

SYSTEM ANALYSIS AND APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED POWER SUPPLY SYSTEM FOR CIVIL OBJECTS WITH PHOTOELECTRIC PLANTS AND ELECTRICITY STORAGE

P. Zinkevych, S. Baluta

National University of Food Technologies

Key words:

*Electric energy
Power supply
Photoelectric plant
Storage
system analysis*

Article history:

Received 06.07.2023
Received in revised form
24.07.2023
Accepted 07.08.2023

Corresponding author:

P. Zinkevych

E-mail:

petrozinkevich@gmail.com

Citation: П. О. Зінкевич,
С. М. Балюта (2023). Си-
стемний аналіз і підходи
до розробки автоматизо-
ваної системи електроза-
безпечення цивільних
об'єктів з фотоелектрич-
ними станціями та нако-
пичувачами електроенер-
гії. *Наукові праці НУХТ*,
29(4), 117—125.
DOI: 10.24263/2225-2924-
2023-29-4-11

ABSTRACT

The state of management of power supply systems for civil facilities using photovoltaic power stations (PPS) and electric power storage (EPS) was analyzed in the article. A systematic analysis of the process of managing the power supply of civil objects (CO) with the use of PPS and EPS of civil objects was carried out, which, based on the decomposition of the control process according to the IDEF0 methodology, made it possible to determine the main stages of the control process: basic control functions, input data for the implementation of control functions, functions to ensure control implementation. The basic management functions included: monitoring of electricity consumption of a civil facility (power consumers, apartments), generation capacity of the PPS; selection of models and carrying out load forecasting of the central office; power system management function; monitoring of the charge/discharge of the electrical energy (EE) storage device; formation of a database (DB) for the management of the power supply of the central office; formation of decisions to optimize energy supply systems (ESS) operating modes; Mechanisms for implementing control functions were: information and computing complex; EE sensors; Chief Engineer. Input data for the implementation of control functions are: meteorological data; data obtained from EE metering devices; PPS generation data. The functions of ensuring the implementation of management were: requirements regarding the schedules of EE consumption, PPS generation; requirements for the accuracy of forecasting EE consumption and PPS generation; regulation of the operating mode of the central heating network; data on the state of the EE storage device; regulation of power supply system modes; tariffs for EE, capacities and volumes of EE received from the power system and PPS.

On the basis of the conducted system analysis, the concept of creating an automated control system for the power supply of civil facilities using PPS and NE was formed.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-11

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ І ПІДХОДИ ДО РОЗРОБКИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ З ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ СТАНЦІЯМИ ТА НАКОПИЧУВАЧАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

П. О. Зінкевич, С. М. Балюта

Національний університет харчових технологій

У статті проаналізовано стан керування системами електрозабезпечення цивільних об'єктів (ЦО) з використанням фотоелектричними станціями (ФЕС) та накопичувачами електроенергії (НЕ). Проведено системний аналіз процесу керування електрозабезпеченням ЦО з використанням ФЕС та НЕ ЦО, який на основі декомпозиції процесу керування за методологію IDEF0 дає змогу визначити основні етапи процесу керування: базові функції керування, вхідні дані для реалізації функцій керування, функції забезпечення реалізації керування. До базових функцій керування відносяться: моніторинг електроспоживання ЦО (силових споживачів, квартир), потужності генерації ФЕС; вибір моделей і проведення прогнозування навантаження ЦО; функція керування енергосистемою; моніторинг заряду/розряду НЕ; формування бази даних (БД) з керування електрозабезпечення ЦО; формування рішень по оптимізації режимів роботи системи енергозабезпечення (СЕЗ). Механізми реалізації функцій керування такі: інформаційно-обчислювальний комплекс; датчики електричної енергії (ЕЕ); головний інженер. Вхідні дані для реалізації функцій керування: метеорологічні дані; дані, отримані з приладів обліку ЕЕ; дані генерації ФЕС. Функції забезпечення реалізації керування такі: вимоги щодо графіків споживання ЕЕ, генерації ФЕС; вимоги до точності прогнозування споживання ЕЕ та генерації ФЕС; регулювання режиму роботи електричної мережі ЦО; дані щодо стану накопичувача ЕЕ; регулювання режимів системи електрозабезпечення; тарифи на ЕЕ, потужності та обсяги ЕЕ, отримані від енергосистеми та ФЕС.

На основі проведеного системного аналізу сформовано концепцію побудови автоматизованої системи керування електрозабезпечення ЦО з використанням ФЕС та НЕ.

Ключові слова: *електрична енергія, електрозабезпечення, фотоелектростанція, накопичувач, системний аналіз.*

Постановка проблеми. Керування електрозабезпеченням ЦО з використанням ФЕС та НЕ є актуальним завданням, оскільки дає змогу забезпечувати енергоефективні режими електрозабезпечення, зменшити навантаження на електричну мережу і вартість електричної енергії, що споживається, забезпечити ефективне використання ФЕС та НЕ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням керування електрозабезпечення з використанням ФЕС та НEE присвячено ряд праць. Розглянемо деякі з них.

У дослідженні (Kallio, & Siroux, 2022) представлено огляд систем управління енергією цивільних об'єктів (HEMS) для виробництва відновлюваної енергії та використання методів оптимізації. HEMS є важливою програмою Smart Grid. HEMS використовується для моніторингу й оптимального управління потоками енергії в будівлях, включаючи виробництво енергії з ВДЕ, від НЕ та розумну побутову техніку. HEMS підтримується розширеною інфраструктурою вимірювання (AMI) або інтелектуальними лічильниками, які мають двосторонній зв'язок між споживачем і комунальним підприємством енергосистеми. До недоліків HEMS відносяться: неврахування особливостей старіння акумуляторних батарей (АБ); зміна параметрів АБ унаслідок старіння; неможливість обмеження пікових навантажень електричної мережі.

У дослідженні (Zhuo, 2019) представлено декілька стратегій керування мікромережами з відновлюваними джерелами енергії та системи накопичення енергії. Алгоритми керування, представлені в цьому дослідженні, забезпечують максимізацію прибутку від генерації ЕЕ та мінімізацію витрат енергії в мікромережах з використанням даних прогнозування ЕЕ, отриманої від відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), метеоданих, тарифів на ЕЕ, прогнозні дані щодо навантаження. Запропоновані алгоритми керування при формуванні керувальних дій не враховують кількість циклів зарядів АБ, неточність даних прогнозу, зміну параметрів АБ протягом терміну експлуатації.

У статті (Alam, Rahman, Ahmed, Chowdhury, & Jang, 2022) пропонується модель для системи енергоменеджменту домашньої мікромережі, інтегрованої з НЕ для мінімізації вартості ЕЕ з урахуванням обмеження потужності ВДЕ, НЕ. Запропонована математична модель не забезпечує оптимізацію режимів електрозабезпечення ЦО.

У дослідженні (Santoso, Mursid, & Prajogo, 2018) представлена система енергоменеджменту будинку (HEMS). Зокрема проведено аналіз застосування HEMS із програмами DSM (Demand Side Managment) і PEV (Plug-in Electric Vehicles) для керування розумними мережами з метою покращення якості функціонування мереж. Представлена система не передбачає використання НЕ для керування енергозабезпечення.

У дослідженні (Angenendt, Zurmühlen, Mir-Montazeri, Magnor, & Sauer, 2016) представлено стратегію керування ФЕС та НЕ з метою збільшення терміну служби літій-іонних батарей без значного зниження рівня власного споживання. Наведена стратегія не забезпечує врахування неточностей моделей прогнозування, моніторинг стану АБ та зменшення пікових навантажень мережі.

У праці (Jeddi, Mishra, & Ledwich, 2017) запропонована система HEMS для побутових клієнтів спрямована на мінімізацію щоденних витрат на електроенергію шляхом ефективного планування й управління системами ФЕС та НЕ з урахуванням деградації АБ НЕ та динамічних тарифів на ЕЕ. Запропонована система не забезпечує мінімізацію пікових навантажень електричної мережі та моніторинг стану АБ.

Виконаний аналіз розглянутих досліджень показав, що представлені системи та методи керування електрозабезпеченням з використанням ФЕС та НЕ передбачають керування ФЕС та НЕ з метою зменшення вартості електричної енергії, однак вони не дають змогу реалізувати в повній мірі функції прогнозування споживання ЕЕ та прогнозування генерації ФЕС, не забезпечують моніторинг стану АБ НЕ та оптимізацію режимів енергозабезпечення ЦО.

Мета дослідження полягає у синтезі автоматизованої системи керування електрозабезпеченням ЦО з використанням ФЕС, НEE на основі системного аналізу процесу керування передаванням, розподілом і споживанням ЕЕ.

Матеріали і методи. Використано метод системного аналізу, структурного моделювання, а також CASE-засоби програмної інженерії, зокрема лінійку CASE-засобів Ramus, яка дає змогу в автоматичному режимі побудувати модель IDEF0 будь-якої складності.

Викладення основних результатів досліджень. Системна модель вирішення задачі підтримки прийняття рішень при керуванні електрозабезпеченням ЦО з використанням ФЕС та НEE побудована за методологією SADT на основі нотацій IDEF0 (Булига, Булига, & Коцюбівська, 2021).

При створенні системи керування електрозабезпеченням ЦО з використанням ФЕС та НЕ, виділяють такі етапи:

Етап 1. Формування функціональної моделі IDEF0 системи керування електрозабезпеченням ЦО з використанням ФЕС та накопичувачів ЕЕ.

Спершу в контексті використання функціональної моделі IDEF0 сформовано контекстну діаграму найвищого рівня, що демонструє базову структуру системи керування електрозабезпеченням цивільних об'єктів з використанням ФЕС та накопичувачів ЕЕ (рис. 1).

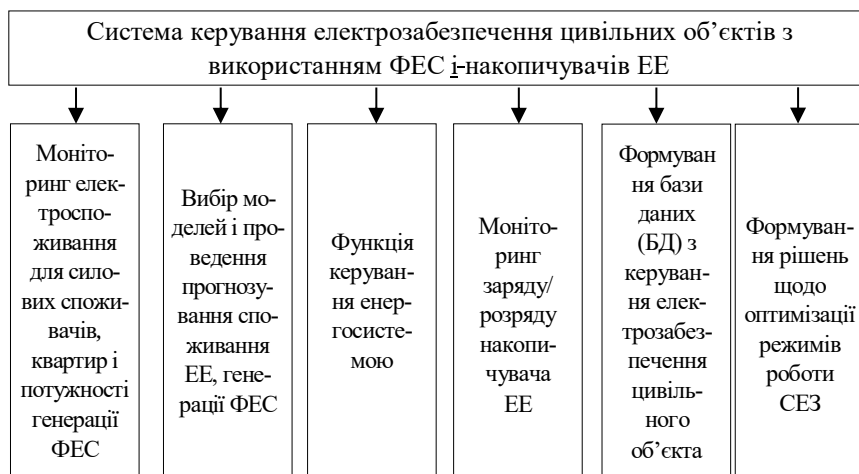


Рис. 1. Ієрархія блоків функціональної моделі IDEF0 система керування електрозабезпеченням цивільних об'єктів з використанням ФЕС і накопичувачів ЕЕ

На комплексній діаграмі моделі IDEF0 вся система керування електрозабезпеченням ЦО з використанням ФЕС і накопичувачів ЕЕ позначена як блок «А0».

Для цього блоку формуються всі вхідні та вихідні дані, інші елементи, пов'язані з цим блоком, займають відведене для них місце та надалі будуть приєднані до основного блоку стрілками і позначеннями (рис. 2) (Булига, Булига, & Коцюбівська, 2021).

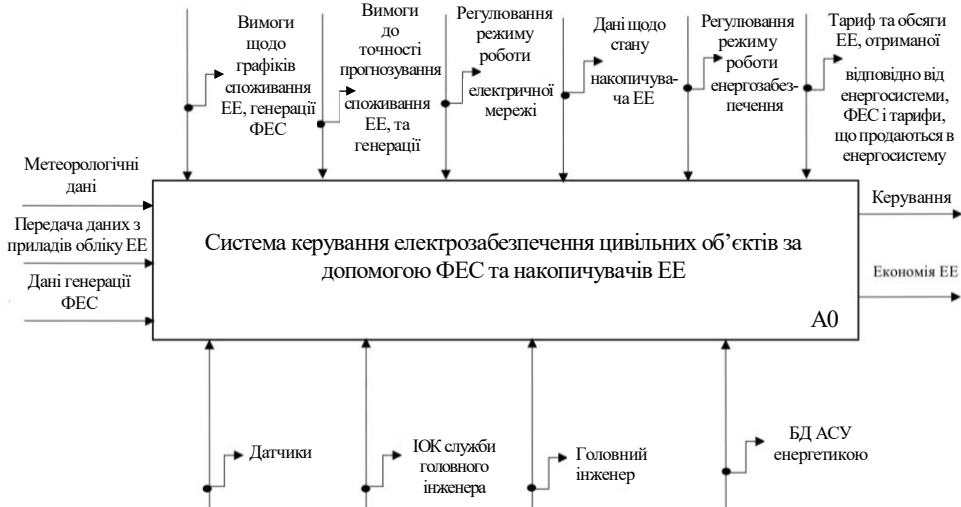


Рис.2. Комплексна діаграма моделі IDEF0 системи керування електрозабезпечення цивільних об'єктів за допомогою ФЕС і накопичувачів ЕЕ

Зв'язки в системі керування позначаються чотирма типами граничних стрілок:

1. Вхід (Input):

- метеорологічні дані;
- передача даних з приладів обліку ЕЕ;
- дані генерації ФЕС.

2. Керування (Control):

- вимоги щодо графіків споживання ЕЕ, генерації ФЕС;
- вимоги до точності прогнозування споживання ЕЕ та генерації ФЕС;
- регулювання режиму роботи електричної мережі;
- дані щодо стану накопичувача ЕЕ;
- регулювання режиму роботи електрозабезпечення;
- тарифи на ЕЕ.

3. Вихід (Output):

- економія ЕЕ;
- керування;

4. Механізми (Mechanism):

- датчики;
- ІОК служби головного інженера;
- головний інженер;
- БД АСУ енергетикою.

Етап 2. Формування декомпозиції першого рівня контекстної діаграми моделі IDEF0 системи керування електрозабезпечення ЦО з використанням ФЕС і накопичувачів ЕЕ. На рис. 3 зображено декомпозицію першого рівня контекстної

діаграми функціональної моделі IDEF0 системи керування електрозабезпечення ЦО за використання ФЕС і накопичувачів ЕЕ.

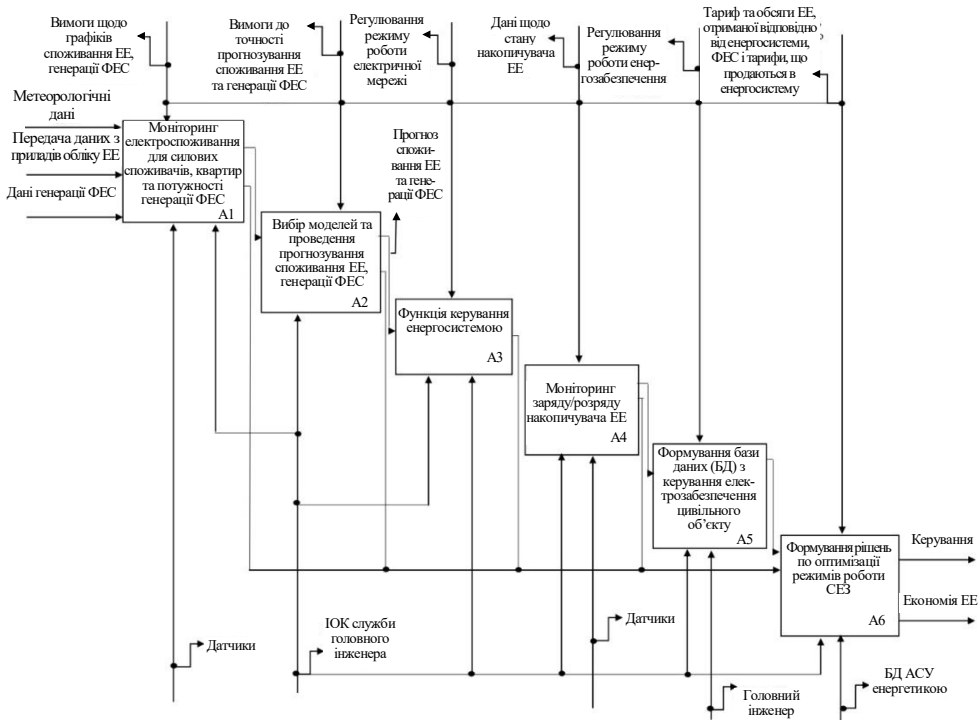


Рис. 3. Декомпозиція першого рівня контекстної діаграми моделі IDEF0 системи керування електрозабезпечення цивільних об'єктів з використанням ФЕС і накопичувачів ЕЕ

За результатами декомпозиції першого рівня на контекстній діаграмі моделі IDEF0 можна встановити, що система керування електрозабезпечення цивільних об'єктів з використанням ФЕС і накопичувачів ЕЕ складається із шести основних блоків, які є основними шляхами на найвищому рівні управління.

Грунтуючись на сформованій декомпозиції, зображеній на рис. 3, детальніше розглянемо перелік блоків, які представляють перший рівень нашої контекстної діаграми та їх функції:

A1 — моніторинг електроспоживання цивільного об'єкта для силових споживачів, квартир і потужності генерації ФЕС. Здійснюється автоматична передача даних з приладів обліку ЕЕ, датчиків генерації ФЕС, а також метеорологічних даних.

A2 — вибір моделей і проведення прогнозування споживання ЕЕ, генерації ФЕС. Виконується прогноз (короткостроковий, середньостроковий і довгостроковий) електричного навантаження ЦО на основі архівних даних споживання ЕЕ і факторів, які впливають на точність прогнозування (фактор дня, час доби, день тижня), графік генерації ЕЕ від ФЕС на основі архівних даних генерації ФЕС та архівних метеорологічних даних. Прогнозування проводиться з використанням

статистичних та інтелектуальних методів прогнозування (Kuevda, Baliuta, Zinkevich, & Stoliarov, 2021; Zinkevych, Baliuta, & Kuevda, 2022; Зінкевич, Балюта, & Куєвда, 2021; Зінкевич, Балюта, & Куєвда, 2022; Зінкевич, Балюта, Куєвда, & Столяров, 2021).

A3 — функція керування системою електрозабезпечення. Вихідними даними є прогнозний добовий графік споживання ЕЕ та прогнозний добовий графік генерації ЕЕ ФЕС. Формується графік електричної мережі. За цим графіком визначається скільки ЕЕ потрібно виробити, купити, продати та накопити ЕЕ.

A4 — моніторинг заряду/розряду накопичувача ЕЕ. На основі автоматизації збору й обробки інформації оцінюється поточний заряд накопичувача ЕЕ, допустимий мінімальний і максимальний заряд, кількість допустимих циклів заряду та розряду, ступінь старіння накопичувача.

A5 — формування бази даних (БД) з керування електрозабезпечення ЦО. Формуються прогнозні графіки споживання ЕЕ, генерації ЕЕ ФЕС, графік навантаження електричної мережі та графік заряду/розряду накопичувача ЕЕ.

A6 — формування рішень щодо оптимізації режимів роботи СЕЗ. Завданням оптимізації системи електрозабезпечення цивільних об'єктів є мінімізація оплати за електричну енергію за кожен день, отримана від енергосистеми та генерована ФЕС, НЕЕ, з використанням тарифів на ЕЕ.

На основі системного аналізу процесу керування електрозабезпеченням ЦО розроблена функціональна схема автоматизованої системи керування електрозабезпеченням ЦО з використанням ФЕС і СНЕ (рис. 4).

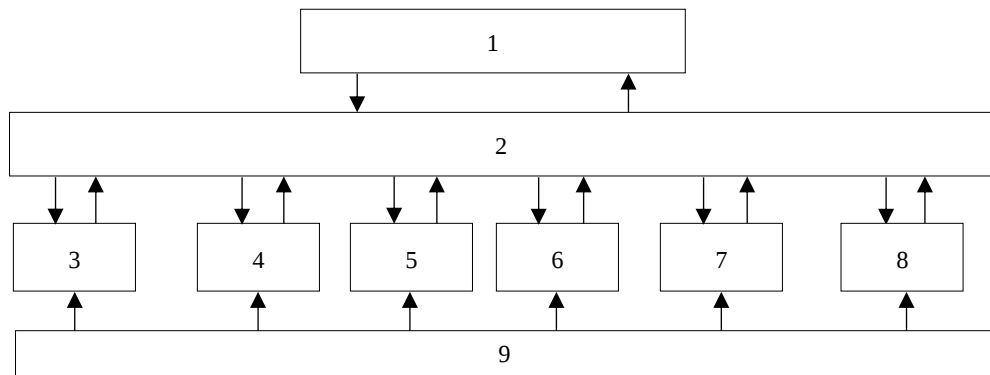


Рис. 4. Функціональна схема керування електроспоживанням та електропостачанням цивільного об'єкта: 1 — база даних АСК електрозабезпечення ЦО; 2 — база даних керування електрозабезпеченням ЦО; 3 — блок моніторингу потужності генерації ФЕС, електричних навантажень, електроспоживання: проводиться автоматична передача даних з приладів обліку ЕЕ і перевірка достовірності інформації; 4 — блок прогнозування потужності ФЕС й електричного навантаження ЦО: виконується прогноз (добовий, місячний і річний) для ЦО; 5 — блок моніторингу стану ФЕС; 6 — блок моніторингу стану НЕ; 7 — блок оптимізації режимів системи електрозабезпечення з використанням значень напруги, активної та реактивної потужності, отриманих від датчиків; 8 — блок контролю за показниками якості електричної енергії (ПЯЕЕ) за даними вимірювальних приладів і вибір засобів забезпечення нормативних ПЯЕЕ; 9 — організаційно-технічні засоби керування електрозабезпечення ЦО

Для забезпечення функціонування функціональних блоків розробляються відповідні алгоритми керування.

Висновки

1. Розробку системи керування електрозабезпеченням ЦО доцільно проводити на основі системного аналізу процесу керування електрозабезпеченням для врахування взаємного впливу окремих елементів системи електрозабезпечення, визначення інформаційних потоків, етапів обробки інформації, порядку формування і умови реалізації керувальних дій.

2. Керування електрозабезпеченням ЦО з використанням ФЕС та НЕ доцільно проводити за допомогою методів модельно-предикативного керування з використанням прогнозних значень електроспоживання та генерації ФЕС з урахуванням стану заряду АБ та допустимих циклів заряду-розряду. Це дасть змогу максимально використати енергію отриману від ФЕС, забезпечити енергоефективні режими роботи АБ СНЕ та зменшити пікові навантаження потужності мережі.

3. Для побудови автоматизованої системи керування електрозабезпеченням ЦО доцільно використовувати інформаційну модель даних, побудовану з використанням інформаційної СІМ моделі за об'єктно-орієнтованим принципом.

Література

Булига К., Булига О., Коцюбівська К. (2021). Використання методів програмної інженерії під час моделювання бізнес-проектів у сфері послуг. *Цифрова платформа: інформаційні технології в соціокультурній сфері*, 4(2), 219—227. <https://doi.org/10.31866/2617-796X.4.2.2021.247486>.

Зінкевич П. О., Балюта С. М., Куєвда Ю. В. (2021). Інтелектуальна система керування з використанням нейронних мереж NARX для реалізації функції прогнозування вироблення електроенергії сонячними станціями. *VIII Міжнародна науково-технічна Internet-конференція «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами»*, 83—85.

Зінкевич П. О., Балюта С. М., Куєвда Ю. В. (2021). Порівняльний аналіз методів короткострокового прогнозування електричного навантаження на один крок вперед. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 27(3), 63—76. DOI:10.24263/2225-2924-2021-27-3-9.

Зінкевич П. О., Балюта С. М., Куєвда Ю. В. (2022). Порівняльний аналіз методів короткострокового багатокрокового електричного навантаження. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 28(1), 77—92. DOI:10.24263/2225-2924-2022-28-1-9.

Angenendt G., Zurmühlen S., Mir-Montazeri R., Magnor D., Sauer D. U. (2016). Enhancing Battery Lifetime in PV Battery Home Storage System Using Forecast Based Operating Strategies. *Energy Procedia*, 99, 80—88. DOI:10.1016/j.egypro.2016.10.100.

Alam M., Rahman M. H., Ahmed F., Chowdhury M., Jang Y. M. (2022). Deep learning based optimal energy management for photovoltaic and battery energy storage integrated home micro-grid system. *Scientific Reports*, 12(1), 15133. DOI:10.1038/s41598-022-19147-y.

Jeddi B., Mishra Y., Ledwich G. (2017). Dynamic programming based home energy management unit incorporating PVs and batteries, *IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 1—5. doi: 10.1109/PESGM.2017.8273925.K.

Kallio S., Siroux M. (2022). A Review — Home Renewable Energy Management Systems in Smart Grids. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1050(1), 1—7. DOI:10.1088/1755-1315/1050/1/012001.

Kuevda Ju., Baliuta S., Zinkevich P., Stoliarov O. (2021). Forecasting the electricity generation of photovoltaic plants. *V International Scientific-Technical Conference Actual problems of renewable energy, construction and environmental engineering*, 37—38.

Santoso H., Mursid S., Prajogo S. (2018). Review: Home energy management system in a Smart Grid scheme to improve reliability of power systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 105(1), 1—9. DOI:10.1088/1755-1315/105/1/012081.

Zhuo W. (2019). Control Strategies for Microgrids with Renewable Energy Generation and Battery Energy Storage Systems. *ArXiv abs*, 1—63. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1911.02126>.

Zinkevych P., Baliuta S., Kuevda Ju. (2022) Comparative computational analysis of the selection of battery energy storage for civil objects and parking with photovoltaic plants. *VI International Scientific-Technical Conference «Actual problems of renewable energy, construction and environmental engineering»*, 110—111.