

# ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 658.264

## Гібридна система енергозабезпечення багатопверхового житлового будинку

**В. О. Верстак<sup>1</sup>✉, О. О. Паламарчук<sup>2</sup>, Ю. К. Бессат'ян<sup>3</sup>, П. О. Шилов<sup>4</sup>, О. С. Тарасюк<sup>5</sup>**<sup>1-5</sup>Національний університет «Одеська політехніка», просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна✉ e-mail: <sup>1</sup>12508759@as.op.edu.uaORCID: <sup>1</sup><http://orcid.org/0009-0001-6842-7006>; <sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0003-7886-0692>; <sup>3</sup><https://orcid.org/0009-0008-2445-365X>; <sup>4</sup><https://orcid.org/0009-0007-7400-701X>; <sup>5</sup><https://orcid.org/0009-0004-6552-6932>

Застосування гібридних систем енергозабезпечення (ГСЕ), що поєднують сучасні енергоефективні технології на базі традиційних та відновлювальних джерел енергії, зростає з кожним роком, як в Україні так і в світі. Впровадження ГСЕ найбільш доцільно щодо автономного енергозабезпечення споживачів, а саме: сільськогосподарських комплексів, фермерських господарств, індивідуальних домогосподарств, житлових та рекреаційних комплексів, невеликих промислових об'єктів тощо. Зазвичай, ГСЕ поєднують декілька традиційних та відновлювальних джерел енергії, що забезпечує високу енергоефективність системи в порівнянні з окремим застосуванням джерела енергії. Запропоновано конфігурацію ГСЕ щодо автономного забезпечення електро- та теплопостачання багатопверхового житлового будинку з урахування енергетичного потенціалу сонячної енергії Одеського регіону. До розгляду пропонується гібридна система з когене-раційною установкою на базі газової турбіни та фотоелектричної сонячної електростанції. Розроблено методику щодо визначення оптимальних параметрів та режимів навантаження запропонованої ГСЕ за критерієм мінімізації генеруючої потужності СЕС. Розв'язання задачі оптимізації ГСЕ здійснено за допомогою електронних таблиць Excel в опції «Пошук рішення». Результатом розв'язання є оптимальні значення площі фотоелектричних панелей, середньомісячні утилізовані теплові та електричні потужності когенераційної установки, середньомісячна електрична потужність електрокотла та фотоелектричних панелей, що задовольняють умовам задачі. Отримано оптимальні графіки щодо електричного та теплового навантаження ГСЕ за місяцями року. Підтверджено, що сезонна мінливість енергетичного потенціалу сонячних ресурсів може бути компенсована шляхом інтеграції до єдиної системи різних за природою джерел енергії, оптимізації їх режимів навантаження та генеруючих потужностей.

**Ключові слова:** Гібридна система; Комбіноване енергозабезпечення; Відновлювальні джерела енергії; Когенераційна установка; Фотоелектричні сонячні панелі; Оптимізація параметрів; Режимми навантаження

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v6i12.3198>

© The Author(s) 2025. This article is an open access publication

This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY)

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

### 1. Вступ

Застосування ГСЕ, що поєднують сучасні енергоефективні технології на базі традиційних та відновлювальних джерел енергії, зростає з кожним роком, як в Україні так і в світі [1]. Це зумовлено

поступовим збільшенням вартості викопного палива, цінами на електричну та теплову енергію, загостренням екологічних проблем, вимогами щодо забезпечення надійності енергопостачання. Склад та конфігурація ГСЕ може бути доволі різноманітною. Зазвичай, ГСЕ поєднують декілька традицій-

них та відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) [2], що забезпечує високу енергоефективність системи в порівнянні з окремим застосуванням джерела енергії. Це зумовлено ефектом взаємодоповнення переваг кожного джерела енергії в системі при одночасній взаємокомпенсації їх недоліків [3].

## 2. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Впровадження ГСЕ найбільш доцільно щодо автономного енергозабезпечення споживачів, а саме: сільськогосподарських комплексів, фермерських господарств, індивідуальних домогосподарств, житлових та рекреаційних комплексів, невеликих промислових об'єктів тощо [4]. Найбільш розповсюдженими для кліматичних умов України є ГСЕ, в яких у якості ВДЕ використовуються сонячні фотоелектричні панелі (СЕС) або вітроустановки (ВЕС) щодо автономного забезпечення споживачів електрикою [5,6]. ГСЕ можуть бути повністю автономними або приєднані до енергомережі. Автономні ГСЕ обов'язково матимуть у складі пристрої з акумулювання енергії щодо компенсації змінного характеру сонячних або вітрових ресурсів.

Більш розповсюдженими є ГСЕ щодо забезпечення автономного електропостачання, але для певних споживачів мають сенс системи щодо забезпечення також автономного теплопостачання – опалення та гарячого водопостачання (ГВП). В таких ГСЕ до системи додатково інтегровано, наприклад, тепловий насос або електроркотел. При такій конфігурації ГСЕ значно зростає споживання електрики в опалювальний період, що потребує, відповідно, суттєвого збільшення потужностей ВДЕ та ставить систему на межу економічної доцільності. Компромісним варіантом ГСЕ щодо забезпечення споживача електрикою та теплом є конфігурація, що поєднує когенераційні технології та ВДЕ [7].

До розгляду пропонується гібридна система з когенераційною установкою на базі газової турбіни та фотоелектричної сонячної електростанції (рис. 1). Така ГСЕ не є повністю автономна, бо потребує приєднання до газової мережі. Когенераційні установки (КУ) на базі газових турбін широко застосовуються щодо автономного електро- та теплозабезпечення споживачів у опалювальний період [8] та мають високу енергетичну ефективність – коефіцієнт використання палива (КВП) до

90 %, але у літні місяці утилізоване тепло від КУ не використовується і КВП КУ знижується до 30 %. Інтегрування до ГСЕ СЕС щодо забезпечення електрикою споживача у неопалювальний період компенсує низьку ефективність КУ влітку. Енергетична ефективність СЕС у літні місяці, навпаки, сягає максимуму, тому запропонована конфігурація ГСЕ має сенс щодо енергозабезпечення споживачів зі значним тепловим навантаженням у опалювальний період.

Доволі актуальним є питання щодо оптимізації потужності кожного джерела енергії у запропонованій системі [9].

## 3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є оптимізація параметрів та дослідження режимів навантаження запропонованої ГСЕ (рис.1) щодо комбінованого енергопостачання споживачів з урахуванням експериментальних даних щодо кліматичних умов Одеського регіону.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити наступні задачі:

- узагальнити експериментальні дані, щодо сонячної інсоляції, що отримано на метеостанції національного університету «Одеська політехніка»;
- опрацювати методику оптимізації параметрів та режимів навантаження запропонованої ГСЕ з урахуванням потенціалу сонячної інсоляції Одеського регіону;
- провести дослідження ГСЕ комбінованого енергопостачання з метою визначення оптимальних режимів навантаження та енергетичних параметрів системи.

## 4. Матеріали та методи досліджень

Структурну схему запропонованої ГСЕ представлено на рис.1. У якості об'єкта енергозабезпечення обрано 100-квартирний багатоповерховий житловий будинок.

Конфігурація ГСЕ складається сонячної енергоустановки, що генерує електрику, КУ на базі газової мікротурбіни, що забезпечує споживача електрикою та теплом, електроркотла, як додаткового джерела теплопостачання. Електрика, що генерується фотоелектричними панелями, перетворюється в постійний струм для подальшої зарядки акумуляторної батареї. Контролер виконує функцію захисту акумуляторної батареї від надмірної зарядки та глибокого розряду. Інвертор перетво-



Таким чином, задача щодо оптимізації параметрів та режимів навантаження ГСЕ запропонованої конфігурації остаточно має вигляд:

$$\begin{cases} F = F_{\text{ФЕ}} \rightarrow \min(\text{ЦФ}) \\ Q_{\text{оп}}^i + Q_{\text{ГВП}}^i = Q_{\text{КУ}}^i + Q_{\text{ЕК}}^i \text{ (БР)} \\ E_{\text{спож}}^i + E_{\text{ЕК}}^i = E_{\text{КУ}}^i + E_{\text{ФЕ}}^i \text{ (БР)} \\ Q_{\text{КУ}}^i \leq Q_{\text{КУ}}^{\text{НОМ}}; E_{\text{КУ}}^i \leq E_{\text{КУ}}^{\text{НОМ}}; E_{\text{ФЕ}}^i \leq E_{\text{ФЕ}}^{\text{НОМ}} \text{ (ОБ)} \\ i = 1, 12 \end{cases} \quad (4)$$

Розв'язання задачі оптимізації ГСЕ здійснено за допомогою електронних таблиць Excel в опції «Пошук рішення». Результатом розв'язання є оптимальні значення площі фотоелектричних панелей –  $F_{\text{ФЕ}}$ , середньомісячні утилізовані теплові та електричні потужності КУ –  $Q_{\text{КУ}}^i$ ,  $E_{\text{КУ}}^i$ , середньомісячна електрична потужність ЕК та фотоелек-

тричних панелей –  $E_{\text{ЕК}}^i$ ,  $E_{\text{ФЕ}}^i$ , що задовольняють умовам задачі.

## 5. Результати досліджень

Технічні характеристики об'єкта енергозабезпечення – 100-квартирного багатоповерхового житлового будинку:

- загальна опалювальна площа – 7500 м<sup>2</sup>;
- кількість мешканців – 250;
- питома опалювальна характеристика –  $q_0 = 1,4$  Вт/м<sup>2</sup>·°С;
- споживання гарячої води – 100 л/людину на добу.

Параметри споживання тепла на опалення та ГВП визначено за методикою [11].

В табл.1 представлено узагальнені характеристики споживання тепла та електрики на об'єкті протягом року.

Таблиця 1 – Узагальнені характеристики споживання тепла та електрики

Місяць року	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Споживання електрики, кВт·год	65000	59800	59800	55000	43750	56250	62500	62500	43750	52000	65000	65000
Середньомісячне електронавантаження, кВт	90	89	83	76	59	78	84	84	61	70	90	90
Середньомісячне опалювальне навантаження, кВт	220,5	220,5	157,5	94,5	0	0	0	0	0	105,0	147,0	189,0
Тепло на ГВП, кВт	54,7	54,7	54,7	48,0	45,0	42,5	42,5	42,5	45,0	48,0	50,0	54,7
Загальне теплове навантаження, кВт	275,2	275,2	212,2	142,5	45,0	42,5	42,5	42,5	45,0	153,0	197,0	243,7

Середньомісячне теплове навантаження ГСЕ представлено на рис. 2. Відношення щодо потреби в теплі взимку і влітку, відповідно, складає біля 7:1, так як влітку тепло споживається тільки на ГВП.

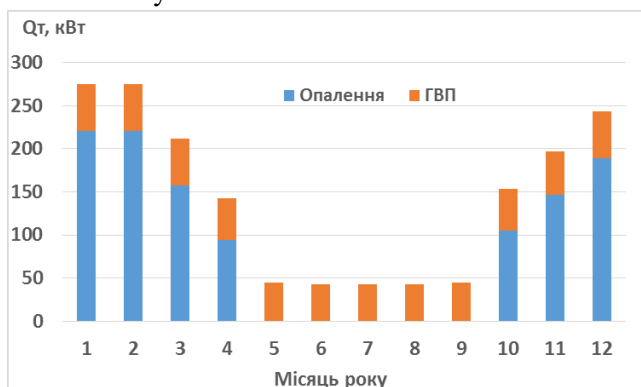


Рисунок 2 – Середньомісячне теплове навантаження об'єкта

Когенераційна установка, що встановлюється на об'єкті енергозабезпечення – мікротурбіна фір-

ми Capstone-200 (США), має наступні технічні характеристики:

- номінальна електрична потужність, кВт – 200;
- номінальна теплова потужність, кВт – 393;
- витрата газу, нм<sup>3</sup>/год – 65;
- частота обертання, об/хв – 65000;
- температура газів на виході, °С – 280;
- електричний ККД, % – 33;
- загальний ККД, % – 90.

Методику узагальнення експериментальних кліматичних даних, щодо сонячної інсоляції, що отримано з метеостанції НУ «Одеська політехніка», представлено у [12]. Результати застосування кліматичних даних для об'єкта енергоспоживання, що досліджується, наведено у табл.2, за результатами якої можна зробити висновок, що електрична потужність фотоелектричних панелей влітку у 6-8 разів більша за зимні місяці, що сприяє їх використанню у ГСЕ при обмеженій роботі КУ влітку (рис 3).

Таблиця 2 – Генерація електрики фотоелектричними панелями.

Місяць року	1	2	3	4	5	6	7	8	8	10	11	12
Інсоляція, кВт·г/м <sup>2</sup>	31	10	116	161	177	211	199	186	131	71	32	28
Питома електрогенерація, Вт/м <sup>2</sup>	7,5	14,0	31,2	45,1	46,9	57,7	52,4	48,5	36,3	19,0	8,4	7,5
Загальна середньомісячна електрична потужність, кВт	9,4	17,5	39,2	56,5	58,8	72,4	65,7	60,8	45,4	23,8	10,6	9,4

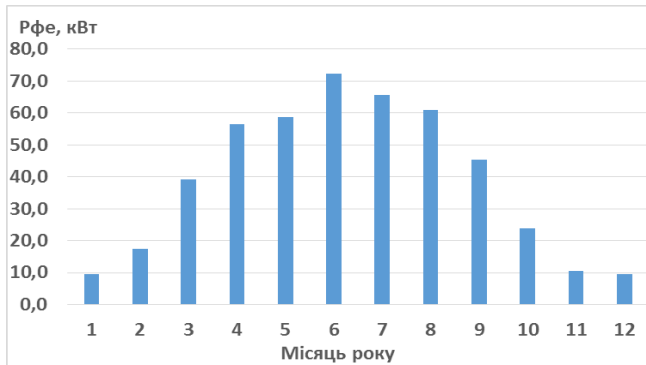


Рисунок 3 – Середньомісячна потужність фотоелектричних панелей

На рис.4 представлено середньомісячне електричне навантаження ГСЕ. Основне споживання електрики витрачається на комунальні потреби. Влітку, у спекотні місяці, споживання електрики зростає за рахунок витрат на кондиціонування. Також, певна частка електрики на протязі року витрачається електрокотлом.

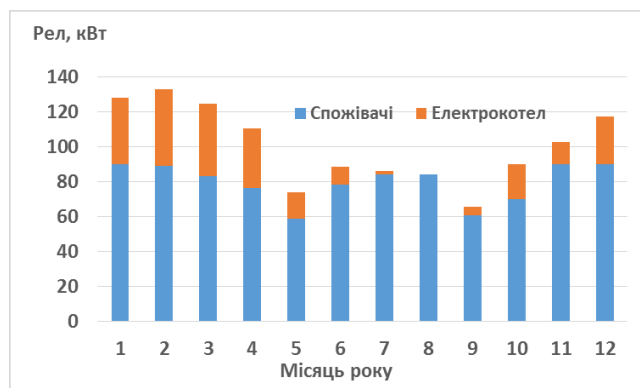


Рисунок 4 – Середньомісячне електричне навантаження об'єкта

Результати розв'язання задачі оптимізації параметрів та режимів навантаження ГСЕ:

Загальна площа фотоелектричних панелей, що забезпечують необхідну частку в споживанні електрики на протязі року – 1254 м<sup>2</sup>. Оптимальні режими щодо генерації тепла КУ та електрокотлом за місяцями року представлено на рис. 5.

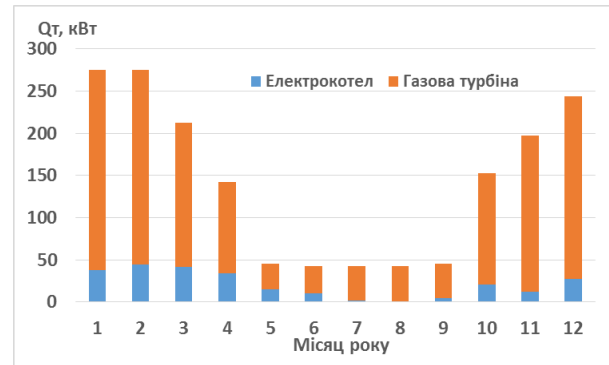


Рисунок 5 – Оптимальні режими генерації тепла за місяцями року

Аналіз рис.5 показує, що в опалювальний період (з жовтня по квітень) основна частка тепла забезпечується за рахунок утилізованого тепла від КУ. Частка тепла від ЕК значно менше, оскільки він використовується для покриття пікових навантажень та узгодження графіків теплового і електричного навантаження КУ. Влітку утилізоване тепло від КУ використовується тільки для забезпечення потреб ГВП, тому КУ вмикається періодично для накопичення гарячої води. Електрокотел вмикається тільки для узгодження теплового і електричного навантаження КУ.

Оптимальні режими щодо генерації електрики КУ та фотоелектричними панелями за місяцями року представлено на рис. 6.

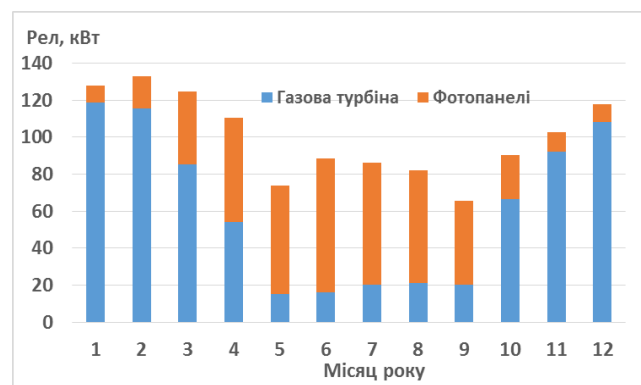


Рисунок 6 – Оптимальні режими генерації електрики за місяцями року

Аналіз рис.6 показує, що в опалювальний період (з жовтня по квітень) основна частка електрики забезпечується за рахунок генерації газовою турбіною. У літні місяці забезпечення електрикою здійснюється, в основному, за рахунок СЕС. Частка електрики від КУ невелика та зумовлена роботою КУ щодо забезпечення ГВП.

## 6. Висновки

Запропоновано конфігурацію ГСЕ щодо автономного забезпечення електро- та теплопостачання багатопверхового житлового будинку з урахування енергетичного потенціалу сонячної енергії Одеського регіону.

Розроблено методику щодо визначення оптимальних параметрів та режимів навантаження запропонованої ГСЕ за критерієм мінімізації генеруючої потужності СЕС.

Отримано оптимальні графіки щодо електричного та теплового навантаження ГСЕ за місяцями року.

Підтверджено, що сезонна мінливість енергетичного потенціалу сонячних ресурсів може бути компенсована шляхом інтеграції до єдиної системи різних за природою джерел енергії, оптимізації їх режимів навантаження та генеруючих потужностей.

## Особистий внесок авторів CRediT

**Верстак В.О.:** запропоновано конфігурацію ГСЕ. **Паламарчук О.О.:** розроблено методику щодо визначення оптимальних параметрів та режимів навантаження. **Бессастьян Ю.К.:** моделювання роботи СЕС. **Шилов П.О.:** аналіз літературних джерел. **Тарасюк О.С.:** аналіз результатів досліджень.

## Література

1. Sabishchenko O., Skrypnyk A., Klymenko N., Voloshyn S., Holiachuk O. Global and Regional Externalities of the Ukrainian Energy Sector // *International Journal of Energy Sector Management*. – 2023. – Vol. 17. – No. 1. – P. 145-166.
2. Victor O. Okinda, Nichodemus A. Odero. A Review of Techniques In Optimal Sizing of Hybrid Renewable Energy Systems // *International Journal of Research in Engineering and Technology*. – 2015. – Vol. 4. – No. 11. – P. 153-163.

3. Kumar N. M., Chopra S. S., Chand A. A., Elavarasan R. M., Shafiullah G. M. Hybrid renewable energy microgrid for a residential community: a techno-economic and environmental perspective in the context of the SDG7 // *Sustainability*. – 2020. – Vol. 12(10). – P. 3944.

4. Попадченко С. А. Гібридні електричні мережі – необхідність та перспективи розвитку в Україні // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. – 2017. – Вип. 186. – С. 39-43.

5. Jihane K., Cherkaoui M. Study of the different structures of hybrid systems in renewable energies: A review // *Energy Procedia*. – 2019. – Vol. 157. – P. 323-330.

6. Шведчикова І. О., Пісоцький А. В. Попередня оцінка ефективності функціонування гібридної вітро-сонячної системи для забезпечення власних потреб локального споживача // *Технології та інжиніринг*. – 2023. – № 4 (15). – С. 53-64.

7. Малярченко В. А., Шубенко О. Л., Андрєєв С. Ю., Бабак М. Ю., Сенєцький О. В. Когенераційні технології в малій енергетиці: монографія. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 454 с.

8. Малярченко В. А., Шубенко А. Л., Сенєцький А. В., Темнохуд І. А. Потенціал інтеграції когенераційних систем в малу енергетику України // *Щоквартальний науковопрактичний журнал*. – 2012. – № 4. – С. 11-17.

9. Баласанян Г., Семеній А., Остапенко А. Дослідження гібридної системи енергозабезпечення з відновлювальними джерелами енергії // *Праці Одеського національного політехнічного університету*. – 2024. – № 2(70). – С. 31-38.

10. Кузнєцов М., Лисенко О., Мельник О. Задачі оптимізації комбінованих енергосистем за економічними критеріями // *Відновлювана енергетика*. – 2019. – № 4. – С. 6-14.

11. ДСТУ А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні // *Національний стандарт України*.

12. Баласанян Г., Семеній А. Дослідження комбінованої системи теплозабезпечення з альтернативними джерелами енергії // *Праці Одеського національного політехнічного університету*. – 2023. – № 2(68). – С. 25-32.

## Hybrid energy supply system for a multi-storey residential building

Vitalii Verstak<sup>1✉</sup>, Oleh Palamarchuk<sup>2</sup>, Yuriy Bessatyan<sup>3</sup>, Pavel Shylov<sup>4</sup>, Oleksandr Tarasiuk<sup>5</sup>

<sup>1-5</sup>National University "Odesa Polytechnic", 1 Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine

✉ e-mail: <sup>1</sup>12508759@as.op.edu.ua

ORCID: <sup>1</sup><http://orcid.org/0009-0001-6842-7006>; <sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0003-7886-0692>; <sup>3</sup><https://orcid.org/0009-0008-2445-365X>; <sup>4</sup><https://orcid.org/0009-0007-7400-701X>; <sup>5</sup><https://orcid.org/0009-0004-6552-6932>

*The use of hybrid power supply systems (HPS), which combine modern energy-efficient technologies based on traditional and renewable energy sources, is growing every year, both in Ukraine and in the world. The implementation of HPS is most appropriate for autonomous energy supply of consumers, namely: agricultural complexes, farms, individual households, residential and recreational complexes, small industrial facilities, etc. Typically, HPSs combine several traditional and renewable energy sources, which ensures high energy efficiency of the system compared to the separate use of an energy source. A configuration of HPS for autonomous provision of electricity and heat supply of a multistorey residential building is proposed, taking into account the energy potential of solar energy in the Odessa region. A hybrid system with a cogeneration unit based on a gas turbine and a photovoltaic solar power plant is proposed. A methodology has been developed for determining the optimal parameters and load modes of the proposed HPS based on the criterion of minimizing the generating capacity of the solar power plant. The solution of the HPS optimization problem was carried out using Excel spreadsheets in the "Solution Search" option. The result of the solution is the optimal values of the area of photoelectric panels, the average monthly utilized thermal and electrical capacities of the cogeneration plant, the average monthly electrical capacity of the electric boiler and photovoltaic panels that satisfy the conditions of the problem. Optimal schedules for the electrical and thermal load of the GSE by months of the year were obtained. It was confirmed that the seasonal variability of the energy potential of solar resources can be compensated by integrating different energy sources into a single system, optimizing their load modes and generating capacities.*

**Keywords:** Hybrid system; Combined energy supply; Renewable energy sources; Cogeneration plant; Photovoltaic solar panels; Parameter optimization; Load modes.

### References

1. Sabishchenko, O., Skrypyuk, A., Klymenko, N., Voloshyn, S., Holiachuk, O. (2023). Global and Regional Externalities of the Ukrainian Energy Sector. *International Journal of Energy Sector Management*, 17, 1, 145-166.
2. Okinda, V., Odero, N. (2015) A Review of Techniques in optimal sizing of hybrid renewable energy systems. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4, 11, 153-163.
3. Kumar, N. M., Chopra, S. S., Chand, A. A., Elavarasan, R. M., & Shafiullah, G. M. (2020). Hybrid renewable energy microgrid for a residential community: a techno-economic and environmental perspective in the context of the SDG7. *Sustainability*, 12(10), 3944.
4. Popadchenko, S. A. (2017) Hybrid electrical networks – necessity and development prospects in Ukraine. *Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture*, 186, 39-43.
5. Jihane, K., Cherkaoui, M. (2019) Study of the different structures of hybrid systems in renewable energies: A review. *Energy Procedia*, 157, 323-330.
6. Shvedchikova, I. O., Pisotsky, A. V. (2023) Preliminary assessment of the efficiency of the functioning of a hybrid wind-solar system to meet the local consumer's own needs. *Technologies and Engineering*, 4 (15), 53-64.
7. Malyarenko, V. A., Shubenko, O. L., Andreev, S. Yu., Babak, M. Yu., Senetsky, O. V. (2018) Cogeneration technologies in small power engineering: monograph. *Kharkiv: KhNUMG named after O. M. Beke-tov*, 454.
8. Malyarenko, V. A., Shubenko, A. L., Senetsky, A. V., Temnohud, I. A. (2012) The potential for integrating cogeneration systems into small power engineering in Ukraine. *Quarterly Scientific and Practical Journal*, 4, 11-17.
9. Balasarian, G., Semenii, A., Ostapenko, A. (2024) Research of a hybrid energy supply system with renewable energy sources. *Proceedings of the*

*Odesa National Polytechnic University, 2(70), 31-38.*

10. **Kuznetsov M., Lysenko O., Melnyk O.** (2019) Optimization problems of combined energy systems according to economic criteria. *Renewable Energy, 4, 6-14.*

11. DSTU A.2.2-12:2015. Energy efficiency of buildings. Method for calculating energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water

supply. *National Standard of Ukraine.*

12. **Balasanian, G., Semeni, A.** (2023) Research of the combined heat supply system with alternative energy sources. *Proceedings of the Odesa National Polytechnic University, 2(68), 25-32.*

---

Received 28 May 2025

Approved 23 June 2025

Available in Internet 04 July 2025