

УДК 621.35

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-2-11>

## УПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ SMART GRID ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ В УКРАЇНІ

**Кіншаков Василь Юрійович,**

здобувач освіти

ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»

**Рухлов Артем Володимирович,**

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем

ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»

ORCID ID: 0000-0001-9430-8396

*Авторами статті виконаний аналітичний огляд актуальних літературних джерел із періодичних та інтернет-видань з метою проаналізувати доцільність застосування технологій Smart Grid для повоєнної модернізації енергетичних систем і електрообладнання, а також їхні переваги та недоліки. У статті розглянуто напрями реалізації «розумних» електроенергетичних систем у контексті аналізу процесів генерації, передачі, розподілу та споживання електроенергії для підвищення надійності, покращення керування та забезпечення онлайн-моніторингу цих процесів. Важливим аспектом упровадження технологій Smart Grid під час повоєнної модернізації енергосистеми країни є попередня імплементація основних європейських стандартів, що діють у цій галузі. Тому автори цілком слушно наголошують на цьому й аналізують стан питання з погляду переліку базових стандартів для «розумних» електроенергетичних систем. Автори наводять структуру енергосистеми за концепцією Smart Grid, на прикладі якої визначаються її основні елементи. Також у роботі проведено аналіз проблемних питань упровадження «розумних» електроенергетичних систем в Україні, визначена доцільність використання технологій Smart Grid у вигляді переліку їхніх переваг для галузі та споживача електроенергії. Автори статті дійшли висновку, що повоєнна поетапна модернізація національної електроенергетичної системи за концепцією Smart Grid дозволить значно покращити її ефективність і надійність функціонування, що в підсумку допоможе досягти прийняттого рівня енергетичної безпеки країни. Проте для успішної реалізації такої модернізації потрібно подолати низку викликів, пов'язаних із ресурсними обмеженнями, безпекою обміну інформаційними даними, зниженим кадровим потенціалом і необхідністю імплементації основних європейських стандартів у сфері «розумних» мереж.*

**Ключові слова:** електроенергетичні системи, розумні мережі, модернізація, технології Smart Grid, автоматизація, моніторинг, керування.

### **Kinshakov Vasyi, Rukhlov Artem. Implementation of Smart Grid technologies in the modernization of electric power systems in Ukraine**

*The authors of the article carry out an analytical review of relevant literature from periodicals and Internet publications with the aim of analysing the feasibility of using Smart Grid technologies for the post-war modernization of power systems and electrical equipment, as well as their advantages and disadvantages. The article discusses the areas of smart electricity systems implementation in the context of analysing the processes of generation, transmission, distribution and consumption of electricity to increase reliability, improve management and ensure online monitoring of these processes. An important aspect of the introduction of Smart Grid technologies during the post-war modernization of the national power system is the preliminary implementation in force of the main European standards in this area. Therefore, the authors quite rightly emphasise this and analyse the issue status in terms of the list of basic standards for smart electricity systems. The authors present the structure of the power system according to the Smart Grid concept, which is used as an example to define its main constituent elements. The paper also analyses the problematic issues of implementing smart electricity systems in Ukraine and determines the feasibility of using Smart Grid technologies in the form of a certain list of their advantages for the industry and electricity consumers. The authors of the article conclude that the post-war gradual modernization of the national electricity system based on the Smart Grid concept will significantly improve its efficiency and reliability, which will ultimately help to achieve an acceptable level of energy security of the country. However, for the successful implementation of such modernization, a few challenges need to be overcome, including resource constraints, security of information data exchange, reduced human resources, and the need to implement key European standards in the field of smart grids.*

**Key words:** electric power systems, smart grids, modernization, Smart Grid technologies, automation, monitoring, control.

**Вступ.** В умовах стрімкого розвитку технологій та зростання потреби в підвищенні енергоефективності процесів і обладнання модернізація електроенергетичних систем стає ключовим чинником стійкого розвитку економіки будь-якої країни. Україна, як держава з великим енергетичним потенціалом, не є винятком. Серед сучасних технологій, що сприяють підвищенню ефективності та надійності енергосистем, особливе місце належить технологіям Smart Grid. Їх упровадження в електроенергетичні системи України також може стати вирішальним кроком на шляху до остаточної інтеграції країни в європейські енергетичні систему та ринок.

Технології Smart Grid забезпечують інтеграцію різних компонентів енергосистеми через інтелектуальні інформаційні мережі, що дозволяє оптимізувати виробництво, передачу та споживання електроенергії. Використання сучасних інформаційних технологій у керуванні енергетичними потоками сприяє підвищенню надійності та стабільності електропостачання, зменшенню втрат електроенергії, а також повноцінній інтеграції відновлюваних джерел енергії. Для умов України, де електроенергетичне обладнання потребує суттєвого оновлення, упровадження технологій Smart Grid є не лише доцільним, але й необхідним кроком.

Саме тому стаття має на меті проаналізувати перспективи та виклики впровадження технологій Smart Grid в Україні під час повоєнної модернізації електроенергетичних систем, а також окреслити очікувані технічні й економічні вигоди від реалізації таких проєктів у контексті досягнення прийняттого рівня енергетичної безпеки країни.

**Актуальність проблеми.** Згідно з даними Міністерства енергетики України за довоєнний 2021 р., 61% основного обладнання (силові автотрансформатори та трансформатори, вимірювальні трансформатори, вимикачі) електropідстанцій спрацювало свій розрахунковий технічний ресурс (25 років і більше) [1]. Також 13 тис. км повітряних ліній електропередачі напругою 220–330 кВ експлуатувалися 40 і більше років (64,45% від загальної довжини). Через зношеність 1 124 км ліній напругою 220–800 кВ (4,95% від загальної довжини) потребували повної заміни або реконструкції. Також підлягали капітальному ремонту, реконструкції та заміні розподільні електромережі – 316 тис. км повітряних ліній напругою 0,4–110 кВ та 24 тис. км кабельних ліній електропередачі напругою 0,4–35 кВ. Безумовно, війна тільки значно погіршила стан електроенергетичного обладнання, особливо це стосується крупних підстанцій

і теплових електростанцій. Яким буде стан енергосистеми України після закінчення війни зараз можна тільки передбачати, однак саме він буде тією вихідною точкою для початку поетапної модернізації з використанням «розумних» технологій.

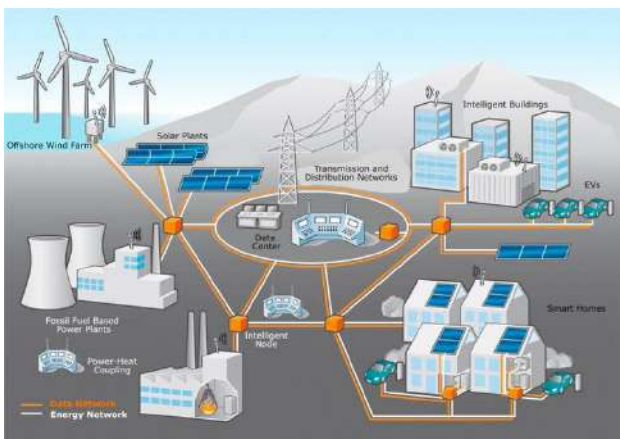
Світові тенденції також потребують масштабної модернізації існуючих електроенергетичних систем для забезпечення ефективної інтеграції «зеленої» енергетики, якісного контролю споживання енергоресурсів, підвищення безпеки експлуатації, зменшення аварійних ситуацій та запобігання таким тощо [2; 3].

З іншого боку, сучасні технології вже зараз пропонують для електроенергетичної галузі інтеграцію відновлюваної енергії в електричних мережах, розумне вимірювання, двоспрямований зв'язок між децентралізованими джерелами генерації електроенергії та центральною системою керування її виробництвом і споживанням, запобігання відключенням електроенергії тощо. Навіть більше, у сучасній енергетичній системі потрібен моніторинг, керування та кібербезпека енергетичних процесів у кожній точці електромережі [4].

Упровадження «розумних мереж» сприятиме створенню електромережі як інтелектуальної системи передачі, розподілу та постачання електричної енергії від виробників електричної енергії до споживачів, інтегрованої з комунікаціями й інформаційними технологіями, такої, що забезпечує поліпшене функціонування енергосистеми з якісним обслуговуванням її користувачів [5; 6]. Зважаючи на стан електроенергетичної галузі та сучасні світові тренди, енергетичною стратегією України на період до 2050 р. поставлені як основні такі цілі: досягнення максимального рівня кліматичної нейтральності; оновлення та модернізація енергетичної інфраструктури; підвищення ефективності використання ресурсів в енергетичному секторі; усебічна інтеграція з ринками Європейського Союзу й ефективне функціонування внутрішніх ринків; розвиток альтернативних джерел енергії, нових продуктів та інноваційних рішень в енергетичному секторі [7].

**Сутність «розумних» електроенергетичних систем.** У довоєнні роки середня тривалість планових відключень у нашій країні становила 478 хвилин, що втричі більше, ніж у Євросоюзі. Також середня тривалість позапланових відключень сягала 683 хвилини, що в 7 разів більше, ніж у ЄС. Водночас технологічні втрати електроенергії на її передачу та розподіл у національних електричних мережах становили майже 12% від загального відпуску,

що в понад 1,5 раза перевищували середньоєвропейський рівень і понад удвічі – рівень втрат у розвинутих країнах. Саме на подолання цих негативних явищ передусім спрямоване впровадження «розумних» мереж. «Smart Grid» – це загальний термін, що характеризує системи генерації, передачі, розподілу електроенергії та споживання з інтегрованими сучасними цифровими технологіями, які в реальному часі оптимізують електрозабезпечення та підвищують його якість. Фактично це така «розумна» електроенергетична система, яка може інтелектуально інтегрувати та керувати роботою всіх її елементів (генератори, мережі, споживачі електричної енергії) з метою забезпечення сталого та гарантованого електропостачання (рис. 1). Реалізація принципів «розумних» електромереж насамперед потребує впровадження та глобалізації автоматизованих систем моніторингу, інтелектуального керування та захисту, щоб мінімізувати або навіть цілком виключити людський фактор [8; 9].



**Рис. 1. Загальна структура електроенергетичної системи за концепцією Smart Grid**

Відповідно до структури «розумної» електроенергетичної системи (рис. 2) можна виділити такі напрями реалізації концепції Smart Grid. *Генерація електроенергії* в системах Smart Grid має свої особливості, згідно з якими замість централізованої (потік електроенергії «згори донизу»), генерація стає розподіленою (додається потік «знизу догори»). Це означає, що з'являється велика кількість джерел енергії, як-от сонячні, вітрові, біогазові, гідро- й інші електростанції, які приєднуються до енергосистеми на напрузі 0,4–35 кВ та створюють так звані мережі Micro Grid, або системи з розподіленою генерацією. Таким системам притаманні власні переваги та недоліки, основними з яких є важкість балансування енергосистеми через

нерівномірність споживання та генерації, переатоки реактивної потужності та значний прояв вищих гармонік, а також проблема накопичення надлишкової електроенергії, через яку необхідно будівництво акумулюючих станцій різного характеру [10–12].



**Рис. 2. Взаємозв'язок елементів «розумної» електроенергетичної системи**

*Передача та розподіл електроенергії.* «Розумні» мережі використовують автоматизовані системи для моніторингу й управління розподілом електроенергії в реальному часі. Це дозволяє операторам мережі швидко реагувати на зміни в попиті та пропозиції. Також технології Smart Grid можуть автоматично виявляти перебої в електропостачанні та відновлювати його, що зменшує час відключення та підвищує надійність електрозабезпечення. Це також дозволяє споживачам виробляти власну енергію та підключатися до розподільних мереж, що зменшує навантаження на централізовані джерела енергії. Однак процеси передачі та розподілу електроенергії потребують насамперед модернізації силового обладнання, комунікаційних та інформаційних пристроїв, автоматизованих систем управління й обліку [2–4].

*Споживання електроенергії.* Технології Smart Grid дозволяють споживачам адаптуватися до змін у виробництві та цінах на енергію, оптимізувати своє споживання відповідно до цих чинників. Споживачі електроенергії економічно зацікавлені зменшувати/зміщувати своє споживання або збільшувати власну генерацію під час пікових навантажень в енергосистемі, щоб збалансувати попит і пропозицію електроенергії. Усе це можливе завдяки технологіям «розумного» вимірювання (Smart Metering) та інтернету речей (Internet of things), які разом створюють більш гнучку, ефективну та стійку систему енергопостачання, яка відповідає потребам сучасного світу [13]. Упровадження



цих технологій потребує модернізації пристроїв обліку, дублювання інформаційного каналу, захисту інформації, урахування електромагнітних випромінювань тощо.

Упровадження європейських стандартів у сфері Smart Grid. Нині основним нормативним документом, який узагальнює стандарти в галузі «розумних» електроенергетичних систем, є стандарт IEC TR 63097:2017 “Smart Grid Roadmap” (Дорожня карта Smart Grid). Цей стандарт містить посилання на понад 450 інших стандартів і їх серій. Варто відзначити, що група стандартів згідно з IEC/TR 63097:2017 становить основний пакет, що є необхідними для майже всіх компонентів архітектури Smart Grid (так звані базові стандарти).

Один із них – це серія стандартів IEC 61850, які визначають архітектуру для автоматизації електроенергетичних об’єктів і протоколи комунікації для інтелектуальних електронних пристроїв. Також вони містять принципи взаємодії різних компонентів системи, як-от сенсори, пристрої управління й інтерфейси для моніторингу й управління. Наступна серія стандартів – IEC 61970/61968, які визначають інтерфейси для обміну даними між різними системами управління енергосистемами. Ці стандарти допомагають забезпечити сумісність та інтеграцію різних компонентів технології Smart Grid, що є важливим для ефективного управління та моніторингу енергосистеми. Серія IEC 62325 визначає загальну інформаційну модель щодо обміну інформацією на енергетичному ринку й управління попитом, стандарти IEC 62056 присвячені системі обліку енергії й обміну даними щодо вимірювання електроенергії, а також управлінні тарифами та навантаженням. Серія стандартів IEC 62056 визначає безпеку даних і комунікацій під час керування енергетичними системами та відповідного інформаційного обміну.

В Україні базові стандарти вже більшою або меншою мірою імplementовано. Основні проблеми стандартизації полягають у детальному аналізі впровадження нових стандартів або актуалізації та скасування чинних стандартів [14].

Реалії України. Отже, упровадження технології Smart Grid потребуватиме подолання деяких викликів, як-от:

– технічна реалізація: «розумні» електроенергетичні системи потребуватимуть модернізації існуючого та встановлення нового енергетичного та комунікаційного обладнання з відповідними грошовими витратами та витратами часу;

– інформаційна безпека даних: збір і обробка великого обсягу даних створюють ризик їх витоку або зловживання;

– нормативне забезпечення: необхідність відповідати міжнародній нормативній базі у сфері Smart Grid може створити додаткові складнощі й уповільнити процес;

– розподілена генерація: проблеми інтегрування відновлюваних джерел енергії в загальну електромережу, балансування генерації та споживання, налаштування систем релейного та мікропроцесорного захисту.

Однак технології Smart Grid мають низку беззаперечних переваг, це:

– підвищення надійності електропостачання: інтелектуальні системи моніторингу та керування електрообладнанням здатні швидко виявляти й усувати несправності, що зменшує час простою та кількість аварійних ситуацій;

– енергоефективність і зменшення втрат: оптимізація виробництва та споживання електроенергії завдяки прогнозуванню попиту та пропозиції зменшує небаланс та знижує витрати на генерацію;

– інтеграція відновлюваних джерел енергії: інтелектуальні системи керування дозволяють більш гнучко використовувати відновлювані джерела, зважаючи на непостійність їхньої генерації;

– економічні переваги: зниження операційних витрат завдяки автоматизації процесів моніторингу та керування електрообладнанням.

У жовтні 2022 р. Кабінет Міністрів схвалив «Концепцію впровадження «розумних» мереж в Україні на період до 2035 р.». Цей документ розроблений за підтримки Світового банку та передбачає повоєнну модернізацію енергосистеми країни вже на сучасних засадах.

Деякі українські компанії уже мають на меті побудову енергосистем за технологіями Smart Grid. Наприклад, компанія «Миколаївобленерго» за фінансової підтримки уряду Литви почала розроблення пілотного проєкту побудови такої системи.

Також компанія «ДТЕК» оголосила про плани повоєнної реконструкції енергетичної інфраструктури в Київській області. Нова мережа створюватиметься з використанням сучасних технологій, інтегрованих у єдину платформу Smart Grid, що спроможна витримати виклики війни та здатна взаємодіяти з відновлюваною генерацією. За планом, розбудова триватиме 10 років та потребуватиме 2,4 млрд євро інвестицій. Проєкт передбачає спорудження «розумної» мережі із 20 000 км нових повітряних

і підземних кабелів, 250 підстанцій, 6 000 трансформаторів і встановлення майже мільйона «розумних» лічильників. Компанія «ДТЕК» планує протестувати нову концепцію мережі протягом трьох років. Саме стільки триватиме пілотний етап в енерговузлі «Ірпінь – Буча – Бородянка», для якого компанія хоче залучити 145 млн євро [9].

**Висновки.** Отже, повоєнна поетапна модернізація національної електроенергетичної системи за концепцією Smart Grid дозволить значно

покращити її ефективність і надійність функціонування, а також допоможе повноцінній інтеграції з європейським енергетичним ринком, що в підсумку допоможе досягти прийняттого рівня енергетичної безпеки країни. Проте для успішної реалізації такої модернізації потрібно подолати низку викликів, пов'язаних із ресурсними обмеженнями, безпекою обміну інформаційними даними, зниженням кадровим потенціалом і необхідністю імплементації основних європейських стандартів у сфері «розумних» мереж.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Міненерго у 2021 р. продовжує здійснювати заходи для надійності роботи електромереж / Міністерство енергетики України. 2021. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/minenergo-u-2021-roci-prodovzhuje-zdijsnyuvati-zahodi-dlya-nadijnosti-roboti-elektromerezh>.
2. Досвід розбудови розумних енергетичних мереж на міжнародному рівні : монографія / І.А. Вакулєнко та ін. ; за ред. С.І. Колосок. Суми : Сумський державний університет, 2019. 109 с.
3. Денисюк С.П. Енергетичний перехід – вимоги до якісних змін у розвитку енергетики. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2019. № 1. С. 7–14.
4. Вплив системи Smart Grid на національну енергетичну мережу / В.Ю. Лободзинський та ін. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2022. № 1. С. 58–62.
5. Формування мережевої інфраструктури інтелектуальних електроенергетичних спільнот в Україні / С.П. Денисюк та ін. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2019. № 2. С. 8–11.
6. Оцінка ризиків при інтеграції відновлюваних джерел енергії до системи електропостачання / Ю.А. Веремійчук та ін. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2022. № 2. С. 64–71.
7. Енергетична стратегія, 2022 р. *Міністерство енергетики України*. URL: <https://www.mev.gov.ua/reforma/enerhetychna-stratehiya>.
8. Олійник С.В. Електричні мережі стануть «розумними». 2021. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/elektrychni-merezhi-stanut-rozumnyumi>.
9. Долінчук С. Smart Grid в Україні: що це таке, навіщо потрібне та коли з'явиться, 2023. URL: <https://mind.ua/publications/20259406-smart-grid-v-ukrayini-shcho-ce-take-navishcho-potribne-i-koli-z-yavitsya>.
10. Карталапов К.М., Чижевський В.В. Розподілена генерація та Smart Grid. 2020. URL: <https://www.ukrlogos.in.ua/10.11232-2663-4139.16.23.html>.
11. Тимченко М.П., Фіалко Н.М. Технології накопичення енергії у складі інтелектуальних систем енергозабезпечення. *Промислова теплотехніка*. 2017. № 4. С. 44–54.
12. Остапчук О.В., Шевченко І.В. Використання гібридних систем на основі відновлюваних джерел в мікромережі : огляд. *Відновлювана енергетика*. 2022. № 4. С. 9–25.
13. Сапожник Д.О., Плечистий Д.Д. Використання інтернету речей для економії енергетичних ресурсів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2023. № 4. С. 39–45.
14. Впровадження базових міжнародних стандартів Smart Grid в Україні: сучасний стан справ / О.В. Кириленко та ін. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2022. № 4. С. 44–53.

#### REFERENCES:

1. Ministerstvo enerhetyky Ukrainy (2021). Minenerho u 2021 rotsi prodovzhuje zdiisniuvaty zakhody dlia nadiinosti roboty elektromerezh [in 2021, the Ministry of Energy continues to implement measures to ensure the reliability of the power grid]. *Elektronnyi resurs*. Retrieved from: <https://www.kmu.gov.ua/news/minenergo-u-2021-roci-prodovzhuje-zdijsnyuvati-zahodi-dlya-nadijnosti-roboti-elektromerezh> [in Ukrainian].
2. Vakulenko, I.A., Kolosok, S.I., Kubatko, O.V. ta in. (2019). *Dosvid rozbudovy rozumnykh enerhetychnykh merezh na mizhnarodnomu rivni: monohrafiia* [Experience in building smart energy networks at the international level: monograph]. Za red. S.I. Kolosok. Sumy: Sumskiy derzhavnyi universytet. 109 s. [in Ukrainian].
3. Denysiuk, S.P. (2019). Enerhetychnyi perekhid – vymohy do yakisnykh zmin u rozvytku enerhetyky [Energy transition – requirements for quality changes in energy sector development]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia*. № 1. P. 7–14 [in Ukrainian].
4. Lobodzynskiy, V.Iu., Buryk, M.P., Petruchenko, O.V., Illina, O.O. (2022). *Vplyv systemy smart grid na natsionalnu enerhetychnu merezhu* [Impact of the smart grid system on the national energy network]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia*. № 1. P. 58–62 [in Ukrainian].

5. Denysiuk, S.P., Korotenko, I.V., Lylo, I.V. (2019). Formuvannia merezhevoi infrastruktury intelektualnykh elektroenerhetychnykh spilnot v Ukraini [Formation of network infrastructure of intellectual electricity communities in Ukraine]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia*. № 2. P. 8–11 [in Ukrainian].
6. Veremiichuk, Yu.A., Zamulko, A.I., Nakhodov, V.F., Stepanenko, V.A. (2022). Otsinka ryzykiv pry intehratsii vidnovliuvanykh dzherel enerhii do systemy elektropostachannia [Assessment of risk for the integration of renewable energy sources into the electricity supply system]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia*. № 2. P. 64–71 [in Ukrainian].
7. Ministerstvo enerhetyky Ukrainy (2022). Enerhetychna stratehiia [Energy strategy]. [Elektronnyi resurs]. Retrieved from: <https://www.mev.gov.ua/reforma/enerhetychna-stratehiya> [in Ukrainian].
8. Oliinyk, S. (2021). Elektrychni merezhi stanut “rozumnymy” [Electric networks will become “smart”]. [Elektronnyi resurs]. Retrieved from: <https://ua-energy.org/uk/posts/elektrychni-merezhi-stanut-rozumnymy> [in Ukrainian].
9. Dolinchuk, S. (2023). Smart Grid v Ukraini: shcho tse take, navishcho potribne ta koly zavytsia [Smart Grid in Ukraine: what it is, why it is needed and when it will appear]. [Elektronnyi resurs]. Retrieved from: <https://mind.ua/publications/20259406-smart-grid-v-ukrayini-shcho-ce-take-navishcho-potribne-i-koli-z-yavitsya> [in Ukrainian].
10. Kartalapov, K.M., Chyzhevskiy, V.V. (2020). Rozpodilena heneratsiia ta Smart Grid [Distributed generation and Smart Grid]. Elektronnyi resurs. Retrieved from: <https://www.ukrlogos.in.ua/10.11232-2663-4139.16.23.html> [in Ukrainian].
11. Tymchenko, M.P., Fialko, N.M. (2017). Tekhnolohii nakopychennia enerhii u skladi intelektualnykh system enerhozabezpechennia [Energy storage technologies within the intellectual energy supply systems]. *Promyslova teplotekhnika*. № 4. P. 44–54 [in Ukrainian].
12. Ostapchuk, O.V., Shevchenko, I.V. (2022). Vykorystannia hibrydnykh system na osnovi vidnovliuvanykh dzherel v mikromerezhi: ohliad [Use of hybrid systems based on renewable sources in microgrid: an overview]. *Vidnovliuvana enerhetyka*. № 4. P. 9–25 [in Ukrainian].
13. Sapozhnyk, D.O., Plechystyi, D.D. (2023). Vykorystannia internetu rechei dlia ekonomii enerhetychnykh resursiv [Using the Internet of Things for Energy Resource Conservation]. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*. № 4. P. 39–45 [in Ukrainian].
14. Kyrlyenko, O.V., Blinov, I.V., Denysiuk, S.P., Zaitsev, Ye.A., Vasylchenko, V.I. (2022). Vprovadzhennia bazovykh mizhnarodnykh standartiv Smart Grid v Ukraini: suchasnyi stan sprav [Implementation of basic international smart grid standards in ukraine: current state]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia*. № 4. P. 44–53 [in Ukrainian].