

Сінчук Олег Миколайович, д.т.н., проф., завідувач кафедри електричної інженерії, +38(096)387-65-59, speet@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-7621-9979

Криворізький національний університет

вул. Віталія Матусевича, 11, Кривий Ріг, Україна, 50027

Сінчук Ігор Олегович, к.т.н., доцент кафедри електричної інженерії, +38(067)465-55-54, olegovich.s@knu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-7702-4030

Криворізький національний університет

вул. Віталія Матусевича, 11, Кривий Ріг, Україна, 50027

Барановська Міла Леонідівна, к.т.н., доцент кафедри електромеханіки, +38(067)159-59-80, baranovska@knu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-8082-1305

Криворізький національний університет

вул. Віталія Матусевича, 11, Кривий Ріг, Україна, 50027

Яловий Олександр Романович, аспірант кафедри електричної інженерії, +38(096)953-23-79, yalovoy2001@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-1356-2987

Криворізький національний університет

вул. Віталія Матусевича, 11, Кривий Ріг, Україна, 50027

ШТРИХИ ДО ДОЦІЛЬНОСТІ НОВОГО ФОРМАТУ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Анотація. У статті в узагальненому виді наведені основні проблеми стану в сьогоденні електроенергетики держави та систем електропостачання промислових підприємств зокрема. Підтверджено, в рамочному варіанті, позитиви розбудови сучасних систем електропостачання енергоенергетичних спрямувань для масштабів енергоємних підприємств. Приведено авторське бачення того, що визначення очікуваних рівнів електроенергоефективності таких варіантів електроенергетичних структур на основі існуючих канонізованих визначень цього показника не може бути коректним. Обґрунтовано, що для пошуку дієвого-усучасненого варіанту визначення показника енергоефективності взагалі та електроенергоефективності зокрема, потрібен новий формат, для розробки якого потрібна відповідна наукова дискусія. Стверджується, що невизначеність в оцінюванні показника енергоефективності в сучасних умовах розвитку нових форматів енергопостачання не є лише недостатньою некоректністю, в рівні його значення, а являє собою певну перешкоду в розвитку нових сучасних електроенергетичних систем промислових виробництв. В якості варіанту визначення електроенергоефективності промислових підприємств запропоновано авторське бачення оцінювання цього показника, але це як варіант для подальшої наукової дискусії з цього питання.

Ключові слова: системи електропостачання, енергоефективність, електроенергоефективність, показник, рівень.

Sinchuk Oleh, Doctor of Technical Sciences, Prof., Head of the Electrical Engineering Department, +38(096)387-65-59, speet@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-7621-9979

Kryvyi Rih National University

11, Vitalii Matusevich Str., Kryvyi Rih, Ukraine, 50027

Sinchuk Ihor, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Electrical Engineering Department, +38(067)465-55-54, olegovich.s@knu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-7702-4030

Kyryvyi Rih National University

11, Vitalii Matusevich Str., Kyryvyi Rih, Ukraine, 50027

Baranovska Mila, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Electrical Mechanics Department, +38(067)159-59-80, baranovska@knu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-8082-1305

Kyryvyi Rih National University

11, Vitalii Matusevich Str., Kyryvyi Rih, Ukraine, 50027

Yalovyi Oleksandr, PhD student (Engineering) of the Electrical Engineering Department, +38(096)953-23-79, yalovoy2001@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-1356-2987

Kyryvyi Rih National University

11, Vitalii Matusevich Str., Kyryvyi Rih, Ukraine, 50027

STROKES TO EXPEDIENCY OF THE NEW FORMAT OF DETERMINATION OF THE LEVEL OF ELECTRIC POWER EFFICIENCY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

Abstract. The article in a generalized form presents the main problems of the state in the present electric power industry of the state and power supply systems of industrial enterprises in particular. Confirmed, in the frame version, the positive development of modern power supply systems for energy-intensive enterprises. The author's vision is given that the determination of the expected levels of electric power efficiency of such variants of electric power structures on the basis of existing canonized definitions of this indicator cannot be correct. It has been substantiated that in order to find an effective and modernized option for determining the indicator of energy efficiency in general and electricity efficiency in particular, a new format is needed, the development of which requires an appropriate scientific discussion. It is argued that the uncertainty in assessing the energy efficiency indicator in modern conditions of development of new formats of energy supply is not only insufficient incompetence, in the level of its value, but represents a certain obstacle in the development of new modern electric power systems of industrial production. As an option for determining the power efficiency of industrial enterprises, the author's vision of evaluating this indicator is proposed, but this is as an option for further scientific discussion on this issue.

Keywords: power supply systems, energy efficiency, electricity efficiency, indicator, level

Постановка проблеми. Енергетичний сектор України взагалі, та її складовий – електроенергетичний зокрема, з ряду як об'єктивних, так і суб'єктивних, причин сьогодення знаходяться в стані драматизму свого функціонування [1-3]. Системи електропостачання, які експлуатуються (СЕП) промислових підприємств, як і інших галузей, морально і фізично застарілі, як і застарілі технології цих виробництв. В результаті таких двоєдиних факторів впливу – енергоефективність вище згаданих виробництв знижується, що

фактично вже стало драматизмом для економіки даних підприємств – базових для макроекономіки України [4, 5].

Ніколи ще за всю новітню історію України – держави, питання недостатності генеруючих обсягів електроенергії (ЕЕ) і, відповідного, зменшення обсягів її поставок підприємствам, не стояло так гостро, як зараз. Зрозуміло, що в найближчі періоди часу наростити обсяги виробництва ЕЕ до бажано-необхідних рівнів шляхом відновлення виведених з ладу генеруючих потужностей не реально. Проте, цей шлях треба «прокладати» у відповідності до можливостей та ситуації.

В такій ситуації, поряд з традиційно апробованими заходами, ефективним виглядає підвищення ефективності використання тих обсягів ЕЕ, котрі спроможні реально виробити діючі електростанції.

При цьому, як доповнення до вищенаведеного, зазначимо, що в значних по кількості наукових публікацій, які в побуті, ми нерідко чуємо поняття «енергозбереження» чи то «енергозаощадженість» [5-7]. Не вдаючись в дискусію зазначимо лише, що вищезазначені терміни, як і їх суть, є складовими комплексного поняття енергоефективності, а на практиці – в процесі споживання ЕЕ, перш за все, в будь-якому визначенні, повинен витримуватись принцип балансу між обсягами виробництва та обсягами споживання електроенергії.

В цілому, прямі негаразди в енергетиці в загалі та електроенергетиці, зокрема, кумулятивно спричиняють своїм негативним віддзеркалюванням в інших галузях, в тому числі, перш за все, в промисловому секторі держави.

Зрозуміло, що мінімізація впливу цього негативу це проблема не з простих. Між тим, необхідність вирішення проблеми підвищення рівня енергоефективності підприємств не підлягає дискусії, яка, якщо і буде мати місце в цьому процесі, то лише у вигляді варіантів менш матеріалозатратних шляхів для цього.

В узагальненому, та дещо спрощеному варіанті, реалізація енергетичної безпеки України передбачає два основні напрямки.

Реалізація першого напрямку забезпечує:

- максимальне використання наявних власних енергоресурсів і джерел енергії завдяки інтенсифікації власних обсягів виробництва, поглиблення глибин переробки, нових технологій перетворення енергії, використання вторинних енергоресурсів;

- уникнення монопольної залежності поставок енергоносіїв із закордону через диверсифікацію джерел імпорту енергоносіїв та засобів транспортування;

- модернізація основних фондів, у першу чергу підприємства паливно-енергетичного комплексу (ПЕК);

- розроблення сукупності заходів для забезпечення життєдіяльності економіки на випадок непередбачуваних обставин у ПЕК чи з поставками паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР).

Реалізація другого напрямку має забезпечити:

- зміну структури промислового виробництва завдяки зменшенню питомої ваги енерго- та ресурсоємних галузей;

- комплексну модернізацію «переозброєння» господарських комплексів України на основі енергозбереження, упровадження найновіших енергозберігаючих технологій, сучасних телекомунікаційних та комп'ютерних мереж;

- зменшення рівня неефективності використання ПЕР та вторинних енергоресурсів;

- розширення використання альтернативних джерел енергії;

- формування у населення держави енергозберігаючого світогляду.

Аналіз спрямувань, згідно пріоритетів реалізації обох напрямків забезпечення енергетичної безпеки, вказує на необхідність підвищення ефективності виробництва ЕЕ та підвищення енергоефективності всіх, і в першу чергу, промислових галузей, підприємствами котрих споживається більша частина загального обсягу виробництва електроенергії [8].

Тобто, в даний час, об'єктивно формуються умови, котрі сприяють креативному пошуку принципово нового, спорідненого підходу як з боку

генеруючих, так і з боку підприємств – споживачів ЕЕ, для забезпечення необхідних обсягів енергоресурсів для всіх галузей промисловості і населення.

В свою чергу, в двоєдиному напрямку підвищення процесу: енерговиробництво – енергоспоживання ЕЕ, зі сторони споживачів – підприємств, основними, або точніше, базовими спрямуваннями можливостей підвищення рівня електроенергоефективності їх СЕП є наступні:

- заміна існуючих енергонеефективних технологій виробництв на енергоспрямовані;
- заміна існуючих структур систем електропостачання на сучасні енергоефективні, в тому числі, з розосередженою генерацією і, перш за все, з автономними джерелами виробництва електроенергії на основі власних паливно-енергетичних ресурсів підприємств;
- введення в практику функціонування СЕП сучасних управлінських концепцій керованості електроенергетичними процесами в даних структурах, включаючи варіанти Smart Grid, Microgrid, SCADA, DMS, EMS, Freedom, ENERGY Routers і такі подібні;
- заміна застарілого електрообладнання на нові енергоефективні типи;
- витримання на стандартних рівнях показників якості електроенергії та вирішення питання мінімізації втрат електроенергії при її транспортуванні по внутрішнім лініям електропередач і в самих локальних споживачах підприємств;
- витримання технологічної та екологічної безпеки з внесенням відповідних заходів при проєктуванні та в послідуочій практичній їх реалізації, а також в процесі експлуатації систем електропостачання;
- пошуки можливостей прямих і непрямих електроенергетичних послуг для населення та близько розташованих підприємств житлово-комунального господарства (ЖКГ).

Не заглиблюючись в аналіз пріоритетність застосування тих чи інших заходів зазначимо, що всі вони мають свій значний потенціал в підвищенні рівнів електроенергоефективності і всі вони, в ідеалі, повинні реалізовуватись. Проте, не відхиляючи не єдиного з цих заходів, зазначимо, що найбільш необхідним і

найбільш реалізуємим виступає створення синергетичних СЕП, або як їх кваліфікують – мереж з розподільчою генерацією електроенергії [9-12]. Безумовно ці системи для достатньої ефективності повинні реалізовуватись з можливістю управлінських дій в процесі керованості електроенергетичними процесами в них [13-19].

В сьогоднішній цей захід – такі структури СЕП і рівні їх керованості, оцінюються як пріоритетно енергоефективні [20-23]. При цьому потрібно розуміти, що саме формат визначення рівня енергоефективності є не тільки показником – фактом стану, а й націлює на нові досягні для реалізації заходи з підвищення цього показника в практиці функціонування СЕП.

Водночас ці варіанти, котрі ми спонтанно оцінюємо як енергоефективні, в дійсності не формуються в своєму визначенні в існуючий і загальноживаний канонічний варіант визначення поняття енергоефективності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізуючи з певним рівнем коректності результати наукового пошуку в даному спрямуванні слід зазначити, що варіативність пропозицій щодо визначення рівня енергоефективності в історії електроенергетики існує немалий період часу. При цьому різні дослідники по різному і з різних позицій обґрунтовували свою думку з цього приводу.

У [4] наведено цікавий аналіз зі стану електроенергоефективності гірничих підприємств та зроблено спробу до розширення цього показника для умов даних видів промислових підприємств.

У [5] надано достатньо широкий аналіз існуючих показників енергоефективності та зроблено перші кроки для їх ревізії та аналізу з метою розробки достатньо ефективних визначень поняття енергоефективності в сучасному баченні цього показника.

У працях [24-26] розглядаються питання та шляхи підвищення ефективності СЕП для різних видів промислових підприємств, але стосовно визначення цього показника мова там не йшла.

Таким чином, оцінюючи відомі наукові публікації, в яких йшла мова про енергоефективність, логічно визначається теза про необхідність пошуку

оптимальних варіантів визначення поняття енергоефективності взагалі та електроенергоефективності зокрема.

Мета дослідження. Обґрунтування невідповідності існуючого формату оцінювання енергоефективності промислових виробництв в умовах впровадження нових варіантів систем електропостачання та авторські пропозиції щодо наукової дискусії з переформатування аналізуємого показника в сучасному його баченні.

Завдання пошуку. Наукова задача пошуку полягає в аналізі та оцінюванні узагальненої можливості та недостатності існуючого канонічного визначення повноти поняття енергоефективності, та необхідності зміни його формату на варіант, котрий дасть можливість оцінювання з достатньою достовірністю рівень ефективності використання електроенергії в умах як існуючих, так і новітніх структур систем енергопостачання промислових підприємств.

Виклад основного матеріалу дослідження. В практиці оцінювання рівня енергоефективності підприємств взагалі та електроефективності, зокрема, існує ряд варіантів [4]. Не вдаючись прискіпливо в їх аналіз, зазначимо, що для отримання реальних показників електроенергоефективності використання енергії у виробництві, а також для визначення та оцінювання рівнів ефективності заходів їх поліпшення, необхідні об'єктивні показники, які могли б відобразити реальний стан і водночас давали б можливість вбачання орієнтирів з реально досяжним потенціалом можливостей очікуємих та бажаних рівнів.

При цьому логічно, що саме від якісного оцінювання цього показника в значній мірі будуть залежати реалії досягнення мети.

Одним із варіантів визначення енергоефективності є коефіцієнт корисності використання (ККВ) електроенергії [4]. На думку авторів цієї пропозиції ККВ дає можливість судити про досконалість енергопостачального процесу в цілому, включаючи його науково-технічний рівень, організацію управління та культуру експлуатації. ККВ можна визначити для окремого енергоспоживаючого процесу, окремого підприємства, установи, міста, областей в цілому. Тобто ККВ постає як найважливіший показник ефективності процесу енергопостачання – електроспоживання як держави в цілому, так і будь-якого окремо взятого

підприємства – складової ланки узагальненого показника. По співвідношеннях часткових ККВ можна судити про енергетичну ефективність як кожної ланки, так і всього енергетичного комплексу.

Стосовно підприємств, і особливо енергоємних видів, то тут одним з критеріїв їх електроенергоефективності, котрий дозволяє оцінювати його динаміку і тенденції до змін, є показник енергоекономічного рівня виробництва (ЕЕРВ) [4].

ЕЕРВ дозволяє проводити оцінювання рівнів реалізації енергоефективних технологій, енергоекономічних схем, енергоефективного обладнання тощо:

$$EERB = \frac{D}{\sum W}, \quad (1)$$

де D – результат господарської діяльності виробництва, тис. грн;

$\sum W$ – сумарне споживання електроенергоресурсів на технологічні цілі, тощо.

У найбільш усучасненому в сьогоденні – канонічному варіанті, енергоефективність взагалі, та електроенергоефективності зокрема визначається формулою:

$$E = \frac{W}{P}, \quad (2)$$

де W – обсяги електроенергії, спожитої промисловими підприємствами, кВт·год;

P – кількість виробленої продукції.

У недалекому майбутньому в форматі цієї ж формули вживалось поняття – питома вага електроенергії на одиницю виготовленої продукції. І перше, і друге визначення були логічними і реальними на час, коли експлуатувались СЕП з централізованими способами постачання ЕЕ, що генерується. Стосовно сучасних варіантів структур СЕП та засобів керування електричними процесами в них, то тут апіорно виникають сумніви щодо достатності такого визначення, оскільки головна генеральна мета досяжності нових структур СЕП – ефективне використання ЕЕ, котра надається підприємству шляхом керованості

енергопотоків на основі прогнозного оцінювання необхідних обсягів їх споживання в поточному часі кожним приймачем індивідуально з загального комплексу споживачів із залученням до цього автономних джерел живлення, функціонуючих в тому числі на основі власних паливно-енергетичних ресурсах.

Тобто, формально в такому варіанті СЕП загальні обсяги споживання ЕЕ не змінюються – не зменшуються. Але за рахунок джерел розосередженої генерації та керування їх розподілом між споживачами в часі з урахуванням добових тарифів на ЕЕ сума матеріальних сплат підприємств-споживачів електроенергії централізованим зовнішнім енергопостачальним організаціям зменшується [12]. Тобто, позитивний вплив на внутрішню економічну ситуацію з боку електроенергетики має місце, а рівень електроефективності цього заходу згідно з формулою (2) вирахувати неможливо.

Висновки.

1. Прогресивність процесу пошуку й отриманні позитивні рішення варіантів розбудови енергоефективних систем електропостачання промислових підприємств та сучасні засоби керування електричними процесами в них, потребують розробки нового усучасненого варіанту з оцінювання рівня їх енергоефективності.

2. Одним із можливих варіантів з оцінювання рівня енергоефективності промислових підприємств може бути відсоток матеріальних затрат, котру підприємство витрачає за спожиту електроенергію від загального обсягу собівартості виробництва підприємством конкретного продукту.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», 2017. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>
2. Хоменко І. В., Стасюк І. В. Енергетична безпека України. *Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка*. Харків. Вип. 37. 2019. С. 64-66.
3. Халатов А. А. Енергетика України: сучасний стан і найближчі перспективи. *Вісник Національної академії наук України*. №6. 2016. С. 53–61.
4. Сінчук І. О. Методологічні засади оцінювання електроенергоефективності залізрудних підприємств : монографія. Кременчук : ПП Щербатих О.В., 2019. 284 с.

5. Сінчук І. О., Гузов Е. С., Кальмус В. А. Енергозбереження на підприємствах гірничовидобувної промисловості. Проблеми, шляхи реалізації : монографія : під ред. д-ра техн. наук, проф. О. М. Сінчука. Кривий Ріг-Кременчук : ПП Щербатих О.В., 2016. 342 с.
6. Разумний Ю. Т., Заїка В. Т., Степаненко Ю. В. Енергозбереження : навч. посібн. : 2-ге видання. Дніпро : Національний гірничий університет, 2008. 166 с.
7. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні / Б. Стогній та ін. *Технічна електродинаміка*, 2012. № 5. С. 52–67.
8. Сучасний ринок електричної енергії : навч. посіб. : за ред. д-ра техн. наук, проф. О. М. Сінчука / І. О. Сінчук та ін. Кременчук : ПП Щербатих О. В., 2021. 332 с.
9. Енергоефективність та відновлювальні джерела енергії : під заг. ред. А. К. Шидловського. Київ : Українські енциклопедичні знання, 2007. 560 с.
10. Денисюк С. П. Аналіз та оптимізація енергопроцесів у розосереджених електроенергетичних системах. *Технічна електродинаміка*. 2016. №4. С. 62–64. URL: <https://doi.org/10.15407/techned2016.04.062>
11. Кириленко О. В., Жуйков В. Я., Денисюк С. П. Використання динамічної тарифікації для оптимізації техніко-економічних показників Microgrid на локальних ринках електроенергії. *Технічна електродинаміка*. 2022. № 3. С. 37–48. URL: <https://doi.org/10.15407/techned2022.03.037>.
12. Жаркин А. Ф., Денисюк С. П., Попов В. А. Системы электроснабжения с источниками распределенной генерации. Київ : Наук. думка, 2017. 230 с.
13. Стогній Б. С., Денисюк О. В. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення. *Технічна електродинаміка*. 2010. №6. С. 44–51.
14. Simoes M. G., Farret F. A. Renewable energy systems: Design and Analysis with Induction Generators. Boca Raton, London, New York, Washington, D.C. : CRC Press LLC. 2000. 358 p.
15. Sensitivity analysis of the modeling parameters used in simulation of proton exchange membrane fuel cells / J. Correa and others. *IEEE Transactions on energy conversion*, 2005. Vol. 20. № 1. P. 211–218.
16. Larminie J., Dicks A. Fuel Cell Systems Explained. Chichester, England : John Wiley and Sons, 2000. 402 p.
17. Padvo C. E., Putschev V. Survey of the economics of Hydrogen Technologies. *National Renewable Energy Laboratory, Technical Report*. NREL/TP-570-1079, 1998. 175 p.
18. Silva E.P. Introducao a tecnologia e economia do hidrogenio. Campinas, Brasil : Editora da UNICAMP. 1991. 204 p.
19. Zhu Y., Tomsovic K. Optimal distribution power flow for systems with distributed energy resources. *Electrical Power and Energy Systems*, 2007. Vol. 29. P. 260–267.
20. Harrison G. P., Wallace A. R. Optimal power flow evaluation of distribution network capacity for the connection of distributed generation. *IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution*, 2005. Vol. 152. № 1. P. 115–122.
21. Allocation of losses in distribution systems with embedded generation / J. Mutale and others. *IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution*, 2000. Vol. 147. № 1. P. 7–14.
22. Mendez Quezada V. H., Abbad J. R., San Roman T. G. Assessment of Energy Distribution Losses for Increasing Penetration of Distributed Generation. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2006. Vol. 21. № 2. P. 533–540.
23. Сінчук І.О. Методологічні засади очікування електроенергоефективності залізрудних підприємств : монографія. Кременчук : ПП Щербатих О.В., 2019. 284 с.
24. Brief commentaries on the problem of power consumption management at iron ore underground mines : Multi-authored monograph / I. O. Sinchuk and others. Warszawa: iScience Sp. z. o. o., 2019. 103 p.
25. Peng J. C., Jiang H. Contributions of individual generators to complex power losses and flows. Part 2. Algorithm and simulations. *IEE Proceedings on Generation, Transmission, Distribution*, 2002. Vol. 149. № 2. P. 186–190.

26. Bayoumi E.H.E. Power electronics in smart grid power transmission systems a review. *Int. J. Industrial Electronics and Drives*, 2015. Vol. 2. № 2. P. 98–115.

REFERENCES:

1. Energhetychna strateghija Ukrainy na period do 2035 roku «Bezpeka, energhoefektyvnistj, konkurentospromozhnistj», 2017. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>
2. Khomenko I. V., Stasjuk I. V. Energhetychna bezpeka Ukrainy. *Visnyk Kharkivsjkogho derzhavnogho tekhnichnogho universytetu siljsjkogho ghospodarstva im. Petra Vasylenka*. Kharkiv. Vyp. 37,. 2019. S. 64–66.
3. Khalatov A. A. Energhetyka Ukrainy: suchasnyj stan i najblyzhchi perspektyvy. *Visnyk Nacionaljnoji akademiji nauk Ukrainy*. #6. 2016. S. 53-61.
4. Sinchuk I. O. Metodologhichni zasady ocinjuvannja elektroenerghoefektyvnosti zalizorudnykh pidpryjemstv : monohrafija. Kremenchuk : PP Shherbatykh O.V., 2019. 284 s.
5. Sinchuk I. O., Ghuzov E. S., Kaljmus V. A. Energhozberezhennja na pidpryjemstvakh ghirnychovydobuvnoji promyslovosti. Problemy, shljakhy realizaciji : monohrafija : pid red. d-ra tekhn. nauk, prof. O. M. Sinchuka. Kryvyj Righ-Kremenchuk : PP Shherbatykh O.V., 2016. 342 s.
6. Razumnyj Ju. T., Zajika V. T., Stepanenko Ju. V. Energhozberezhennja : navch. posibn. : 2-ghe vydannja. Dnipro : Nacionalnyj ghirnychij universytet, 2008. 166 s.
7. Evoljucija intelektualnykh elektrychnykh merezh ta jikhni perspektyvy v Ukraini / B. Stoghnij ta in. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2012. # 5. S. 52–67.
8. Suchasnyj rynek elektrychnoji energhiji. : navch. posib. : za red. d-ra tekhn. nauk, prof. O. M. Sinchuka / I. O. Sinchuk ta in. Kremenchuk : PP Shherbatykh O. V., 2021. 332 s.
9. Energhoefektyvnistj ta vidnovljuvaljni dzherela energhiji : pid zagh. red. A. K. Shydlovsjkogho. Kyjiv : Ukrajinsjki encyklopedychni znannja, 2007. 560 s.
10. Denysjuk S. P. Analiz ta optymizacija energhoprocesiv u rozoseredzhenykh elektroenerghetychnykh systemakh. *Tekhnichna elektrodynamika*, 2016. #4. S. 62–64. URL: <https://doi.org/10.15407/techned2016.04.062>
11. Kyrylenko O. V., Zhujkov V. Ja., Denysjuk S. P. Vykorystannja dynamichnoji taryfikaciji dlja optymizaciji tekhniko-ekonomichnykh pokaznykiv Microgrid na lokalnykh rynkakh elektroenerghiji. *Tekhnichna elektrodynamika*, 2022. № 3. S. 37–48. URL: <https://doi.org/10.15407/techned2022.03.037>
12. Zharkyn A. F., Denysjuk S. P., Popov V. A. Systemu elektrosnabzhenja s ystochnykamy raspredelenoj gheracyy. Kyjiv : Nauk. dumka, 2017. 230 s.
13. Stoghnij B. S., Denysjuk O. V. Intelektualjni elektrychni merezhi elektroenerghetychnykh system ta jikhnje tekhnologhichne zabezpechennja. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2010. #6. S. 44-51.
14. Simoes M. G., Farret F. A. Renewable energy systems: Design and Analysis with Induction Generators. *Boca Raton, London, New York, Washington, D.C. : CRC Press LLC*, 2000. 358 p.
15. Sensitivity analysis of the modeling parameters used in simulation of proton exchange membrane fuel cells / J. Correa and others. *IEEE Transactions on energy conversion*, 2005. Vol. 20. № 1. P. 211–218.
16. Larminie J., Dicks A. Fuel Cell Systems Explained. *Chichester, England : John Wiley and Sons*, 2000. 402 p.
17. Padvo C. E., Putshev V. Survey of the economics of Hydrogen Technologies. *National Renewable Energy Laboratory, Technical Report*. NREL/TP-570-1079. 1998. 175 p.
18. Silva E.P. Introducao a tecnologia e economia do hidrogenio. *Campinas, Brasil : Editora da UNICAMP*, 1991. 204 p.
19. Zhu Y., Tomsovic K. Optimal distribution power flow for systems with distributed energy resources. *Electrical Power and Energy Systems*, 2007. Vol. 29. P. 260–267.

20. Harrison G. P., Wallace A. R. Optimal power flow evaluation of distribution network capacity for the connection of distributed generation. *IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution*, 2005. Vol. 152. № 1. P. 115–122.
21. Allocation of losses in distribution systems with embedded generation / J. Mutale and others. *IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution*, 2000. Vol. 147. № 1. P. 7–14.
22. Mendez Quezada V. H., Abbad J. R., San Roman T. G. Assessment of Energy Distribution Losses for Increasing Penetration of Distributed Generation. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2006. Vol. 21. № 2. P. 533–540.
23. Sinchuk I.O. Metodologichni zasady ochikuvannja elektroenerghoefektyvnosti zalizorudnykh pidpryjemstv : monohrafija. Kremenchuk : PP Shherbatykh O.V., 2019. 284 s.
24. Brief commentaries on the problem of power consumption management at iron ore underground mines : Multi-authored monograph / I. O. Sinchuk and others. Warszawa: iScience Sp. z. o. o., 2019. 103 p.
25. Peng J. C., Jiang H. Contributions of individual generators to complex power losses and flows. Part 2. Algorithm and simulations. *IEE Proceedings on Generation, Transmission, Distribution*, 2002. Vol. 149. № 2. P. 186–190.
26. Bayoumi E.H.E. Power electronics in smart grid power transmission systems a review. *Int. J. Industrial Electronics and Drives*, 2015. Vol. 2. № 2. P. 98–115.

Надійшла до редакції 15.01.2025.