електроспоживання (наявність «викидів», полімодальність розподілів, авторегресія) та детермінованим добовим плануванням графіків навантажень. Необхідно уточнити, яким чином запропонована евристична система буде компенсувати фактичні відхилення від змодельованого добового графіка в експлуатаційних умовах.

7. У тексті роботи наявні неточності у посиланнях на формули. Наприклад, у розділі 3 після виведення формули (3.99) автор посилається на умови «(2.97), (2.87) та (2.99)», що є помилковим (маються на увазі формули 3.97–3.99).

8. У тексті дисертації трапляються мовні неточності, кальки та неологізми, що не відповідають усталеній науковій термінології в галузі електроенергетики (наприклад, використання слів «еквіполентування», «перевід» замість «еквівалентування» та «переведення», тощо).

Зауваження, представлені у відгуку, не мають принципового характеру та не знижують загальної позитивної оцінки роботи.

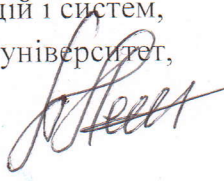
Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Кобеляцького Даниїла Віталійовича на тему «Енергоефективне керування процесом споживання електроенергії приймачами з рівнем напруги живлення до 1000 В залізрудних шахт» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для електричної інженерії. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Кобеляцький Даниїл Віталійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Офіційний опонент:

професор кафедри електричних станцій і систем,
Вінницький національний технічний університет,
доктор технічних наук, професор

 Петро ЛЕЖНЮК

Виконано секретарем
к.т.н., доц.



Ліна Вісник