

В. О. Макоєдова,  
доктор філософії, доцент кафедри цифрової економіки та системного аналізу,  
Державний торговельно-економічний університет  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7518-894X>

DOI: 10.32702/2306-6814.2024.22.101

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ В ЕНЕРГЕТИЦІ

V. Makoiedova,  
PhD, Associate Professor of the Department of Digital Economy  
and System Analysis, State University of Trade and Economics

### INTELLIGENT SYSTEMS IN THE ENERGY SECTOR

**Стаття присвячена аналізу сучасних досліджень щодо використання штучного інтелекту (ШІ) в енергетиці. Зростаючий попит на енергію, необхідність переходу до відновлюваних джерел енергії та забезпечення екологічної стійкості вимагають від енергетичного сектору нових інноваційних рішень. Традиційні методи управління енергетичними системами часто не справляються з динамічними змінами, а тому зростає інтерес до інтелектуальних систем, які можуть ефективно управляти енергетичними процесами.**

**Розглядаються можливості застосування методів ШІ, зокрема машинного навчання та глибокого навчання для оптимізації виробництва та споживання енергії, підвищення ефективності енергетичних систем та забезпечення їх надійності. У статті аналізуються переваги та недоліки використання ШІ в енергетиці, досліджуючи його можливості для прогнозування попиту на енергію, оптимізації управління енергетичними системами, діагностики несправностей, а також для розробки інноваційних рішень для переходу до циркулярної економіки.**

**У дослідженні розглядаються виклики, пов'язані з впровадженням ШІ в енергетиці, такі як недостатній розвиток стандартів та регулювання, брак спеціалістів в галузі ШІ та етичні питання, що виникають при використанні цих технологій. Висновки статті підкреслюють актуальність дослідження перспектив та викликів, пов'язаних з впровадженням інтелектуальних систем в енергетиці, для створення екологічно чистої, ефективної та стійкої енергетичної системи майбутнього.**

**This article analyzes current research on the use of artificial intelligence (AI) in the energy sector. The energy sector is undergoing a rapid transformation driven by factors such as increasing energy demand, climate change concerns, and the need for greater energy security. This transformation is leading to a shift towards renewable energy sources, distributed generation, and smart grids. However, managing these complex energy systems requires new tools and technologies that can handle the vast amounts of data and dynamic changes inherent in these systems. Artificial intelligence has emerged as a potential solution to address these challenges.**

**The article explores the potential applications of AI methods, particularly machine learning and deep learning, for optimizing energy production and consumption, enhancing energy system efficiency, and ensuring their reliability. The article analyzes the advantages and disadvantages of using AI in the energy sector, investigating its capabilities for energy demand forecasting, optimizing energy system management, diagnosing malfunctions, and developing innovative solutions for transitioning to a circular economy.**

**The article examines the challenges associated with implementing AI in the energy sector, such as insufficient development of standards and regulations, a lack of AI specialists, and ethical issues arising from the use of these technologies. The conclusions of the article emphasize the urgency of researching the prospects and challenges associated with implementing intelligent systems in the energy sector to create an environmentally friendly, efficient, and sustainable energy system for**

***the future. The future is expected to see AI used to develop innovative solutions in the energy sector, including smart grids, efficient energy markets, and smart homes. The application of NLP, computer vision, and robotics opens up wide possibilities for innovation in the energy sector. However, the implementation of these technologies requires consideration of ethical aspects as well as the development of effective security mechanisms and data protection measures.***

*Ключові слова: інтелектуальні системи, енергетика, штучний інтелект, машинне навчання, глибоке навчання, енергоефективність, автоматизація.*

*Keywords: intelligent systems, energy sector, artificial intelligence, machine learning, deep learning, energy efficiency, automation.*

## **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ**

Зростаючий попит на енергію, необхідність переходу до відновлюваних джерел енергії та забезпечення екологічної стійкості вимагають від енергетичного сектору нових інноваційних рішень. Традиційні методи управління енергетичними системами часто не встигають за динамічними змінами в енергетичному секторі. Потреба в ефективних та гнучких інструментах управління призводить до зростання інтересу до інтелектуальних систем в енергетиці. Використання методів штучного інтелекту (ШІ), зокрема машинного навчання та глибокого навчання, відкриває широкі можливості для оптимізації виробництва та споживання енергії, підвищення ефективності енергетичних систем та забезпечення їх надійності. Однак, незважаючи на значний потенціал інтелектуальних систем, їх впровадження в енергетиці стикається з низкою проблем, пов'язаних з недостатнім розвитком стандартів та регулювання, недостатньою кількістю спеціалістів в галузі ШІ та етичними питаннями, пов'язаними з використанням інтелектуальних систем. Тому дослідження перспектив та викликів, пов'язаних з впровадженням інтелектуальних систем в енергетиці, є актуальним завданням.

## **АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ**

Вітчизняні науковці Михайлова Л. та Думанський О. проаналізували сучасні інноваційні системи, що забезпечують облік та моніторинг у сфері енергетики та виявили, що використання штучного інтелекту та інших цифрових технологій відкриває нові можливості для організації процесу енергопостачання, а також є потужними інструментами для підтримки принципів сталого розвитку зеленої енергетики [1].

Колларов О. та Скрипник С. аналізують вплив впровадження нейронних мереж в енергетичну галузь інших країн світу, визначаючи його потенціал та виклики для використання на території України [2].

У своїй роботі [3] Foroootan M. та ін. проводять огляд застосування машинного навчання та глибокого навчання в енергетичних системах. Автори підкреслюють потенціал цих технологій для вирішення різних завдань,

таких як прогнозування попиту на енергію та оптимізація управління енергетичними системами. Lei Y. та ін. у статті [4] розглядають застосування машинного навчання для діагностики несправностей у обладнанні. Вони описують різні підходи до використання машинного навчання для аналізу стану обладнання, також зазначаючи перспективи цього напрямку досліджень.

Mansouri M. та ін. зосереджуються на дослідженні використання різних методів глибокого навчання для ідентифікації проблем фотоелектричних систем [5].

У книзі [6] за редакцією Nazari-Heris M. та ін. зібрані різні дослідження, що стосуються оцінки ролі інноваційних методів машинного та глибокого навчання у вирішенні проблем енергосистеми, зосереджуючись на останніх розробках і досягненнях, які покращують планування, експлуатацію та керування енергосистемами.

Sun T. та ін. у статті [7] розглядають методи діагностики несправностей вітрових турбін, які базуються на машинному навчанні. У статті [8] Zhang D. та ін. проводять огляд досліджень та практики застосування глибокого навчання та підкріплювального навчання в розумних енергетичних мережах, описують різні напрямки досліджень в цій галузі та очікувані результати. Zhang Y. та ін. у статті [9] розглядають застосування глибокого навчання в частотному аналізі та управлінні сучасними енергетичними системами.

Однак тема інтелектуальних систем в енергетиці потребує подальшого дослідження.

## **МЕТА СТАТТІ**

Метою статті є аналіз сучасних досліджень щодо використання інтелектуальних систем в енергетиці, визначення основних напрямків їх застосування, виявлення переваг та недоліків, а також оцінка перспектив розвитку цієї галузі.

## **ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Машинне навчання (ML) — це підрозділ штучного інтелекту, що дозволяє комп'ютерам "навчатися" на основі даних без явного програмування. ML-алгоритми використовують дані для виявлення закономірностей та прогнозування майбутніх подій, що дає змогу автоматизувати різноманітні процеси в енергетиці.

Машинне навчання стає все більш популярним у енергетиці завдяки своїй здатності аналізувати великі обсяги даних, що збираються з різних джерел, включаючи датчики, мережеві системи, розумні лічильники та системи управління енергією. Завдяки цьому ML може використовуватися для рішення широкого спектра завдань в енергетиці.

ML-алгоритми можуть використовуватися для прогнозування майбутнього попиту на енергію з урахуванням погодних умов, сезонних факторів, соціально-економічних умов, та інших релевантних факторів. Це допомагає енергетичним компаніям ефективніше планувати виробництво енергії та уникнути необґрунтованих витрат на резервне виробництво.

Алгоритми машинного навчання можуть використовуватися для оптимізації управління енергетичними системами, зокрема, для ефективного розподілу енергії між різними джерелами та споживачами. Це дозволяє знизити витрати на виробництво та транспортування енергії, а також зменшити втрати енергії в мережі.

ML-алгоритми можуть використовуватися для прогнозування виробництва енергії від відновлюваних джерел, таких як вітер та сонце, що дозволяє ефективно інтегрувати їх в енергетичні системи та забезпечити надійне постачання енергії [1, с. 905—906].

ML-алгоритми можуть використовуватися для оптимізації споживання енергії в будинках, підприємствах та інших об'єктах. Це допомагає знизити витрати на енергію та зменшити виділення вуглекислого газу.

Використання ML в енергетиці має ряд переваг, включаючи:

- Підвищення ефективності — ML дозволяє оптимізувати виробництво та споживання енергії, знизити витрати та зменшити втрати енергії.

- Збільшення надійності та безпеки — ML допомагає вчасно виявляти несправності та запобігати аварійним ситуаціям [4].

- Інтеграція відновлюваних джерел енергії — ML дозволяє ефективно інтегрувати відновлювані джерела енергії в енергетичні системи.

- Зменшення шкідливих викидів -ML допомагає знизити споживання енергії та зменшити виділення вуглекислого газу.

Однак використання ML в енергетиці також стикається з рядом викликів:

- Висока вартість впровадження — розробка та впровадження ML-систем вимагає значних фінансових інвестицій.

- Необхідність великого обсягу даних — ML-алгоритми потребують великого обсягу даних для ефективного навчання.

- Проблеми з безпекою та конфіденційністю — ML-системи можуть ставати мішенню для кібератак і зловмисних дій.

- Недостатність стандартів та регулювання: відсутність чітких стандартів та регулювання створює перешкоди для впровадження ML-систем.

Трансформація енергетики за допомогою машинного навчання

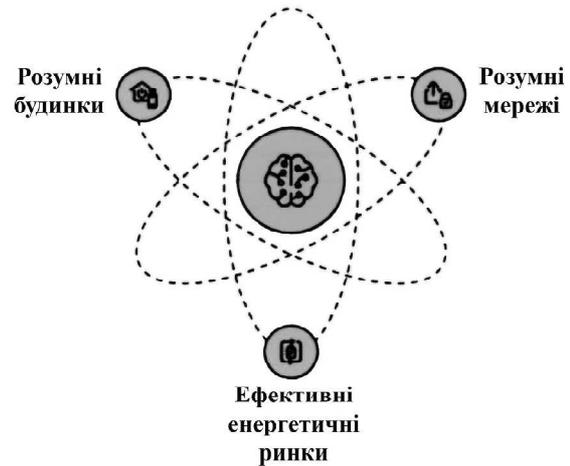


Рис. 1. Можливості машинного навчання у енергетиці

Незважаючи на виклики, ML має великий потенціал для трансформації енергетичного сектору. Очікується, що в майбутньому ML буде використовуватися для розвитку інноваційних рішень в галузі енергетики (рис. 1).

1. ML дозволить створити розумні мережі, які можуть самостійно регулювати потік енергії та забезпечувати надійне постачання енергії;

2. ML допомагатиме створювати ефективні енергетичні ринки, де торгування енергією між виробниками та споживачами відбувається в реальному часі.

3. ML допоможе створити розумні домашні господарства, які можуть оптимізувати споживання енергії та зменшити витрати.

Машинне навчання відкриває широкі можливості для трансформації енергетичного сектору. Незважаючи на виклики, які існують перед впровадженням ML-систем, його потенціал для збільшення ефективності, надійності та стійкості енергетичних систем є незаперечним.

Глибоке навчання (Deep Learning), як розширення машинного навчання, стає все більш популярним у енергетиці завдяки своїй здатності аналізувати складні дані та виявляти залежності, які неможливо визначити за допомогою традиційних методів статистичного аналізу. Deep Learning базується на використанні штучних нейронних мереж, які складаються з багатьох шарів нейронів, що дозволяє обробляти складні залежності в даних (рис. 2).



Рис. 2. Можливості глибокого навчання у енергетиці

Застосування експертних систем в енергетиці

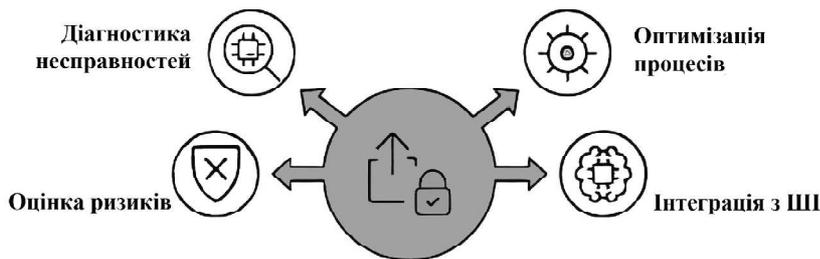


Рис. 3. Експертні системи у енергетиці

Глибоке навчання здатне ефективно обробляти складні багаторівневі структури, такі як енергетичні мережі Smart Grid, де взаємодія численних елементів створює складні та непередбачувані патерни [10].

Глибоке навчання, особливо через використання генеративно-змагальних мереж (GANs), може створювати синтетичні дані для навчання, що дуже корисно в ситуаціях, коли реальних даних недостатньо (наприклад, для симуляції рідкісних аварійних ситуацій у енергетичних мережах).

Deep Learning може використовуватися для оптимізації роботи енергетичних систем. Нейронні мережі можуть аналізувати великі обсяги даних з датчиків і мережових систем для визначення оптимального розподілу енергії між різними джерелами та споживачами. Це дозволяє підвищити ефективність виробництва та транспортування енергії та зменшити втрати енергії [2]. Глибоке навчання може створювати моделі, які адаптуються і навчаються на нових даних без потреби у повному переобчисленні моделі. Наприклад, нейронні мережі, такі як Long Short-Term Memory (LSTM), можуть прогнозувати навантаження на енергетичні мережі, враховуючи історичні зміни та сезонні коливання в режимі реального часу.

Експертні системи (ЕС), як ще один напрямок штучного інтелекту, відіграють важливу роль в енергетиці, допомагаючи вирішувати складні завдання, що вимагають досвіду та знань експертів. Вони базуються на принципі накопичення та структурування знань експертів в базі даних, що далі використовується для аналізу ситуацій та прийняття рішень.

ЕС в енергетиці застосовуються для рішення різноманітних завдань (рис. 3).

Експертні системи можуть використовуватися для швидкого та точного аналізу стану обладнання та мереж. Вони аналізують систему на основі знань експертів та даних, отриманих з датчиків, і видають рекомендації щодо виправлення несправностей.

Експертні системи допомагають оптимізувати роботу енергетичних систем, наприклад, визначаючи оптимальні параметри роботи генераторів, трансформаторів та інших компонентів. Експертні системи можуть використовуватись для оцінки ризиків, пов'язаних з роботою енергетичних систем. Вони аналізують різні фактори, що впливають на надійність системи, та видають рекомендації щодо заходів, що потрібно здійснити для зменшення ризиків.

Отже, як важливий інструмент для прийняття рішень в складних ситуаціях, які вимагають досвіду та знань ек-

спертів ЕС можуть бути використані для діагностики несправностей, оптимізації процесів та управління ризиками. Однак їх розробка і впровадження вимагає значних зусиль та часу, а також обмежені знаннями, що закладені в базу даних. Проте інтеграція експертних систем з системами машинного навчання та глибокого навчання відкриває широкі можливості для подальшого розвитку інтелектуальних систем в енергетиці.

Окрім машинного навчання та експертних систем, в енергетиці також ши-

роко застосовуються інші технології штучного інтелекту, які допомагають вирішувати складні завдання та підвищувати ефективність енергетичних систем.

Обробка природної мови (NLP) — це галузь ШІ, що дозволяє комп'ютерам розуміти та обробляти природну мову. NLP дозволяє створювати чат-ботів та інші інтерфейси, які можуть взаємодіяти з користувачами на природній мові. Це допомагає користувачам отримати інформацію та вирішити проблеми без необхідності звертатися до людського оператора.

Впровадження різних технологій ШІ в енергетиці дозволяє підвищити ефективність енергетичних систем, зменшити витрати та підвищити надійність. Застосування NLP, комп'ютерного зору та робототехніки відкриває широкі можливості для інновацій в галузі енергетики.

Важливо зазначити, що впровадження цих технологій також вимагає врахування етичних аспектів, а також розробки ефективних механізмів безпеки та захисту інформації.

Зростаючий попит на енергію та зміна клімату створюють необхідність ефективного використання енергетичних ресурсів. Енергоефективність стає ключовим фактором в розвитку екологічно чистої та стійкої енергетичної системи.

**ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ**

Використання методів машинного навчання та глибокого навчання в енергетиці відкриває нові можливості для оптимізації виробництва та споживання енергії, підвищення ефективності енергетичних систем та забезпечення їх надійності. Ці методи дозволяють аналізувати великі обсяги даних, виявляти закономірності, прогнозувати майбутні події та приймати оптимальні рішення, що сприяє підвищенню енергоефективності, інтеграції відновлюваних джерел енергії, діагностиці несправностей та підвищенню надійності енергетичних систем.

Для успішного впровадження інтелектуальних систем в енергетиці необхідно розробити чіткі стандарти та норми, що забезпечать безпеку, надійність та довіру до цих систем. Також важливо забезпечити підготовку спеціалістів в галузі ШІ, які здатні розробляти та впроваджувати інтелектуальні системи в енергетиці. Необхідно також розробити етичні рамки для використання ШІ в енергетиці, які забезпечать відповідальне та справедливе застосування цих технологій.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку нових методів ШІ, які дозволять вирішувати складні завдання в енергетиці, наприклад, оптимізацію мікромереж, розподіл енергії в розумних містах та розробку інноваційних енергетичних технологій.

Подальші дослідження та розробки в галузі інтелектуальних систем в енергетиці відкривають широкі можливості для створення екологічно чистої, ефективної та стійкої енергетичної системи майбутнього.

#### Література:

1. Михайлова Л. М., Думанський О. В. Інноваційні технології у зеленій енергетиці: перспективи та виклики. Наука і техніка сьогодні, 2024, 2 (30). URL: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-2\(30\)-899-909](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-2(30)-899-909).

2. Скрипник С. О., Колларов О. Ю. Дослідження впливу впровадження нейронних мереж в енергетичну галузь України. Наукові праці Донецького Національного технічного університету. Серія: електротехніка і енергетика. 2022. № 1 (26). С. 39—43. URL: <https://doi.org/10.31474/2074-2630-2022-1-39-43>.

3. Forootan, M., Larki, I., Zahedi, R., & Ahmadi, A. (2022). Machine learning and deep learning in energy systems: A review. Sustainability, 14 (8), 4832. URL: <https://doi.org/10.3390/su14084832>.

4. Lei, Y., Yang, B., Jiang, X. Jia, F., Li, N. & Nandi, A. (2020). Applications of machine learning to machine fault diagnosis: A review and roadmap. Mechanical Systems and Signal Processing, 138, 106587 URL: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.106587>.

5. Mansouri, M., Trabelsi, M., Nounou, H. & Nounou, M. (2021). Deep learning-based fault diagnosis of photovoltaic systems: A comprehensive review and enhancement prospects. IEEE Access, 9, 126286—126306. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3110947>.

6. Nazari-Heris, M., Asadi, S., Mohammadi-Ivatloo, B. Sadat-Mohammadi, M. (Eds.). (2021). Application of machine learning and deep learning methods to power system problems. Springer. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-77696-1>.

7. Sun, T., Yu, G., Gao, M., Zhao L., Bai, C., & Yang, W. (2021). Fault diagnosis methods based on machine learning and its applications for wind turbines: A review. IEEE Access, 9, 147481—147511. URL: <http://dx.doi.org/10.110009/ACCESS.2021.31240250>.

8. Zhang, D., Han, X., & Deng, C. (2018). Review on the research and practice of deep learning and reinforcement learning in smart grids. CSEE Journal of Power and Energy Systems, 4 (3), 362—370.

9. Zhang, Y., Shi, X., Zhang, H., Cao, Y., Terzija, V. (2022). Review on deep learning applications in frequency analysis and control of modern power system. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 136, 107744. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107744>.

10. Дорошенко А. В., Ткаченко Р. О., Цимбал Ю., Батюк Д. Інтелектуальні компоненти інтегрованих автоматизованих систем управління для енергетичних систем. Вісник Національного університету "Львівська політехніка" Серія "Комп'ютерні науки та інформаційні технології", Вип. 864, № 1, 2017, С. 90—96. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2018/jul/13748/12.pdf>.

#### References:

1. Mykhajlova L. M. and Dumans'kyj O. V. (2024), "Innovative technologies in green energy: prospects and challenges", Nauka i tehnika s'ohodni, [Online], vol. 2 (30). [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-2\(30\)-899-909](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-2(30)-899-909).

2. Skrypnyk S. O. and Kollarov O. Yu. (2022), "Research of the impact of the introduction of neural networks in the energy sector of Ukraine", Naukovi pratsi Donets'koho Natsional'noho tekhnichnoho universytetu. Seriya: elektrotehnika i enerhetyka, [Online], vol. 1 (26), p. 39—43. <https://doi.org/10.31474/2074-2630-2022-1-39-43>.

3. Forootan, M., Larki, I., Zahedi, R., and Ahmadi, A. (2022), "Machine learning and deep learning in energy systems: A review", Sustainability, [Online], vol. 14 (8), 4832. <https://doi.org/10.3390/su14084832>.

4. Lei, Y., Yang, B., Jiang, X. Jia, F., Li, N. and Nandi, A. (2020), "Applications of machine learning to machine fault diagnosis: A review and roadmap", Mechanical Systems and Signal Processing, [Online], vol. 138, 106587. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.106587>.

5. Mansouri, M., Trabelsi, M., Nounou, H. and Nounou, M. (2021), "Deep learning-based fault diagnosis of photovoltaic systems: A comprehensive review and enhancement prospects". IEEE Access, [Online], vol. 9, 126286—126306. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3110947>.

6. Nazari-Heris, M., Asadi, S., Mohammadi-Ivatloo, B. and Sadat-Mohammadi, M. (Eds.). (2021), "Application of machine learning and deep learning methods to power system problems", Springer. [Online]. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-77696-1>.

7. Sun, T., Yu, G., Gao, M., Zhao L., Bai, C., and Yang, W. (2021), "Fault diagnosis methods based on machine learning and its applications for wind turbines: A review", IEEE Access, [Online], vol. 9, 147481—147511. <http://dx.doi.org/10.110009/ACCESS.2021-31240250>.

8. Zhang, D., Han, X., and Deng, C. (2018), "Review on the research and practice of deep learning and reinforcement learning in smart grids", CSEE Journal of Power and Energy Systems, [Online], vol. 4 (3), 362—370. <http://dx.doi.org/10.17775/CSEEJPES.2018-00520>.

9. Zhang, Y., Shi, X., Zhang, H., Cao, Y. and Terzija, V. (2022), "Review on deep learning applications in frequency analysis and control of modern power system", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, [Online], vol. 136, 107744. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107744>.

10. Doroshenko A. V., Tkachenko R. O., Tsymbal Yu. and Batiuk D. (2017), "Intelligent components of integrated automated control systems for energy systems", Visnyk Natsional'noho universytetu "L'vivs'ka politehnika" Seriya "Komp'iuterni nauky ta informatsijni tekhnolohii", [Online], vol. 864, no.1, p.90—96. available at: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2018/jul/13748/12.pdf> (Accessed 2 November 2024).

*Стаття надійшла до редакції 07.11.2024 р.*