

УДК 621.311:004.85+004.7

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.1.3>

МІКРОСЕРВІС ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ МІКРОМЕРЕЖІ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

Бойко О. В. – кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри інформаційних технологій
Сумського державного університету
ORCID ID: 0000-0001-8557-2267

Парфененко Ю. В. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри інформаційних технологій
Сумського державного університету
ORCID ID: 0000-0003-4377-5132

Івашова Н. В. – кандидат економічних наук,
старший викладач кафедри інформаційних технологій
Сумського державного університету
ORCID ID: 0009-0008-5663-8528

Рикун В. А. – студент магістратури
Сумського державного університету
ORCID ID: 0009-0000-6231-138X

Зростання використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) веде до ускладнення інфраструктурних завдань для енергетичних систем. Ефективна інтеграція ВДЕ потребує вдосконаленої системи прийняття рішень, здатної враховувати мінливість генерації та попиту на енергію, а також забезпечувати надійність та стабільність роботи енергетичної системи. Мікросервісна архітектура може стати ефективним способом реалізації таких систем, завдяки своїй гнучкості, масштабованості та легкості інтеграції. Метою роботи є розробка мікросервісу підтримки прийняття рішень щодо режимів роботи енергетичної мікромережі з використанням ВДЕ. Створення такого мікросервісу має ряд переваг. А саме, гнучкість – система легко адаптується до змін у потребах та технологіях, а також може бути розширена для підтримки нових функцій; інтеграційність – мікросервіс легко інтегрується з іншими системами та платформами, що робить можливим створення комплексної системи управління енергетичною мікромережею; розширення – система відкриває можливості для розробки власних додатків та API, що дозволяє гнучко підлаштувати її під потреби конкретних користувачів. В рамках роботи було проведено аналіз актуальних проблем в енергетичних мікромережах та визначено перспективи розвитку цієї галузі. Розроблено модель створення та функціональності мікросервісу, визначено структуру та взаємодію компонентів системи. На основі розробленої моделі було створено мікросервіс відповідно до архітектурних та функціональних вимог. Здійснено інтеграцію мікросервісу у вже існуючу інформаційну систему. Проведено ретельне тестування мікросервісу, включаючи випробування його функціональності, продуктивності та стійкості до збоїв. Набуті знання та результати роботи на даному етапі становлять основу для подальшого розвитку та вдосконалення мікросервісу з метою виконання його основної функції – прийняття рішень щодо режимів роботи енергетичної мікромережі з використанням ВДЕ.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, мікромережа, мікросервісна архітектура, підтримка прийняття рішень.

Boiko O. V., Parfenenko Yu. V., Ivashova N. V., Rykun V. A. Decision support microservice for microgrid operation with renewable energy sources

The growing use of renewable energy sources (RES) leads to the complication of infrastructure tasks for energy systems. Effective integration of RES requires an improved decision-making system capable of taking into account the variability of energy generation and demand, as well as ensuring the reliability and stability of the energy system. Microservice architecture can become an effective way to implement such systems, thanks to its flexibility, scalability and ease of integration. The purpose of the work is the development of a decision-making support microservice regarding the modes of operation of an energy microgrid using RES. Creating such a microservice has a number of advantages. Namely, flexibility – the system easily adapts to changes in needs and technologies, and can also be expanded to support new functions; integrability – the microservice is easily integrated with other systems and platforms, which makes it possible to create a comprehensive energy microgrid management system; expansion – the system opens up possibilities for developing own applications and APIs, which allows you to flexibly adapt it to the needs of specific users. As part of the work, an analysis of current problems in energy microgrids was carried out and prospects for the development of this industry were determined. A model of microservice creation and functionality has been developed, the structure and interaction of system components has been determined. Based on the developed model, a microservice was created in accordance with the architectural and functional requirements. The integration of the microservice into the already existing information system was carried out. Thorough testing of the microservice, including testing its functionality, performance, and fault tolerance. The acquired knowledge and work results at this stage form the basis for the further development and improvement of the microservice in order to fulfill its main function – decision-making regarding the modes of operation of the energy microgrid using RES.

Key words: renewable energy sources, microgrid, microservice architecture, decision-making support.

Вступ. У сучасному світі енергетична безпека стає ключовим фактором національного розвитку, забезпечуючи надійне та доступне енергопостачання населення, підприємств та інфраструктури [1]. Однак поняття енергетичної безпеки виходить за межі простого забезпечення енергією та включає економічні, екологічні та соціальні аспекти. Зокрема, Україна визнає стале енергетичне майбутнє через розвиток відновлюваних джерел енергії, підвищення енергоефективності та забезпечення енергетичної безпеки на місцевому рівні. У звітах агентства з відновлювальної енергетики України відзначено, що енергетична безпека є однією з найважливіших складових національної безпеки [2]. Це вимагає не лише постійного забезпечення енергією, але і розумного, ефективного управління енергетичними ресурсами. У цьому контексті мікромережі та інструменти прийняття рішень набувають значення, що важко переоцінити.

Мікромережі, як невеликі локалізовані електромережі, є перспективним напрямком для підвищення надійності та стійкості електричних мереж, а також для зменшення викидів парникових газів [3]. Проте, прийняття рішень щодо режимів роботи таких систем є складним завданням, оскільки вимагає врахування різних факторів, таких як доступність джерел енергії, потужність, попит на електроенергію, екологічні вимоги та економічні обмеження [1]. Експертні знання часто використовуються для прийняття оптимальних рішень щодо мікромереж, оскільки вони забезпечують глибоке розуміння технічних та економічних аспектів планування та експлуатації мережі.

Урахування експертних знань та розробка ефективної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень стосовно режимів роботи мікромереж стає важливим завданням [4]. Важливо мати зручні та ефективні інформаційні системи для збору та аналізу даних експертів, а також для виведення результатів прийняття рішень різним стейкхолдерам. Розробка таких систем вимагає ефективної архітектури, здатної обробляти великі обсяги даних та адаптуватися до змін

у конфігурації мікромереж. У цьому контексті мікросервісна архітектура виявляється оптимальним варіантом для інформаційних систем, що підтримують прийняття рішень щодо режимів роботи енергетичних мікромереж [5].

Постановка проблеми. Наукова проблема, що стоїть перед дослідниками, полягає в проектуванні мікросервісу, який би збирав та обробляв комплексні дані про різні фактори, що впливають на роботу мікромережі, дозволяв збір та обробку експертних знань для розробки алгоритмів та стратегій прийняття оптимальних рішень щодо режимів роботи мікромережі, надавав інформацію про стан та роботу мікромережі в зручному форматі для різних зацікавлених стейкхолдерів, що дозволить їм ефективно керувати мережею та приймати обґрунтовані рішення. Додатково, важливим аспектом є розробка масштабованої архітектури мікросервісу, що дозволить ефективно взаємодіяти між різними компонентами системи, забезпечуючи при цьому гнучкість.

Виклад основного матеріалу. Вибір мікросервісної архітектури для проекту обумовлено багатьма перевагами та можливостями, які вона пропонує. Мікросервіси дозволяють розділити систему на невеликі та автономні компоненти, що спрощує розробку, тестування та розгортання. Цей підхід полегшує масштабування окремих складових системи та забезпечує гнучкість у виборі технологій для кожного мікросервісу. Більш того, мікросервісна архітектура сприяє незалежному вдосконаленню та розгортанню окремих компонентів, що робить систему більш модульною та легко збереженою.

У зв'язку з фокусом даного дослідження на розмежуванні в архітектурі підсистеми збору та обробки експертних знань, важливим є попереднє вивчення механізму взаємодії експертів з системою підтримки прийняття рішень. З цією метою на рисунку 1 представлена контекстна діаграма процесу взаємодії користувача (експерта, що надає задає правила щодо режимів роботи мікромережі) з інформаційною системою, в яку інтегровано мікросервіс.



Рис. 1. Контекстна діаграма взаємодії експерта з інформаційною системою в нотації IDEF0

Наступним кроком дослідження є декомпозиція головної функції мікросервісу на підпроцеси. Цей процес дозволяє чітко окреслити основні дії, що виконуються системою, та покращити її зрозумілість.

В результаті декомпозиції було виділено два основних підпроцеси:

1. *Збереження внесених експертом значень показників.* Цей підпроцес відповідає за прийняття та зберігання даних, які експерт вводить до системи. Дані можуть включати значення різних параметрів, що впливають на роботу мікромережі, наприклад, прогнозована генерація ВДЕ, попит на електроенергію, технічні характеристики мережі тощо.

2. *Редагування бази правил для визначення стану вимикача.* Цей підпроцес використовує збережені значення показників для визначення стану кожного вимикача в мікромережі. Це передбачає встановлення актуального правила функціонування вимикача у мережі.

Після декомпозиції головної функції було розроблено діаграму першого рівня. Діаграма візуалізує основні компоненти мікросервісу та їх взаємозв'язки. Це створює підґрунтя для подальшого аналізу та проектування системи з урахуванням мікросервісного підходу. На рисунку 2 представлена діаграма декомпозиції першого рівня.

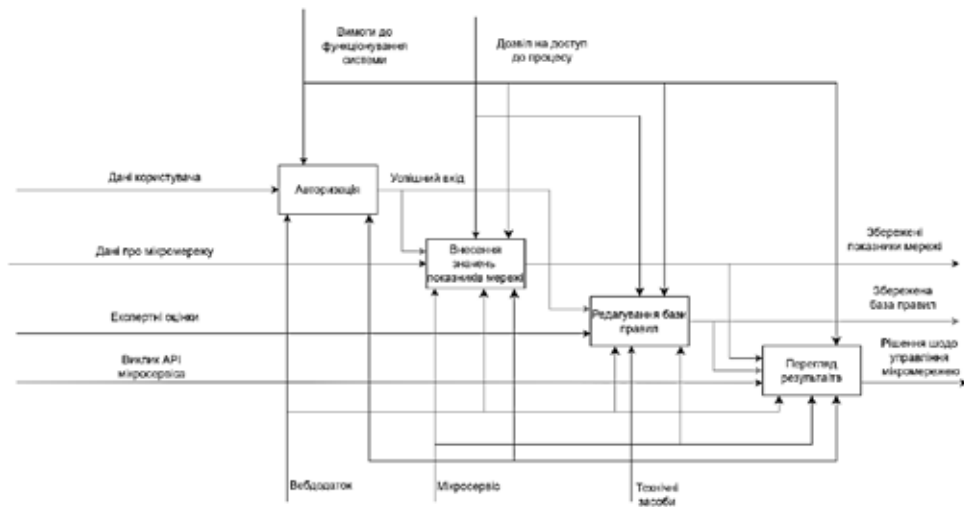


Рис. 2. Діаграма декомпозиції першого рівня

Після того, як визначено, як саме експерт взаємодіє з системою, можна представити загальну архітектуру системи з урахуванням мікросервісного підходу. На рисунку 3 показано архітектуру розроблюваного додатку з урахуванням інтеграції мікросервісу.

Поряд з цим, було побудовано діаграми послідовності для дослідження порядку виконання різних елементів системи та їх взаємодії. Ці діаграми є необхідним інструментом для аналізу та проектування систем, що взаємодіють в реальному часі. На рисунку 4 відображена взаємодія вебдодатка з мікросервісом, що ілюструє послідовність кроків та умов, необхідних для виконання конкретних дій.

На основі розробленої архітектури виконано програмну імплементацію мікросервісу. В якості інструменту для розробки обраний фреймворк FastAPI. Додатково використовувався інструмент інтерактивної документації Swagger UI для API з метою спрощення взаємодії з мікросервісом [6]. Застосування цього підходу забезпечило можливість динамічно генерувати документацію на основі коду API,

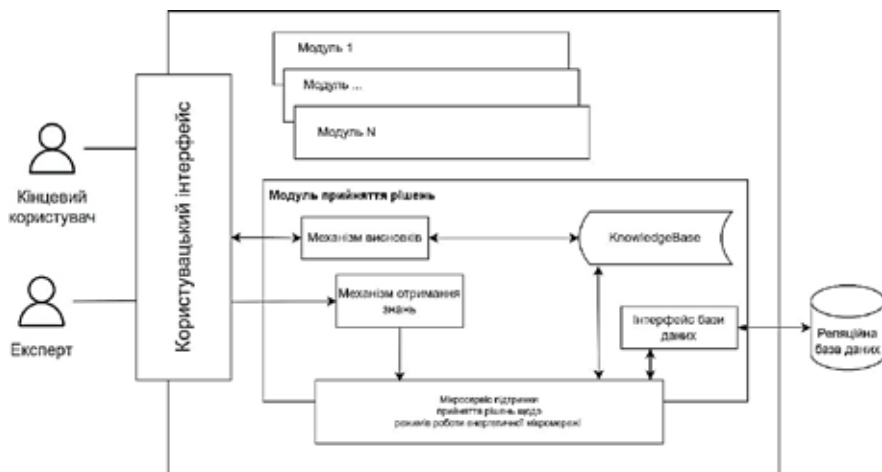


Рис. 3. Архітектура додатку

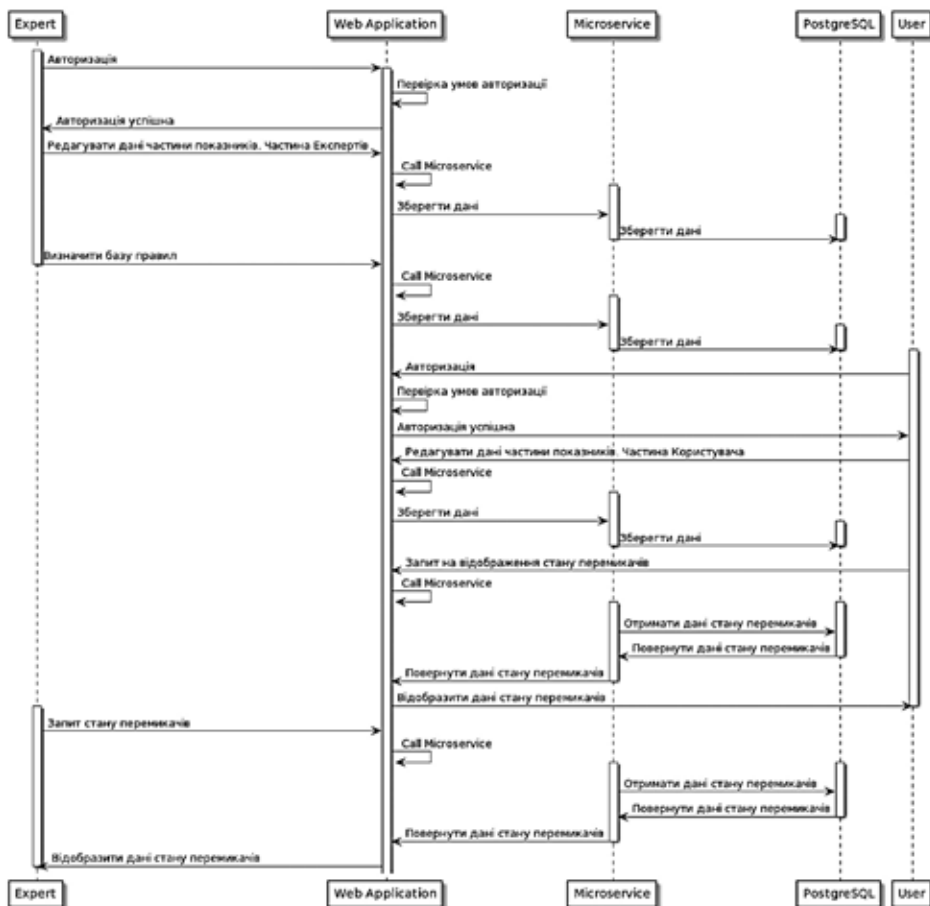


Рис. 4. Діаграма послідовності взаємодії вебдодатка з мікросервісом

забезпечуючи її постійну актуальність, навіть у випадку змін у коді API. Побудова належної документації під час розробки мікросервісу є ключовою, оскільки вона сприяє зручній взаємодії з різними ендпоінтами для реалізації інтеграції, уникненню необхідності ручного аналізу коду. Це спрощує процес інтеграції та допомагає уникнути помилок. У контексті мікросервісної архітектури, ендпоінти відповідають окремим сервісам або функціональним можливостям, які мікросервіс надає. Вони є точками доступу, через які зовнішні системи або клієнти можуть здійснювати взаємодію з цим мікросервісом. Таким чином, ендпоінти є основною складовою частиною API мікросервісів, і вони визначають, які операції можна виконати та як це зробити через відповідний мікросервіс [7].

Для тестування API мікросервісу використовувався інструмент Pytest – фреймворк для тестування на мові Python. Забезпечено 100% покриття тестами, що означає, що кожна частина коду, яка виконує яку-небудь функціональність, була покрита тестами. Це дозволило зменшити кількість помилок, підвищити стабільність системи та полегшити рефакторинг коду.

Рисунок 5 ілюструє інтерфейс розробленого мікросервісу, який відповідає за реалізацію функціоналу та інтеграцію підсистеми експертного оцінювання режимів роботи мікромережі. Цей модуль використовується для визначення правил зміни режиму роботи мікромережі в загальній системі підтримки прийняття рішень.



Рис. 5. Тестовий інтерфейс мікросервіса

Функціонал запропонованого мікросервісу наступний:

1. *Обробка даних.* Мікросервіс приймає дані, що надходять від експерта через веб-інтерфейс (рис. 6). Ці дані використовуються для розрахунку бази правил, що визначають режим роботи мікромережі.

2. *Взаємодія з експертом.* Експерт заповнює форму опитування, і при натисканні кнопок відбувається виклик API мікросервісу, що дозволяє взаємодіяти з мікросервісом.

3. *Розрахунок бази правил.* В коді мікросервісу реалізовано алгоритм розрахунку бази правил, який ґрунтується на даних, отриманих від експерта [8].

API забезпечує безперервну інтеграцію з системою підтримки прийняття рішень [9], що дозволяє ізолювати цю частину від інших підсистем, інтегрувати її в сторонні системи або змінювати алгоритм розрахунку режимів роботи



Рис. 6. Інтерфейс веб-додатку

без необхідності перебудови інших частин системи підтримки прийняття рішень. У контексті оцінки ефективності цього підходу можна зазначити, що він сприяє підвищенню гнучкості та розширюваності системи, зменшує час на впровадження змін та дозволяє зберігати стабільність інших її компонентів. Таким чином, використання API в контексті системи підтримки прийняття рішень підтверджується як ефективний засіб для забезпечення гнучкості та масштабованості систем.

Висновок. У даному дослідженні розглянуто використання мікросервісної архітектури для створення інформаційних систем, які підтримують прийняття рішень щодо режимів роботи енергетичних мікромереж. Розроблена система є універсальним інструментом, який може бути використаний для вирішення різних задач, пов'язаних з управлінням мікромережами. Використання такого підходу дозволило розділити систему на невеликі та автономні компоненти, що полегшило розробку та масштабування, а також сприяло незалежному вдосконаленню та розгортанню окремих компонентів. Проведено аналіз процесу взаємодії експертів з інформаційною системою, декомпозицію головної функції мікросервісу та розроблено архітектуру системи з урахуванням мікросервісного підходу. Досліджено взаємодію веб-додатка з мікросервісом за допомогою діаграм послідовності. Проведені дослідження демонструють практичну цінність щодо використання мікросервісної архітектури для створення інформаційних систем, спрямованих на підтримку прийняття рішень у цій сфері. Результати дослідження можуть бути корисними для управління енергетичними мережами та прийняття обґрунтованих рішень у сфері енергетики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. L. Ahmethodzic та M. Music, "Comprehensive review of trends in microgrid control", *Renewable Energy Focus*, Т. 38. 2021. DOI: 10.1016/j.ref.2021.07.003.
2. О. Трибой, "Сприяння енергетичній безпеці та сталому розвитку місцевих громад в Україні". 2021.

3. M. A. Jirdehi, V. S. Tabar, S. Ghassemzadeh, та S. Tohidi, “Different aspects of microgrid management: A comprehensive review,” *Energy Storage*, Т. 30, 2020. DOI: 10.1016/j.est.2020.101457.
4. D. Rodríguez, A. Angulo, D. F. Gómez, D. Álvarez, та S. Rivera, “Smart microgrids operation considering expert knowledge and ensembled based metaheuristic optimization algorithms,” *Far East Journal of Mathematical Sciences (FJMS)*, Т. 140, 2022, DOI: 10.17654/0972087123001.
5. I. Georgievski, L. Fiorini, та M. Aiello, “Towards Service-Oriented and Intelligent Microgrids,” *ACM International Conference Proceeding Series*, 2020. DOI: 10.1145/3378184.3378214.
6. Uses and applications of the OpenAPI/Swagger specification: a systematic mapping of the literature / S. Casas et al. 2021 40th International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC), La Serena, Chile, 15–19 November 2021. 2021. DOI: 10.1109/sccc54552.2021.9650408
7. End-to-End Test Coverage Metrics in Microservice Systems: An Automated Approach / A. S. Abdelfattah et al. *Service-Oriented and Cloud Computing*. Cham, 2023. P. 35–51. DOI: 10.1007/978-3-031-46235-
8. Sergiy Tymchuk, S. Shendryk, V.V. Shendryk, Anton Panov, A.Kazlauskaite, T.V. Levytska, Decision-Making Model at the Management of Hybrid Power Grid *Information and Software Technologies*, 2021. P. 60-71, https://doi.org/10.1007/978-3-030-59506-7_6.
9. A. Sokruta, Yu. Parfenenko, V. Shendryk. Information System for Support of Energy Microgrid with Renewable Energy Sources Management. Інформатика, математика, автоматика : матеріали та програма Міжнародної наукової конференції молодих вчених: СумДУ, 2022. С. 76-77
10. Boiko, Olha & Shendryk, Vira & Parfenenko, Yuliia & Pavlenko, Petro & Titarev, Artem. Information support of stakeholders in the management of energy systems: development and implementation of interfaces. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2023, vol. 6, P. 15-24. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.292186>.

REFERENCES:

1. Ahmethodzic, L., & Music, M. (2021). Comprehensive review of trends in microgrid control. *Renewable Energy Focus*, 38, 84–96. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2021.07.003>
2. Tryiboi, O. (2021). Posibnyk «Spryannia enerhetychnii bezpetsi ta stalomu rozvytku mistsevykh hromad v Ukraini». <https://uabio.org/materials/12080/> [in Ukrainian].
3. Jirdehi, M. A., Tabar, V. S., Ghassemzadeh, S., & Tohidi, S. (2020b). Different aspects of microgrid management: A comprehensive review. *Journal of Energy Storage*, 30, 101457. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101457>
4. Rodríguez, D., Angulo, A., Gómez, D. F., Álvarez, D., & Rivera, S. (2022). Smart microgrids operation considering expert knowledge and ensembled based metaheuristic optimization algorithms. *Far East Journal of Mathematical Sciences (FJMS)*, 140, 1–26. <https://doi.org/10.17654/0972087123001>
5. Georgievski, I., Fiorini, L., & Aiello, M. (2020). Towards Service-Oriented and Intelligent Microgrids. *APPIS 2020: 3rd International Conference on Applications of Intelligent Systems*. ACM. <https://doi.org/10.1145/3378184.3378214>
6. Casas, S., Cruz, D., Vidal, G., & Constanzo, M. (2021). Uses and applications of the OpenAPI/Swagger specification: a systematic mapping of the literature. *40th International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/sccc54552.2021.9650408>
7. Abdelfattah, A. S., Cerny, T., Salazar, J. Y., Lehman, A., Hunter, J., Bickham, A., & Taibi, D. (2023). End-to-End Test Coverage Metrics in Microservice Systems:

An Automated Approach. *Service-Oriented and Cloud Computing* (pp. 35–51). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46235-1_3

8. Tymchuk, Sergii & Shendryk, Sergii & Shendryk, Vira & Panov, Anton & Kazlauskaitė, Anastasia & Levytska, Tetiana. (2020). Decision-Making Model at the Management of Hybrid Power Grid. *Information and Software Technologies*, 60–71, https://doi.org/10.1007/978-3-030-59506-7_6.

9. Sokruta, A., Parfenenko, Yu., Shendryk, V. (2022). Information System for Support of Energy Microgrid with Renewable Energy Sources Management. *Informatics. Mathematics. Automation: materials and program of the international scientific conference of young scientists*, 76–77.

10. Boiko, Olha & Shendryk, Vira & Parfenenko, Yuliia & Pavlenko, Petro & Titariiev, Artem. (2023). Information support of stakeholders in the management of energy systems: development and implementation of interfaces. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6, 15–24. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.292186>.