

УДК 621.341  
DOI

**Бойко С.М.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

**Котов О.Б.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

**Жуков О.А.**

Вінницький національний технічний університет

**Реута А.В.**

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

**Журід В.І.**

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

**Дерябіна І.О.**

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

## **ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ В СИСТЕМІ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ АЕРОДРОМНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ**

Стаття присвячена питанням розробки рекомендацій щодо впровадження інтелектуальних технологій в системи енергозабезпечення об'єктів аеродромної інфраструктури, що є важливим елементом інфраструктури галузі авіаційного транспорту, з метою забезпечення заходів безпеки експлуатації повітряних суден, що в свою чергу дасть можливість підвищення надійності доставки вантажів та перевезення пасажирів. У статті визначено основні вимоги, що пред'являються до систем електропостачання об'єктів аеродромної інфраструктури. Акцентовано увагу на те, що управлінські стратегії мають враховувати впровадження індустрії 4.0, автоматизації, роботизації та використання штучного інтелекту. У статті, зважаючи на глобальні виклики кліматичних змін, привертається увага до впровадження принципів зеленої економіки, серед яких, енергоефективність, декарбонізація, розвиток відновлюваних джерел енергії та інші. Також, у статті наголошується на тому, що на сучасному етапі розвитку електроніки та енергетики питання забезпечення ефективного та оперативного керування пристроями у складі складних електротехнічних комплексів, в тому числі з елементами розподіленої генерації (залученням альтернативних та відновлювальних джерел) набуває все більшої актуальності. Тож, під час експлуатації впровадження інтелектуальних систем до структур енергопостачання об'єктів аеродромної інфраструктури є доцільним застосування сучасних електронних та силових напівпровідникових пристроїв, що дасть можливість покращити керованість системою енергозабезпечення та надасть їй гнучкості та адаптивності. Запропоновано використання модифікованого протоколу з введенням децентралізованого обміну між пристроями на базі протоколу X10 в інформаційній інфраструктурі MicroGrid з реалізацією передавання даних за технологією PLC. У запропонованому способі кожен новий пристрій автоматично реєструється у мережі і взаємодіє з наявними пристроями. Визначено, що використання децентралізованої стратегії підвищує його гнучкість та можливості узгодженої взаємодії між пристроями системи MicroGrid для реалізації оперативного енергоефективного керування. Такий підхід дасть можливість інтегрувати процеси інтелектуалізації до систем енергозабезпечення об'єктів аеродромної інфраструктури.

**Ключові слова:** авіаційний транспорт, відновлювальні джерела енергії, авіаційна безпека, аеродроми, аеропорти, енергетична інфраструктура.

**Постановка проблеми.** Системи енергозабезпечення аеродромів відіграють критичну роль у забезпеченні безпеки, надійності та безперервності роботи аеропортів. Вдосконалення цих систем має враховувати не лише технічні, але й екологічні, економічні та безпекові аспекти [1].

Розподілені енергетичні системи дозволяють підвищити автономність та стійкість енергозабезпечення. Впровадження MicroGrid в аеропортовій інфраструктурі має забезпечити:

- надійність енергопостачання – у разі аварії в мережі MicroGrid забезпечує автономну роботу ключових об'єктів;

- гнучкість – можливість підключення відновлювальних джерел енергії (сонячні панелі, вітрогенератори);

- оптимізацію витрат – ефективне використання власних джерел енергії, зменшення залежності від зовнішніх постачальників.

У той же час, використання відновлюваних джерел енергії має дозволити зменшити вуглецевий слід і підвищити енергоефективність.

З поміж іншого слід зазначити, що впровадження систем управління енергоспоживанням забезпечує моніторинг і прогнозування споживання енергії в режимі реального часу, автоматичне регулювання розподілу енергії між об'єктами, інтеграцію із зовнішніми системами, взаємодію з енергомережами та енергосистемами інших інфраструктур.

Для забезпечення безпеки експлуатації необхідно вдосконалювати системи резервного енергозабезпечення: автономні генератори, накопичувачі енергії, дублюючі канали живлення [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зважаючи на результати аналізу іноземних та вітчизняних публікацій, розвиток окремих галузей економіки нерозривно пов'язано з транспортними системами, серед яких слід виділити авіаційний транспорт [1-3].

Між тим, ефективність транспортних перевезень, у тому числі авіаційних, безпосередньо залежить від функціонування транспортної інфраструктури [4].

Зважаючи на те, що об'єкти аеродромної інфраструктури мають бути постійно та безперервно забезпеченими електричною енергією, актуальним є питання впровадження сучасних гібридних систем енергоживлення та сучасних адаптивних систем керування ними [5-12].

Між тим, питання забезпечення безпеки функціонування електрифікованих комплексів об'єктів аеродромної інфраструктури залишається актуальним.

**Постановка завдання.** Метою статті є робота рекомендацій щодо впровадження інтелектуалізації в системи енергозабезпечення об'єктів аеродромної інфраструктури.

**Виклад основного матеріалу.** З огляду на підвищену роль цифрових технологій в управлінні енергосистемами, важливо: запобігання несанкціонованому доступу та кіберзагрозам, створення незалежних каналів для обміну критично важливими даними, перевірка безпеки програмного забезпечення та обладнання.

Важливим аспектом також залишається дотримання екологічних стандартів, а саме зменшення викидів CO<sub>2</sub>, шляхом оптимізації процесів енергоспоживання та перехід на відновлювані джерела, утилізація відходів шляхом організації систем збору та переробки енергообладнання після закінчення його життєвого циклу, використання екологічно чистих матеріалів, при модернізації інфраструктури аеропортів та аеродромів.

Вдосконалення систем енергозабезпечення об'єктів аеродромної інфраструктури сприяє підвищенню надійності та безпеки функціонування аеропортів. Інтеграція сучасних технологій, зокрема відновлюваних джерел енергії, MicroGrid, а також цифрових систем управління, дозволяє не лише підвищити ефективність, але й відповідати сучасним екологічним стандартам.

Так, ефективне управління промисловим розвитком у сучасних умовах вимагає комплексного підходу. Основні аспекти цієї специфіки можна розглянути через кілька ключових наступних напрямів.

Між тим, технологічні інновації є драйвером для створення нових виробництв і підвищення конкурентоспроможності. Управлінські стратегії мають враховувати впровадження індустрії 4.0, автоматизації, роботизації та використання штучного інтелекту.

Тож, інфраструктура повинна швидко адаптуватися до змін, включаючи нові потреби споживачів і технологічні тренди.

Вказані напрямки визначають основні завдання сучасного управління галузями економіки, у тому числі транспортної галузі, яке має бути орієнтоване не лише на короткострокові вигоди, але й на довгостроковий сталий розвиток.

В умовах змін глобальної економіки Україні потрібно не лише адаптуватися, а й шукати нові можливості для інтеграції у світовий економічний простір.

Воєнний конфлікт позбавив можливостей нарощування промислового потенціалу висо-

коїндустріалізованих регіонів України, а також спричинив втрату значних обсягів промислового та людського капіталу в Україні. Це не лише поглибило кризові явища у вітчизняній економіці, а й спричинило зростання інвестиційних та інших ризиків.

Водночас існує проблема високої енергозалежності, що наразі не може бути вирішена лише за рахунок розвитку альтернативних джерел енергії.

Адаптація вітчизняної аеродромної інфраструктури до вимог «Зеленого курсу ЄС» є не лише необхідністю для збереження доступу до європейських ринків, але й можливістю підвищити конкурентоспроможність українських компаній. Водночас ця адаптація вимагає системних змін у державній промисловій політиці.

В свою чергу, лідерство матимуть ті галузі, щодо розвитку яких є довгострокове бачення. Щоб впоратися з такими викликами та максимально використати їх можливості, необхідне напрацювання досвіду, зокрема шляхом відновлення контуру стратегічного управління на макро-, мезо- і галузевому рівнях та національного і галузевого фортсайтингу.

Глобальні економічні й соціальні досягнення країн у майбутньому формуватимуться під впливом Індустрії 4.0 (інформаційно-комунікативних технологій, технологій автоматизації виробництва, використання нових видів ресурсів) і суттєво вплинуть не тільки на появу принципово нових способів продукування матеріальних і нематеріальних благ, що передбачає заміну звичайних процесів на цифрові, відхід від масового виробництва та індивідуалізацію кінцевого продукту, а й на зміну образу життя, порядку ведення бізнесу та безпеки людства. Порушення у розвитку економіки в цілому, та вагомої її частини – транспортної галузі, спричиняють фундаментальні зрушення в економічній стабільності у масштабі всієї країни, що може загрожувати її національній безпеці.

Україні, що опинилася перед глобальними викликами, пов'язаними зі стрімким розвитком цифрових технологій, необхідно провести якісні зміни, зумовлені прискоренням адаптації української промисловості до цифрових вимог Індустрії 4.0. Бездіяльність може призвести до того, що українська економіка, у тому числі її транспортна складова втратить свою конкурентоспроможність на світовому ринку.

Для багатьох країн, що розвиваються, такий технологічний динамізм приносить як можливості, так і виклики. З одного боку, цифрові тех-

нології Індустрії 4.0 сприяють покращенню комунікації між бізнес-структурами, споживачами та іншими учасниками ринкової економіки.

Технологічне відставання розвитку української економіки підтверджується такими індикаторами, як: низький рівень інноваційної активності, виробництво та експорт високотехнологічної продукції, уповільнення та невідповідність інвестиційних та інноваційних процесів; розвиток технологічної платформи (технічні можливості для поширення технологічних трансформацій, доступ до мережі Інтернет, готовність до передачі технологій, оцінка рівня кібербезпеки).

На сучасному етапі розвитку електроніки та енергетики питання забезпечення ефективного та оперативного керування пристроями у складі складних електротехнічних комплексів, в тому числі з елементами розподіленої генерації (залученням альтернативних та відновлювальних джерел) набуває все більшої актуальності. Широке впровадження пристроїв та систем побутової автоматизації, розробка нових інтелектуальних методів керування електроспоживанням додатково підтверджують актуальність досліджень в цьому напрямку [1-4].

MicroGrid – це сучасна концепція організації енергетичних систем, яка відповідає викликам підвищення енергоефективності та розвитку відновлюваних джерел енергії. Основними характеристиками та перевагами MicroGrid є її гнучкість, адаптивність до змін у споживанні та можливість забезпечення автономної роботи.

MicroGrid є важливим інструментом для підвищення енергетичної стійкості, особливо в умовах періодичних збоїв або обмеженого доступу до центральної електромережі.

Внаслідок великої насиченості електротехнічними пристроями, які значно відрізняються за функціональними характеристиками, робочими режимами, рівнем споживання, важливістю для людини, актуальності набувають, зокрема, питання організації єдиної інформаційної інфраструктури. Одним із способів вирішення цієї задачі є організація передачі даних по існуючих силових лініях електричних мереж (PLC – Power Line Communication) [5-7].

Існуючі технології передачі пакетів даних за допомогою технології PLC спрямовані на централізовану організацію мережі. В свою чергу це призводить до залежності кожного з пристроїв від налаштувань серверів, які потребують налагодження та підтримки. З метою збільшення гнучкості організації мережі та керування елек-

тротехнічними пристроями доцільно розглянути однорангові мережі з елементами децентралізації, де кожний окремий модуль PLC реалізує функції керування [8-12].

Автоматичне адресування значно спрощує інтеграцію нових модулів і підвищує загальну ефективність системи, створюючи основу для гнучких і масштабованих мереж.

Впровадження децентралізованих систем управління електроспоживанням у MicroGrid забезпечує підвищення надійності, енергоефективності та гнучкості системи. Однак для досягнення цих цілей необхідно створити ефективну інформаційно-комунікаційну інфраструктуру, яка забезпечує безперервний обмін даними між усіма компонентами системи.

Ефективне управління MicroGrid можливе лише за умови надійної інформаційної інфраструктури, яка забезпечує стабільний обмін даними між усіма учасниками системи.

Електропроводка з точки зору передавання інформаційних сигналів являє собою складне середовище, що має розгалужену, деревоподібну неоднорідну структуру, яка зазнає дії багатьох відомих видів завад.

Для забезпечення надійного обміну даними в умовах завад у мережах, таких як PLC (Power Line Communication), критично важливим є впровадження технологій, які компенсують вплив завад і забезпечують безперебійний інформацій-

ний потік. Це досягається шляхом використання завадостійких кодів та протоколів доступу до мережі.

Авторами запропонована структура схеми впровадження інтелектуалізації в умовах об'єктів аеродромної інфраструктури (рис. 1).

У випадках, коли кілька пристроїв використовують одну мережу для передачі даних, необхідно уникати конфліктів трафіку. Для цього застосовуються спеціальні механізми організації доступу до середовища:

Поєднання методів дозволить значно підвищити надійність і ефективність роботи систем MicroGrid навіть у складних умовах.

**Висновки.** В даній роботі запропоновано використання модифікованого протоколу з введенням децентралізованого обміну між пристроями на базі протоколу X10 в інформаційній інфраструктурі MicroGrid з реалізацією передавання даних за технологією PLC. У запропонованому способі кожен новий пристрій автоматично реєструється у мережі і взаємодіє з наявними пристроями.

Визначено, що використання децентралізованої стратегії підвищує його гнучкість та можливість узгодженої взаємодії між пристроями системи MicroGrid для реалізації оперативного енергоефективного керування.

Такий підхід дасть можливість інтегрувати процеси інтелектуалізації до систем енергозабезпечення об'єктів аеродромної інфраструктури.

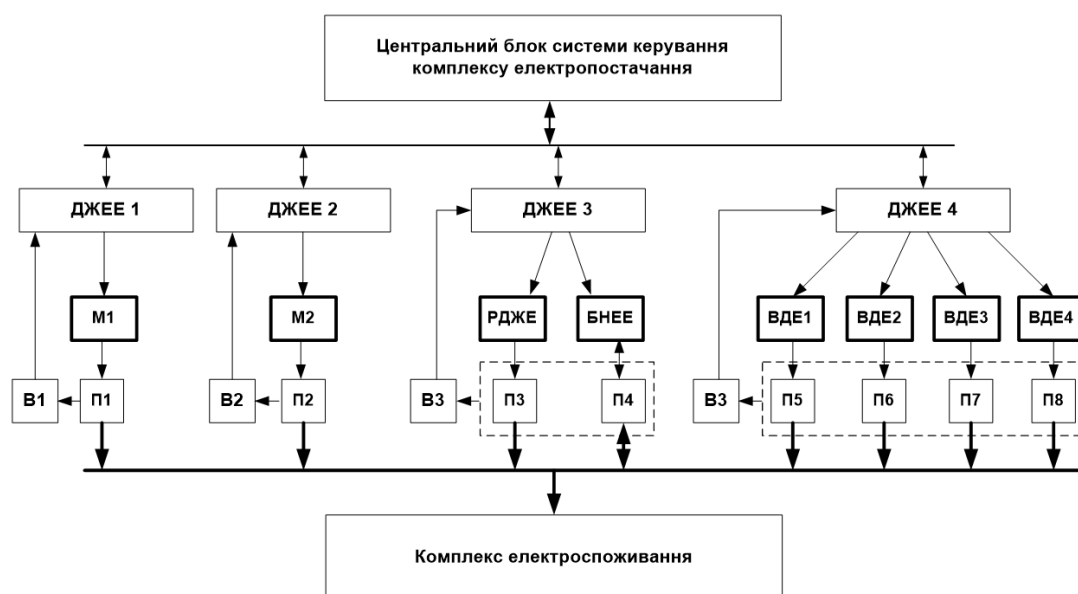


Рис. 1. Запропонована схема впровадження інтелектуалізації в умовах об'єктів аеродромної інфраструктури

## Список літератури:

1. Виклики майбутнього для промислового розвитку України : наукова доповідь / за ред. д-ра екон. наук Л.В. Дейнеко; НАН України, ДУ «Ін-т екон. та прогноз. НАН України». Електрон. дані. К., 2022. 184 с. Режим доступу: <http://ief.org.ua/wp-content/uploads/2022/06/Vyklyky-majbutnjogo-dlja-promyslovogo-rozvytku.pdf>
2. The Great Reset / The World Economic Forum. 2020. URL: <https://www.weforum.org/great-reset>
3. Кушніренко О.М. Фінансові механізми прискорення розвитку Індустрії 4.0 в Україні. Проблеми та перспективи забезпечення стійкості фінансової системи України: зовнішні та внутрішні аспекти : збірник матеріалів міжнародної наукової конференції (Київ, 12 травня 2020 р.) / НАН України, ДУ «Ін-т екон. та прогноз. НАН України». 2020. С. 164–171. URL: <http://ief.org.ua/docs/scc/15.pdf>
4. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими: За заг. ред. акад. НАН України О.В. Кириленка Інститут електродинаміки НАН України. К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. 400 с.
5. Жуйков В.Я., Терещенко Т.О., Хохлов Ю.В. Передавання сигналів керування в умовах завод. Навчальний посібник. К.: Аверс, 2010. 256 с.
6. Lantero A. How Microgrids Work [Електронний ресурс] U.S. Department of Energy Режим доступу до ресурсу: <https://energy.gov/articles/how-microgrids-work>.
7. J. Misurec, P. Mlynek and S. Bezzateev, "The modeling of power line for PLC in smart grids," 2017 Progress In Electromagnetics Research Symposium – Spring (PIERS), St. Petersburg, 2017, pp. 780-786. doi: 10.1109/PIERS.2017.8261848.
8. Колотов М.В. Передача інформації по лініях електроживлення // Енергоінформ / Укренергозбереження. 2003. №42(224). С. 5-6.
9. Ямненко Ю. С., Желясков Є. О. Дискретні спектральні перетворення Уолша та Адамара та їх застосування для систем розширення спектру. Дванадцята міжнародна науково-практична конференція "Математичне та імітаційне моделювання систем МОДС-2017". 26-29 червня 2017. 2017. С. 420–424.
10. I. I. Bezukladnikov and A. A. Yuzhakov, "Problems of synchronous and noise immune transmission of information in intelligent mechatronic systems," 2017 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SINKHROINFO), Kazan, 2017, pp. 1-4. doi: 10.1109/SINKHROINFO.2017.7997500.
11. Pablo Gagliardo. Take advantage of power line communications in nextgen home networking & IPTV designs. CommsDesign. 2009 (<http://www.commsdesign.com/article/printableArticle.jhtml?articleID=217300850>)
12. The X-10 PowerHouse Power Line Interface Model # PL513 and Two-way Power Line Interface Model # TW523 [Електронний ресурс] // X-10 (USA) Inc. Режим доступу до ресурсу: [http://jvde.us/info/x10\\_protocol.pdf](http://jvde.us/info/x10_protocol.pdf).

**Boiko S.M., Kotov O.B., Zhukov O.A., Reuta A. V., Zhurid V. I., Deryabina I. O. PROSPECTS FOR IMPLEMENTING INTELLECTUALIZATION INTO ENERGY SUPPLY SYSTEMS OF AIRPORT INFRASTRUCTURE FACILITIES**

*The article is devoted to the development of recommendations for the implementation of intelligent technologies in the energy supply systems of airfield infrastructure facilities, which is an important element of the air transport industry infrastructure, in order to ensure safety measures for aircraft operation, which in turn will make it possible to increase the reliability of cargo delivery and passenger transportation. The article defines the main requirements for the power supply systems of airfield infrastructure facilities. It is emphasized that management strategies should take into account the implementation of Industry 4.0, automation, robotization and the use of artificial intelligence. The article, taking into account the global challenges of climate change, draws attention to the implementation of the principles of the green economy, including energy efficiency, decarbonization, the development of renewable energy sources and others. Also, the article emphasizes that at the current stage of development of electronics and energy, the issue of ensuring effective and operational control of devices as part of complex electrical complexes, including those with elements of distributed generation (involving alternative and renewable sources), is becoming increasingly relevant. Therefore, during the operation of the introduction of intelligent systems into the power supply structures of airfield infrastructure facilities, it is advisable to use modern electronic and power semiconductor devices, which will make it possible to improve the controllability of the power supply system and give it flexibility and adaptability. It is proposed to use a modified protocol with the introduction of decentralized exchange between devices based on the X10 protocol in the MicroGrid information infrastructure with the implementation of data transfer using PLC technology. In the proposed method, each new device is automatically registered in the network and interacts with existing devices. It is determined that the use of a decentralized strategy increases its flexibility and the possibility of coordinated interaction between MicroGrid system devices to implement operational energy-efficient control. This approach will make it possible to integrate intellectualization processes into the energy supply systems of airfield infrastructure facilities.*

**Key words:** air transport, renewable energy sources, aviation safety, airfields, airports, energy infrastructure.