

5. Буняк О.А., Оробчук Б.Я., Бабюк С.М., Мовчан Л.Т. Ринок електричної енергії: проблеми та перспективи. Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету». Технічні науки, том 2, №5, 2023. – С. 25-29. ISSN 2307-5732.

6. Pooyamozhi M., Murugesan B., Rajamanickam N., Shorfuzzaman M., Aboelmagd Y. IoT— A Promising Solution to Energy Management in Smart Buildings: A Systematic Review, Applications, Barriers, and Future Scope. Buildings. 2024. Vol. 14, no. 11. P. 3446. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings14113446>

7. Silva B. N., Khan M., Han K. Futuristic Sustainable Energy Management in Smart Environments: A Review of Peak Load Shaving and Demand Response Strategies, Challenges, and Opportunities. Sustainability. 2020. Vol. 12, no. 14. P. 5561. URL: <https://doi.org/10.3390/su12145561>

8. Маліновський А. І. Актуальність використання енергозберігаючих методів інтелектуального керування освітленням міста в сучасних умовах // Матеріали XIV МНТКМУС „Актуальні задачі сучасних технологій“, Тернопіль, 11-12 грудня 2025. 2025. С. 407–409.

УДК 621.311.2:004.91

Станько А., доктор філософії; Дідич І., доктор філософії; Микитишин А., канд. техн. наук, доц.; Блавицький А.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

СМАРТ-МЕРЕЖІ ТА БЛОКЧЕЙН-РІШЕННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛЬНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

***Анотація.** У роботі проаналізовано впровадження смарт-мереж (smart grid) та блокчейн-рішень для стабільного енергопостачання в умовах надзвичайних ситуацій. Пріділено увагу воєнним конфліктам та техногенним катастрофам, коли централізовані системи енергозабезпечення є вразливими. Смарт-мережі дають змогу оперативно балансувати споживання та генерацію, блокчейн-технології забезпечують прозорий та децентралізований облік енергії і фінансових транзакцій. Розглянуто приклади використання мікромереж, технології Peer-to-Peer для купівлі-продажу електроенергії, а також вплив законодавчих, економічних та кібербезпекових чинників на запровадження цих рішень.*

***Ключові слова:** смарт-мережі, блокчейн, енергопостачання, надзвичайні ситуації, енергетична безпека.*

Stanko A., Ph.D; Didych I., Ph.D.; Mykytyshyn A., Ph.D., Assoc. Prof.; Blavitskyi A.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine

SMART GRIDS AND BLOCKCHAIN SOLUTIONS TO ENSURE STABLE ENERGY SUPPLY IN EMERGENCY SITUATIONS

***Abstract.** This paper analyses the implementation of smart grids and blockchain solutions to ensure a stable energy supply during emergencies. Attention is paid to military conflicts and man-made disasters, when centralised energy supply systems are vulnerable. Smart grids enable the rapid balancing of consumption and generation, whilst blockchain technologies ensure transparent and decentralised accounting of energy and financial transactions. Examples of the use of microgrids and peer-to-peer technology for the purchase and sale of electricity are examined, as well as the impact of legislative, economic and cybersecurity factors on the implementation of these solutions.*

***Keywords:** smart grids, blockchain, energy supply, emergencies, energy security.*

Сучасні воєнні конфлікти та техногенні катастрофи становлять значну загрозу для стабільного функціонування енергетичних систем [1]. В умовах надзвичайних ситуацій

(бойові дії, природні лиха, техногенні аварії) може відбуватися порушення цілісності ліній електропередачі, пошкодження генерувальних потужностей та споживчих об'єктів [2]. Традиційні централізовані системи енергопостачання виявляються вразливими, оскільки вихід з ладу одного з ключових вузлів здатен спричинити лавиноподібні відключення на великих територіях. Тому впровадження децентралізованих і гнучких енергетичних рішень стає пріоритетним завданням задля підтримання належного рівня енергетичної безпеки [3].

Одним зі шляхів підвищення надійності енергетичної інфраструктури є перехід до смарт-мереж (smart grid) та використання блокчейн-технологій. Смарт-мережі дають змогу забезпечити розумне керування розподіленими ресурсами, підвищуючи стійкість системи, а блокчейн-технології — прозорість та надійність обліку енергоспоживання і взаєморозрахунків [4].

«Smart grid» поєднують фізичну інфраструктуру з ІКТ для автоматичного балансування генерації й споживання, інтеграції ВДЕ та мінімізації перевантажень [2; 5]. У кризових умовах мікромережі можуть ізолюватися («острівний» режим) і жити критичні об'єкти завдяки локальним джерелам та накопичувачам енергії.

Блокчейн забезпечує децентралізований реєстр транзакцій, смарт-контракти для P2P-торгівлі енергією та незмінний аудит даних [3; 4]. У разі збоїв центральних систем обліку він гарантує збереження критично важливої інформації та автоматичне виконання операцій між учасниками мікромереж.

Пілотні мікромережі у США та ЄС демонструють здатність автономно жити лікарні й центри управління під час стихійних лих [1]. Проєкти в Німеччині та Австралії підтверджують ефективність P2P-моделей розрахунків за енергію на основі блокчейну, що особливо корисно, коли централізований постачальник недоступний [3; 4].

Аналітика великих даних у смарт-мережах може прогнозувати аварії та оптимізувати маршрути передачі, підвищуючи стійкість системи [1].

Також можемо виділити такі виклики впровадження: Нормативна база – необхідна стандартизація блокчейн-операцій та кіберзахисту [2; 4]. Кадрові й фінансові ресурси – проєкти вимагають інвестицій і підготовки фахівців [1]. Кіберзагрози – цифровізація підсилює ризики атак, тож потрібні комплексні системи захисту [5].

Побудова стійкої енергетичної інфраструктури є одним із ключових факторів національної безпеки в умовах воєнних конфліктів та техногенних катастроф [2; 4]. Смарт-мережі (smart grid) завдяки децентралізації, гнучкості та автоматизованому моніторингу дозволяють суттєво підвищити надійність постачання електроенергії. Використання блокчейн-технологій водночас забезпечує захищений та прозорий облік енергії, а також сприяє впровадженню інноваційних механізмів взаєморозрахунків та управління розподіленими ресурсами (мікромережами, накопичувачами) [4].

Для України, яка перебуває у стані тривалої військової загрози та ризику техногенних катастроф, перехід на смарт-мережі й упровадження блокчейн-рішень може стати вагомим внеском у підвищення обороноздатності та забезпечення стабільного енергопостачання в кризових ситуаціях [5]. Разом із тим, існують складнощі, пов'язані з великими інвестиціями, відсутністю якісної нормативної бази та необхідністю посилення кіберзахисту. Подолання цих перешкод можливе шляхом розробки комплексної державної стратегії, що передбачатиме законодавче врегулювання, розвиток інфраструктури та підтримку науково-дослідних проєктів у сфері децентралізованої енергетики й цифрових технологій.

Таким чином, поєднання можливостей смарт-мереж і блокчейн-рішень відкриває нові горизонти для стійкого функціонування енергетики під час надзвичайних ситуацій. У перспективі це дозволить мінімізувати людські втрати, забезпечити належний рівень постачання електроенергії основним споживачам та сприяти швидкому відновленню зруйнованої інфраструктури, що є вкрай важливим як для військових потреб, так і для цивільного населення у кризових умовах.

Джерела та література

1. Успенський В. І., Сидоренко М. П. Смарт-мережі в енергетиці: можливості та перспективи // *Технічні науки: вчора, сьогодні, завтра: матеріали міжнар. наук.-практ. конф.*, 14–16 трав. 2020 р. – Київ : Технопрес, 2020. – С. 34–37.
2. Ковальчук О. О. Техногенні загрози та їх вплив на енергетичну інфраструктуру України // *Безпека та ризики*. – 2021. – № 5. – С. 18–23.
3. Peterson J., Brown R. Blockchain-Based Energy Trading Models in Microgrids // *IEEE Transactions on Smart Grid*. – 2020. – Vol. 11, No. 2. – P. 1342–1351.
4. Zheng Z., Xie S., Dai H. та ін. An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends // *Proceedings of the IEEE*. – 2018. – Vol. 108, No. 4. – P. 667–681.
5. Сергієнко М. В. Сучасні методи кіберзахисту енергосистем: виклики військових дій // *Інформаційна безпека та оборона*. – 2022. – № 2. – С. 42–47.

УДК 004.942:681.5:658.52:355.4

Станько А., доктор філософії; Дідуник В. Зозуляк Б.; Микитишин А.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЛІНІЯМИ ДОЗУВАННЯ ТА ЗМІШУВАННЯ ЯК ЗАСІБ ЗНИЖЕННЯ ТЕХНОГЕННИХ РИЗИКІВ В УМОВАХ ВОЄННИХ ЗАГРОЗ

Анотація. У тезі розглянуто можливості використання автоматизованих систем керування лініями дозування та змішування компонентів як засобу зниження техногенних ризиків в умовах воєнних і гібридних загроз. Обґрунтовано, що поєднання ПЛК, SCADA-візуалізації, архівування параметрів і журналювання подій підвищує точність технологічного процесу, зменшує вплив людського фактора, покращує контроль аварійних режимів і забезпечує простежуваність роботи виробничої ділянки. Показано, що такі рішення доцільно розглядати як один із сучасних підходів до мінімізації локальних техногенних наслідків у кризових умовах.

Ключові слова: автоматизована система керування, ПЛК, SCADA, дозування, змішування компонентів, техногенні ризики, воєнні загрози, промислова безпека.

Stanko A., Ph.D; Didunyk V.; Mykytyshyn A., Zozuliak B.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine

AUTOMATED CONTROL SYSTEMS FOR DOSING AND MIXING LINES AS A MEANS OF REDUCING TECHNOGENIC RISKS UNDER WARTIME THREATS

Abstract. The paper considers the use of automated control systems for dosing and mixing lines as a tool for reducing technogenic risks under wartime and hybrid threats. It is substantiated that the integration of PLC-based control, SCADA visualization, parameter archiving and event logging improves process accuracy, reduces the human factor influence, enhances emergency control and provides traceability of technological operations. Such solutions should be treated not only as a means of improving production efficiency, but also as an important component of industrial resilience in crisis conditions.

Keywords: automated control system, PLC, SCADA, dosing, mixing, technogenic risks, wartime threats, industrial safety.

Сучасні воєнні конфлікти супроводжуються не лише прямими руйнуваннями об'єктів інфраструктури, а й підвищенням ризику вторинних техногенних наслідків для промислових підприємств, складських комплексів, систем енергозабезпечення та технологічних ліній. Особливої уваги потребують виробничі процеси, у яких здійснюються дозування, змішування, транспортування або зберігання компонентів, оскільки навіть локальне порушення керування може призвести до аварійного режиму, втрати сировини,