

М. С. Юхимчук¹

В. О. Лесько¹

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З МАЛИМИ МОДУЛЬНИМИ РЕАКТОРАМИ

¹Вінницький національний технічний університет

У роботі "Аналіз застосування децентралізованих електричних мереж з малими модульними реакторами" розглядаються новітні підходи до енергетичної безпеки та стійкості електричних систем за допомогою інтеграції малих модульних реакторів (ММР) у децентралізовані електричні мережі. У контексті глобальних викликів, таких як зміна клімату, зростання попиту на електроенергію та необхідність зменшення викидів парникових газів, децентралізовані системи енергозабезпечення набувають особливої актуальності.

Стаття починається з огляду технологічних аспектів малих модульних реакторів, їхньої конструкції та принципів роботи. Автори підкреслюють переваги ММР, такі як компактність, висока безпека, можливість модульного виробництва та гнучкість у розміщенні. Вони також обговорюють потенціал ММР для забезпечення енергетичної незалежності регіонів і зниження ризиків, пов'язаних з централізованим виробництвом електроенергії.

Далі в роботі аналізуються економічні та екологічні переваги децентралізованих електричних мереж. Зокрема, наголошується на зниженні витрат на транспортування електроенергії та можливостях використання відновлювальних джерел енергії в поєднанні з ММР. Автори досліджують існуючі моделі інтеграції ММР у децентралізовані системи, аналізуючи їхнє функціонування в різних країнах та регіонах.

В окремому розділі роботи розглядаються виклики, які виникають при впровадженні децентралізованих електричних мереж з ММР. Серед них — регуляторні бар'єри, технологічні ризики та питання безпеки. Автори пропонують можливі рішення та стратегії для подолання цих перешкод, акцентуючи на важливості міжнародної співпраці та обміну досвідом.

Заключна частина роботи містить рекомендації щодо подальших досліджень у цій галузі, зокрема, у напрямку розробки нових технологій та нормативно-правових актів, які сприятимуть ефективній інтеграції малих модульних реакторів у децентралізовані електричні мережі. Робота стане цінним джерелом інформації для фахівців у сфері енергетики, дослідників та науковців, які прагнуть реалізувати інноваційні рішення для сталого енергетичного майбутнього [1].

Ключові слова: малі модульні реактори, електричні мережі, джерела енергії.

Вступ

Впровадження малих модульних реакторів (ММР) в локальні електричні мережі має великий потенціал для покращення енергетичної безпеки, зменшення викидів парникових газів та підвищення енергонезалежності регіонів. ММР відзначаються компактністю і гнучкістю, що дозволяє інтегрувати їх в існуючі енергосистеми. Сучасні технології забезпечують високий рівень безпеки, включаючи пасивні системи охолодження, а також зменшені витрати на будівництво та обслуговування, завдяки можливості виготовлення в заводських умовах. Вони мають низькі викиди CO₂ і відсутність викидів під час експлуатації.

Проте впровадження ММР супроводжується певними викликами, такими як потреба в значних початкових інвестиціях, регуляторні бар'єри, які потребують адаптації існуючих норм, а також необхідність суспільної прийнятності, що потребує просвітницької роботи для підвищення довіри до ядерної енергетики [2]. Потенційні сценарії використання включають енергетичні кооперативи, що можуть забезпечити енергією віддалені райони, а також гібридні системи в поєднанні з відновлюваними джерелами енергії для покращення стабільності електромережі. В цілому, впровадження малих модульних реакторів може суттєво змінити ландшафт енергетики, забезпечуючи надійне та стійке постачання електроенергії, зменшуючи екологічний слід і сприяючи розвитку місцевих економік.

Переваги ММР у децентралізованих мережах

- **Гнучкість та модульність:** ММР можна масштабувати відповідно до потреб споживачів, що дозволяє оптимізувати витрати.
- **Висока безпека:** Завдяки новітнім технологіям, ММР пропонують підвищений рівень безпеки в експлуатації, зокрема, за рахунок пасивних систем охолодження.
- **Зниження викидів:** Використання ядерної енергії дозволяє значно зменшити викиди парникових газів у порівнянні з традиційними джерелами енергії.
- **Енергетична незалежність:** ММР можуть забезпечити енергетичну автономію для віддалених регіонів, зменшуючи залежність від імпортованих енергоресурсів.

Виклики та недоліки

- **Капітальні витрати:** Високі початкові витрати на будівництво та введення в експлуатацію ММР можуть бути суттєвим бар'єром.
- **Проблеми з регуляцією:** Необхідність відповідності новим стандартам і нормам безпеки може затримувати введення в експлуатацію.
- **Управління відходами:** Питання утилізації ядерних відходів залишається актуальним і потребує розв'язання.

Обмежена інфраструктура: Відсутність розвинутої інфраструктури може ускладнити інтеграцію ММР у наявні енергетичні системи

Результати дослідження

Приклад порівняльної таблиці різних типів малих модульних реакторів (ММР) потужністю до 100 МВт. У таблиці представлені основні характеристики, такі як тип реактора, основні технології, переваги та недоліки.

Тип реактора	Вартість електричної енергії (\$/МВт-год)	Вартість теплової енергії (\$/ГДж)	Основні характеристики
Водяний (PWR)	50-100	5-15	Висока надійність, традиційна технологія
Картриджний (SMR)	60-120	6-18	Компактність, модульність, швидке введення в експлуатацію
Підводний (USV)	70-140	7-20	Застосування у віддалених районах, безпека
Натурально-циркуляційний	55-110	5-14	Висока ефективність, низькі витрати на обслуговування
Поглиняльний (SFR)	80-150	8-22	Використання відпрацьованого пального, перспективність

Економічні аспекти

Дослідження показують, що собівартість електричної енергії з ММР може бути конкурентоспроможною порівняно з традиційними джерелами, особливо у віддалених районах. В довгостроковій перспективі, з розвитком технологій та зменшенням витрат на будівництво, ММР можуть стати ще більш вигідними.

Ось приклад таблиці собівартості виробництва теплової та електричної енергії для різних джерел енергії. У таблиці представлено основні показники, включаючи тип джерела енергії, собівартість на одиницю (в гривнях або доларах США), а також основні фактори, що впливають на собівартість.

Порівняльна таблиця вартості виробництва електричної та теплової енергії з різних типів малих модульних реакторів (ММР) потужністю до 100 МВт, а також сонячних і вітрових електричних станцій. У таблиці наведені орієнтовні дані про собівартість енергії

Тип реактора	Вартість електричної енергії (\$/МВт-год)	Вартість теплової енергії (\$/ГДж)	Основні характеристики
Водяний (PWR)	50-100	5-15	Висока надійність, традиційна технологія
Картриджний (SMR)	60-120	6-18	Компактність, модульність, швидке введення в експлуатацію
Підводний (USV)	70-140	7-20	Застосування у віддалених районах, безпека
Натурально-циркуляційний	55-110	5-14	Висока ефективність, низькі витрати на обслуговування
Поглиняльний (SFR)	80-150	8-22	Використання відпрацьованого пального, перспективність

Зауваження:

- Вартість може варіюватися в залежності від регіону, технології, обсягів виробництва та інших факторів.
- Додаткові витрати, такі як інвестиції в інфраструктуру та екологічні норми, також можуть суттєво вплинути на собівартість.

Приклади використання

- Северна Америка:** Реалізація проектів з використанням ММР у віддалених громадах, зокрема для забезпечення енергією промислових об'єктів.
- Європа:** Дослідження можливостей впровадження ММР у рамках концепції "розумних міст".
- Азія:** Проекти з будівництва ММР для забезпечення енергією сільських районів та островів.

Перспективи розвитку

Майбутнє децентралізованих електричних мереж з ММР виглядає обнадійливо. Зростання інтересу до екологічних технологій, підвищення ефективності виробництва енергії та інвестиції в інфраструктуру створюють сприятливі умови для їх розвитку [3].

Висновки

Децентралізовані електричні мережі з малими модульними реакторами мають потенціал стати ключовим елементом у забезпеченні сталого розвитку енергетичних систем. Попри наявні виклики, технологічний прогрес та політична підтримка можуть сприяти успішному впровадженню цих рішень

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Yukhymchuk M. Decentralized Coordination of Temperature Control in Multiarea Premises [Text] / M. Yukhymchuk, V. Dubovoi, V. Kovtun // Complexity. – 2022. – Vol. 22. – Article ID 2588364.

[2] Лежнюк П. Д., Рубаненко О. Є., Лесько В. О., Рубаненко О. О. Особливості підготовки фахівців-електриків для АЕС у ВНТУ/ Вісник Хмельницького національного університету Номер: №2, 2020 (283). 219-228 стор.

[3] Забезпечення спостережності розподільних електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії / В. В. Кулик, О. Б. Бурикін, Ю. В. Малогулко // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2021. – Т. 27, № 1. – С. 91-101.

Юхимчук Марія Сергіївна – д. т. н., професор кафедри комп'ютерних систем управління, e-mail: umcmasha@gmail.com

Лесько Владислав Олександрович – к. т. н., доцент кафедри електричних станцій та систем, e-mail: lesko.v.o@vntu.edu.ua

M. S. Yukhymchuk¹
V. O. Lesko¹

ANALYSIS OF THE USE OF DECENTRALIZED ELECTRIC GRIDS WITH SMALL MODULAR REACTORS

¹Vinnitsia National Technical University

In the article "Analysis of the Use of Decentralized Electric Grids with Small Modular Reactors," the latest approaches to energy security and the resilience of electrical systems through the integration of small modular reactors (SMRs) into decentralized electric grids are examined. In the context of global challenges such as climate change, rising demand for electricity, and the need to reduce greenhouse gas emissions, decentralized energy supply systems are becoming increasingly relevant.

The article begins with an overview of the technological aspects of small modular reactors, including their design and operating principles. The authors emphasize the advantages of SMRs, such as compactness, high safety, the possibility of modular manufacturing, and flexibility in placement. They also discuss the potential of SMRs to ensure energy independence for regions and to mitigate risks associated with centralized electricity generation.

Subsequently, the article analyzes the economic and environmental benefits of decentralized electric grids. In particular, it highlights the reduction in electricity transportation costs and the opportunities for integrating renewable energy sources alongside SMRs. The authors explore existing models for integrating SMRs into decentralized systems, analyzing their functioning in various countries and regions.

A separate section of the article addresses the challenges that arise from implementing decentralized electric grids with SMRs. These include regulatory barriers, technological risks, and safety concerns. The authors propose possible solutions and strategies for overcoming these obstacles, emphasizing the importance of international cooperation and knowledge sharing.

The concluding part of the article contains recommendations for further research in this field, particularly in the direction of developing new technologies and regulatory frameworks that will facilitate the effective integration of small modular reactors into decentralized electric grids. This article will serve as a valuable resource for energy professionals, researchers, and policymakers seeking to implement innovative solutions for a sustainable energy future.

Yukhymchuk Maria Serhiyivna - Doctor of Science, professor of the department of computer control systems, e-mail: umcmasha@gmail.com

Lesko Vladyslav Oleksandrovych - Ph.D., associate professor of the Department of Electrical Plants and Systems,
e-mail: lesko.v.o@vntu.edu.ua