Висновок
про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації «Нечітке керування режимами електроспоживання електромеханічними системами головних водовідливних комплексів залізорудних шахт» здобувача вищої освіти ступеня доктора філософії за спеціальністю
141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
галузі знань 14 Електрична інженерія

1. Актуальність теми дисертації

Стратегія розвитку України, як і стратегія її енергетики, в комплексі спрямувань, передбачає перш за все зменшення енергоємності ВВП. В свою чергу «дорожня карта» цього спрямування пролягає через вирішення проблеми зменшення енергоємності продукції, яка виробляється перш за все енергоємними підприємствами ряду галузей промисловості. Вагомою складовою серед плеяди енергоємних підприємств держави є підприємства металургійної галузі та її сировинної складової – гірничорудної. Одним із локальних і достатньо ефективних спрямувань в цьому може стати використання, поки, що далеко не використаного, потенціалу власних енергоресурсів вищезгаданих видів промислових підприємств.

В Україні функціонує майже 200 підприємств чорної металургії (на період до 2014 р.), що становить більше 40 % її промислового потенціалу і біля 60% щорічних фінансових валютних надходжень в бюджет держави.

Відповідь на питання: залишиться чи не залишиться Україна в десятці світових лідерів з видобутку та реалізації залізорудної сировини для металургії, лежить перш за все в сфері вирішення проблеми енергоефективності видобутку та переробки цього стратегічного для держави виду корисних копалин.

Між тим, підприємства цієї, базової для економіки держави галузі, є водночас і володарями значного, притаманного саме їм, енергетичного потенціалу, котрий поки що не використовується.

На жаль, слід визнати, що процес впровадження енергоефективних заходів в умовах гірничорудних підприємств держави, котрий реалізується, як правило, в примітивних варіантах, в дійсності проходить в турбулентному режимі з відсутністю системного підходу до цього життєвонеобхідного дійства як для даних підприємств так і для макроекономіки України в цілому.

Кредит довіри в очікуванні часу вирішення проблеми підвищення електроенергоефективності гірничорудного комплексу України в реаліях сьогодення практично вичерпано.

Між тим, в споживчому комплексі енергоспоживання сучасних гірничорудних підприємств електроенергетика складає майже 90 %. Більш того, як свідчать дослідження, саме електроенергетичні затрати є негативно домінуючим фактом зі стійкою тенденцією постійного зростання в економіці цих підприємств.

1.1 Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри

Дисертаційна робота базується на дослідженнях, що виконуються на кафедрі електричної інженерії Криворізького національного університету. Результати дисертаційної роботи одержано під час виконання державної науково-дослідної роботи «Інтеграція розумних технологій побудови електроенергетичних систем у контексті підприємств гірничо-металургійної галузі», держреєстрація № 0121U111709; ініціативних науково-дослідних робіт «Розробка теоретичних положень та практичних рішень по зменшенню енергоємності гірничо-рудних виробництв», держреєстрація № 0121U110199; «Аспекти теорії та практики оцінки електроенергетичної конкурентоспроможності залізорудних підприємств», держреєстрація № 0118U006520.

1.2 Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Усі наукові положення та результати отримані в процесі роботи над дисертаційним дослідженням, що виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно. Здобувачем самостійно отримано усі наукові положення та результати дисертаційного дослідження. В роботах, що опубліковано у співавторстві, особистий внесок здобувача наступний: [2] – реалізовано логістику пошуку на основі математичної моделі водовідведення з підземних горизонтів як стохастичного процесу на основі реальних експериментально отриманих даних діючих залізорудних шахт з визначенням вхідних параметрів; [3] – запропоновано структуру математичної моделі електропостачального комплексу підземних гірничих підприємств, де враховано стохастичний характер його діяльності; [4] – визначено варіант моделі для дослідження роботи насосної станції горизонту діючої залізорудної шахти в програмі MATLAB; [5] – запропоновано схему розподіленої багатоканальної нечіткої системи керування процесами шахтного електроенергоспоживання; [6] – доповнено до відомих варіантів математичну модель насосної станції залізорудної шахти в MATLAB/Simulink; [7] – сформовано загальні методологічні підходи щодо формування прогнозних варіантів водовідливних комплексів з визначенням багатокритеріальної схеми показників споживання електричної енергії в функції їх вартості; [8] – виконано структуру апробації тактики досліджень з моніторингу споживання електричної енергії залізорудними шахтами; [9] – сформовано, як варіант, систему принципів оцінювання електроенергоефективності залізорудних шахт; [10] – проведено чисельне розв'язування рівнянь математичної моделі та візуалізація отриманих результатів в середовищі MATLAB/Simulink; [11] – запропоновано синергетичну математичну модель для оптимізації енергоспоживання за допомогою загальних індексів витрат електроенергії споживачами залізорудних шахт; [12] – визначено алгоритм інтелектуальної системи керування електропостачанням залізорудної шахти з використанням ГАЕС; [13] – виконано дослідження функціональної динаміки

електромеханічних систем насосних агрегатів головних водовідливних комплексів залізорудної шахти; [14] – синтезовано модель водовідливного комплексу з такими стохастичними характеристиками, як середні і дисперсії потужності енергозатрат, обсяги накопичення води і енергозатрати на водовідлив з заданої глибини; [15] – запропоновано систему експертного керування енергоспоживанням шахтними водовідливними комплексами на основі алгоритму нечіткого логічного виводу Мамдані.

1.3 Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій

Ступінь обґрунтованості наукових положень та висновків, сформульованих у дисертаційній роботі, забезпечується коректністю постановки задач, використанням апробованого математичного апарату, а також їх оприлюдненням на міжнародних наукових конференціях. Достовірність наукових положень та висновків дисертаційної роботи підтверджена результатами аналітичних розрахунків з послідуючим впровадженням на промислових об'єктах.

1.4 Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

1. На основі системного підходу з погляду на сучасний період електрифікації гірничорудного виробництва, котрий характеризується значним підвищенням ролі показників техніко-економічної ефективності використання електроенергії в процесі видобутку залізної руди, дослідження сутності енергоємності видобутку, дозволило скорегувати, в новому баченні поточного стану, системостворюючі енергоємні складові споживання електричної енергії енергоємними споживачами підземних залізорудних підприємств як процесу, з оцінюванням характеру його протікання в тому числі найбільш впливового на цей показник – головних водовідливних комплексів.

2. Вперше для розширення кордонів канонічних визначень електроенергоефективності, в контексті сучасних бачень відповідних заходів, як гірничовидобувних підприємств в цілому, так і окремих видів енергоємних споживачів даних підприємств зокрема, запропоновано нову концепцію визначення цього показника, котра відрізняється від попередньої логікою оцінювання впливу електроенергетичної складової на рівень собівартості – базового економічного показника функціонування гірничих підприємств з видобутку конкретного виду корисних копалин.

3. Досліджено новий ефект процесу водовідведення як стохастичного процесу, що дозволило шляхом використання статистичного матеріалу по швидкості накопичення води в підземних виробках побудувати синтезовану математичну модель, котра дає можливість визначити такі характеристики процесу водовідливу як середні та дисперсії, обсяги накопичення води на підземних горизонтах і відповідних енергозатрат на водовідведення з заданих глибин конкретних шахт за визначений поточний період часу. Здобуті

результати дозволяють характеризувати водовідлив не тільки по середнім величинам, але й по дисперсіям, тобто по їх розкиду, що є системоутворюючим показником для формування системи керування електроенергетикою всього водовідливного комплексу.

4. Вперше для розбудови системи керування головними водовідливними комплексами залізорудних шахт обґрунтовано та систематизовано електроенергетичні параметри функціонування електромеханічних систем з доведення залежності їх впливу на режими роботи насосних агрегатів для формування схеми алгоритму як підсистеми керування даним комплексом в варіанті переступної до узагальненої структури керуючої системи.

5. Розроблено авторський варіант експертної системи керування споживанням електричної енергії з можливістю застосування варіанту автоматизованого управління головними водовідливними комплексами залізорудних шахт з вхідними параметрами, як-то водоприплив та погодинна вартість електроенергії та вихідним – загальна потужність насосів, на базі нечіткого логічного виводу Мамдані, що використовує гладкі функції приналежності гаусової та сигмоїдної форми.

1.5 Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

Монографія

[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. ISBN 978-83-66216-83-9;

Статті в міжнародних виданнях, які внесено до міжнародної науково-метричної бази даних Scopus та Web of Science

[2] V. Baranovskyi, O. Sinchuk, R. Strzelecki, I. Sinchuk, T. Beridze, V. Fedotov, and K. Budnikov. Mathematical model to assess energy consumption using water inflow-drainage system of iron-ore mines in terms of a stochastic. *Mining of Mineral Deposits*, Volume 16, Issue 4, 2022, pp. 19-28, https://doi.org/10.33271/mining16.04.019 (Scopus);

[3] V. Baranovskyi, O. Sinchuk, R. Strzelecki, T. Beridze, I. Peresunko, D. Kobeliatskyi, and V. Zapalskyi. 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, Issue 3, 2023, pp. 93-101, https://doi.org/10.33271/mining17.03.093 (Scopus);

Статті у фахових наукових виданнях України

[4] V. Baranovskyi, K. Budnikov, I. Sinchuk, A. Somochkyn, S. Somochkyna, O. Danilin. Modeling tools for improving energy efficiency of water drainage complexes at iron ore underground mines. *Herald of Advanced Information Technology 2022*; Vol.5 No.1, pp. 40 – 51. DOI: https://doi.org/10.15276/hait.04.2022.4 (Фахове видання категорія Б);

[5] Барановський В. Д., Будніков К. В., Сінчук О. М., Михайленко О. Ю., Купін А. І., Пересунько І. І., Нечітка система керування процесами

«енергопостачання-енергоспоживання» в енергосистемах залізорудних шахт з розподіленою генерацією. *Гірничий вісник*, Вип. 110, 2022, с. 46-53. (Фахове видання категорія Б);

[6] Барановський В. Д., Коломіц 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. (Фахове видання категорія Б);

[7] Baranovskyi V., Budnikov K., Sinchuk I., Beridze *T.*, Fedotov V., Peresunko I. Modelling basic parameters to control a local power complex of water drainage facilities at iron ore mines. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2022. № 1. с. 33–38 DOI: 10.30929/2072-2052.2022.1.57.33-38 (Фахове видання категорія Б);

[8] Барановський В., Сінчук О., Берідзе Т., Пересунько І., Сінчук І., Артеменко А. Засадничі імперактиви моніторингу енергоорієнтованих режимів споживання електричної енергії на залізорудних підприємствах. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2022. № 2. с. 24–30 DOI: 10.30929/2072-2052.2022.2.58.24-30 (Фахове видання категорія Б);

Тези доповідей на міжнародних наукових конференціях

[9] Барановський В.Д., Будніков К.В., Краснопольський Р.І. Теоретичні імперативи енергоефективності залізорудних підприємств. Всеукраїнська науково-практична конференція студентів та молодих учених «Актуальні питання енергоефективності гірничо-металургійного виробництва» 25-27 листопада, 2021 р., Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, 2022 р., с. 26-27;

[10] V. Baranovskyi, O. Chornyi, V. Busher, V. Kuznetsov, P. Hubskyi, O. Lelikova, "Improving the Energy Efficiency of a Mine Drainage Installation by Means of an Industrial Electric Drive", 2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPI Week), October 03-07, 2022, pp. 541–545.

[11] Baranovskyi, V., Sinchuk, O., Beridze, T., Sinchuk, I., (2022). Simulation Version of Evaluating Corporate Power Consumption by Consumers of Iron Ore Mines Using Nonlinear Optimization Means. 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). October 20-22, 2022, Kremenchuk, Ukraine doi: https://doi.org/10.1109/mees58014.2022.10005744

[12] V. Baranovskyi, I. Sinchuk, O. Mykhailenko, A. Kupin, O. Ilchenko, K. Budnikov "Developing the algorithm for the smart control system of distributed power generation of water drainage complexes at iron ore underground mines," 2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 2022, pp. 116-122, doi: 10.1109/ESS57819.2022.9969263;

[13] V. Baranovskyi, O. Sinchuk, A. Somochkyn, I. Sinchuk, V. Fedotov, S. Somochkyna, "Simulation-based investigations to assess directions of improving energy efficiency of main water drainage complexes at underground mines", "Problems of Energy Management System – PEMS", VIII Міжнародна конференція «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку –

PEMS'22», Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», листопад 15-17, 2022.

[14] Барановський В.Д., Сінчук О.М., Берідзе Т.М. Системоутворюючі складові оцінювання рівнів коливань спожитої залізорудними підприємствами електроенергії. Міжнародна науково-технічна конференція Розвиток промисловості та суспільства. Криворізький національний університет. Кривий Ріг, 2023. С. 81.

[15] Baranovskyi V., Mykhailenko O., Shchokin V., Karabut N., Kolomits H. Power consumption control of multi-pump systems of the main water drainage in underground mines based on the Mamdani fuzzy inference system. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (ICSF 2023). Vol. 1254. Article 012046. DOI: 10.1088/1755-1315/1254/1/012046.

1.6 Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо

Основні результати дисертаційного дослідження доповідались на конференціях:

– всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та молодих учених «Актуальні питання енергоефективності гірничо-металургійного виробництва», КНУ, м. Кривий Ріг, 2021 р.;

– IEEE International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW), м. Кременчук, October 03-07, 2022, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University;

– IEEE 8th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY SMART SYSTEMS, м. Київ, October 12-14, 2022;

– IEEE Kremenchuk University Week: 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), October 20-22, 2022, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University;

– міжнародній науково-практичній та навчально-методичній конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку» ("Problems of Energy Management System – PEMS"), Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, 2022 р.;

– міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток промисловості та суспільства», КНУ, м. Кривий Ріг, 2023 р.;

– IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (ICSF 2023), 2023.

1.7 Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати

Практичне значення отриманих результатів роботи:

– результати роботи використовуються у Криворізькому національному університеті на кафедрі електричної інженерії для підготовки фахівців за

спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», що підтверджено актом про впровадження.

1.8 Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані

Практичне значення отриманих результатів роботи:

– розроблено та запропоновано як варіант для подальшого використання методику оцінювання рівнів споживання електричної енергії енергоємними споживачами залізорудних шахт в цілому та базових в цьому комплексі – головних водовідливних комплексів зокрема;

– запропоновано синтезовану модель, котра дозволяє визначати такі стохастичні характеристики процесу водовідливу, як середні і дисперсії потужності енергозатрат на водовідлив, обсягів накопичення води на підземному горизонті шахти і енергозатрат на водовідлив з заданої глибини за визначений час;

– здобуті результати дозволяють характеризувати процес водовідливу не тільки за середніми величинами, але й по дисперсіям, тобто по їх розкиду.

– форматизовано двоєдиний алгоритм функціонування системи керування водовідведенням залізорудних шахт шляхом реалізації максимальнодосяжного електроенергетичного потенціалу функціональних електромеханічних параметрів агрегатів насосних модулів з асинхронним двигунами та в функції обсягів водоприпливу і «плаваючих» в годинах доби тарифів на постачаєму електроенергію;

– одержані в процесі наукового пошуку результати впроваджено шляхом передачі відповідних дослідницьких матеріалів для їх практичної реалізації спеціалізованим підприємствам з проєктування та монтажу систем електропостачання гірничорудних виробництв: НВО «Ракурс» (м. Кривий Ріг) та ТОВ «Рудомайн» (м. Кривий Ріг), що підтверджено відповідними актами про впровадження.

Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Стиль викладання та глибина подання матеріалу дозволяють оцінити дисертаційну роботу Барановського В. Д. як завершену наукову працю. Тема дисертації, «Нечітке керування режимами електроспоживання електромеханічними системами головних водовідливних комплексів залізорудних шахт», її зміст, висновки та положення відповідають спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, і вимогам порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінетом Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

У ході обговорення дисертації до неї не було висунуто жодних зауважень щодо самої суті роботи.

2. З урахуванням зазначеного, на засіданні кафедри електричної інженерії ухвалили:

2.1 Дисертація Барановського Владислава Дмитровича здобувача вищої освіти ступеня доктора філософії «Нечітке керування режимами електроспоживання електромеханічними системами головних водовідливних комплексів залізорудних шахт» є завершеною науковою працею, у якій отримала подальший розвиток теорія нечіткого керування енергоспоживанням водовідливного комплексу залізорудних шахт, на основі нечіткого логічного виводу Мамдані отримано вираз для визначення необхідної потужності насосів в залежності від водоприпливу та погодинної вартості електроенергії, що дозволяє спростити структуру системи нечіткого керування та зменшити електроенергозатрати на 8-11 %, що має важливе значення для галузі знань 14 Електрична інженерія.

2.2 Основний зміст результатів дисертаційної роботи відображено в 15-ти наукових працях, в тому числі: в 1-й монографії, 2-х статях у міжнародних періодичних виданнях, які внесенні до міжнародної науково-метричної бази даних Scopus, 5-ти статтях у фахових наукових виданнях, 7-ми матеріалах конференцій.

2.3 Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

2.4 З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Барановського Владислава Дмитровича здобувача вищої освіти ступеня доктора філософії дисертація «Нечітке керування режимами електроспоживання електромеханічними системами головних водовідливних комплексів залізорудних шахт» рекомендується для подання до розгляду та захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

За затвердження висновку проголосували науково-педагогічні працівники кафедри електричної інженерії:

1. д-р техн. наук, професор, зав. каф. Сінчук О. М. (науковий керівник здобувача)
2. д-р екон. наук, професор, Берідзе Т. М.
3. канд. техн. наук, доцент Касаткіна І. В.
4. канд. техн. наук, доцент Михайленко О. Ю.
5. канд. техн. наук, доцент Осадчук Ю. Г.
6. канд. техн. наук, доцент Пересунько І. І.
7. канд. техн. наук, доцент Сінчук І. О.
8. канд. техн. наук, доцент Сьомочкин А. Б.
9. канд. техн. наук, доцент Федотов В. О.
10. ст. викладач Кальмус Д. О.

та запрошені:

11. проректор з наукової роботи Криворізького національного університету д-р техн. наук, доцент Бровко Д. В.

– від кафедри електромеханіки:

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

13. канд. техн. наук, доцент Рожненко Ж. Г.

– від кафедри теплоенергетики:

14. д-р техн. наук, професор, зав. каф. Замицький О. В.

– від кафедри комп'ютерних систем та мереж:

15. д-р техн. наук, професор Купін А. І.

– від кафедри моделювання та програмного забезпечення:

16. д-р техн. наук, доцент Котов І. А.

– запрошені з інших організацій:

17. Державний університет економіки і технологій, канд. техн. наук, доцент, ст. наук. співробітник Пироженко А. В.

Також присутні аспіранти кафедри електричної інженерії: Власюк В. П., Левченко В. О., Кобеляцький Д. В.,Шерстньов Ю. В. (участі у голосуванні не приймали).

З присутніх – 7 докторів наук та 9 кандидатів наук – фахівці за профілем представленої дисертації.

«ЗА»	**сімнадцять**
«ПРОТИ»	**немає**
«УТРИМАЛИСЬ»	**немає**

Головуючий на засіданні кафедри,
завідувач кафедри комп'ютерних систем
та мереж, д-р техн. наук, професор _____ Андрій КУПІН

«22» лютого 2024 р.