

<https://doi.org/10.31891/2307-5740-2026-352-61>

УДК 65.012.8

JEL classification: D81, M21, L21

ДЖЕДЖУЛА В'ячеслав

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-2740-0771>

e-mail: djedjula@vntu.edu.ua

ШЕВЧУК Дмитро

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0009-0001-8893-7679>

e-mail: shevchukdmt@gmail.com

ІННОВАЦІЙНІ НАПРЯМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПІДПРИЄМСТВ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

Стаття присвячена дослідженню інноваційних напрямів енергозбереження у закладах охорони здоров'я. Розглядаються сучасні технологічні рішення, зокрема впровадження LED-освітлення, теплових насосів, систем рекуперації тепла, сонячних фотоелектричних панелей та інтелектуальних систем управління будівлями (BMS). Запропоновано економіко-математичну модель визначення економії від впровадження комплексу заходів енергозбереження, яка дозволяє оцінити чисту приведену вартість (NPV), внутрішню норму дохідності (IRR) та термін окупності інвестицій. На основі моделювання продемонстровано, що комплексне впровадження інноваційних заходів енергозбереження забезпечує зниження енергоспоживання закладу на 28–40% із терміном окупності інвестицій 3,5–5,5 років.

Ключові слова: енергозбереження, заклади охорони здоров'я, інноваційні технології, економіко-математична модель, NPV, теплові насоси, LED-освітлення, BMS.

DZHEDZHULA Viacheslav, SHEVCHUK Dmytro

Vinnitsia National Technical University

INNOVATIVE DIRECTIONS OF ENERGY CONSERVATION IN HEALTHCARE ENTERPRISES

The article is devoted to a comprehensive study of innovative directions of energy conservation in healthcare facilities, which are characterized by high energy intensity and continuous operation. In the context of rising energy costs, environmental challenges, and the need to ensure sustainable development of the healthcare sector, the implementation of advanced energy-efficient technologies becomes critically important. The study examines modern technological solutions, including the introduction of LED lighting systems, heat pumps, heat recovery and ventilation systems, solar photovoltaic panels, and intelligent building management systems (BMS) that enable real-time monitoring and optimization of energy consumption.

Particular attention is paid to the integration of these technologies into a unified energy management system, which allows achieving a synergistic effect and significantly increasing overall efficiency. An economic and mathematical model for determining the effectiveness of implementing a complex of energy conservation measures is proposed. The model is based on the application of investment analysis tools and allows for the calculation of key performance indicators, such as net present value (NPV), internal rate of return (IRR), profitability index, and investment payback period, taking into account discount rates, energy price dynamics, and operational costs.

The results of the modelling demonstrate that the comprehensive implementation of innovative energy conservation measures can ensure a reduction in energy consumption of healthcare facilities by 28–40%, depending on the scale and configuration of the project. At the same time, the estimated investment payback period ranges from 3.5 to 5.5 years, which confirms the economic feasibility and attractiveness of such projects. The findings substantiate the importance of a systematic approach to energy efficiency management in healthcare institutions and can be used as a basis for strategic decision-making and policy development in the field of sustainable energy use.

Keywords: energy conservation, healthcare facilities, innovative technologies, economic-mathematical model, NPV, heat pumps, LED lighting, BMS.

Стаття надійшла до редакції / Received 15.01.2026

Прийнята до друку / Accepted 26.02.2026

Опубліковано / Published 26.03.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Джеджула В'ячеслав, Шевчук Дмитро

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Заклади охорони здоров'я є одними з найбільших споживачів енергоресурсів серед об'єктів соціальної інфраструктури. За даними міжнародних досліджень, лікарні споживають у 2–3 рази більше енергії на квадратний метр, ніж стандартні офісні будівлі. Це зумовлено цілодобовим режимом роботи, специфічними вимогами до мікроклімату, необхідністю безперервної роботи медичного обладнання та системи вентиляції.

В Україні проблема енергоефективності закладів охорони здоров'я набуває критичного значення в умовах зростання тарифів на енергоносії, скорочення бюджетного фінансування та необхідності забезпечення якісного медичного обслуговування. Більшість лікарень та поліклінік розміщені у будівлях, збудованих 30–

50 років тому без належної теплоізоляції, із застарілими інженерними системами. Питоме енергоспоживання таких будівель сягає 250–400 кВт·год/м² на рік, що у 2–4 рази перевищує європейські стандарти.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Серед дослідників, які досліджують питання інноваційних напрямів енергозбереження підприємств, можна виділити наступних: Ялова А. М., Бондар Н. В., Старовойт Р. В., Psillaki M., Apostolopoulos N., Makris I., Liargovas P., Apostolopoulos S., Dimitrakopoulos P., Sklias G., Silva B. V. F., Holm-Nielsen J. B., Sadrizadeh S., Teles M. P. R., Kiani-Moghaddam M., Arabkoohsar A., Michailidis G., Vavalos P., Kantzioura A., Zoras S., Dimoudi A. та інші [1-8].

ВИДІЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ, КОТРИМ ПРИСВЯЧУЄТЬСЯ СТАТТЯ

Незважаючи на значну кількість досліджень з питань, пов'язаних з дослідженням управління енергозбереженням підприємств, потребує подальших досліджень питання, пов'язані із дослідженням інноваційних напрямів енергозбереження у закладах охорони здоров'я.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою даної статті є систематизація інноваційних напрямів енергозбереження для закладів охорони здоров'я та розробка економіко-математичної моделі визначення економії від впровадження комплексу заходів.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для розробки ефективної стратегії енергозбереження необхідно розуміти структуру споживання енергоресурсів. Проведений аналіз типових закладів охорони здоров'я в Україні дозволив визначити основні напрями витрат енергії (рис. 1).

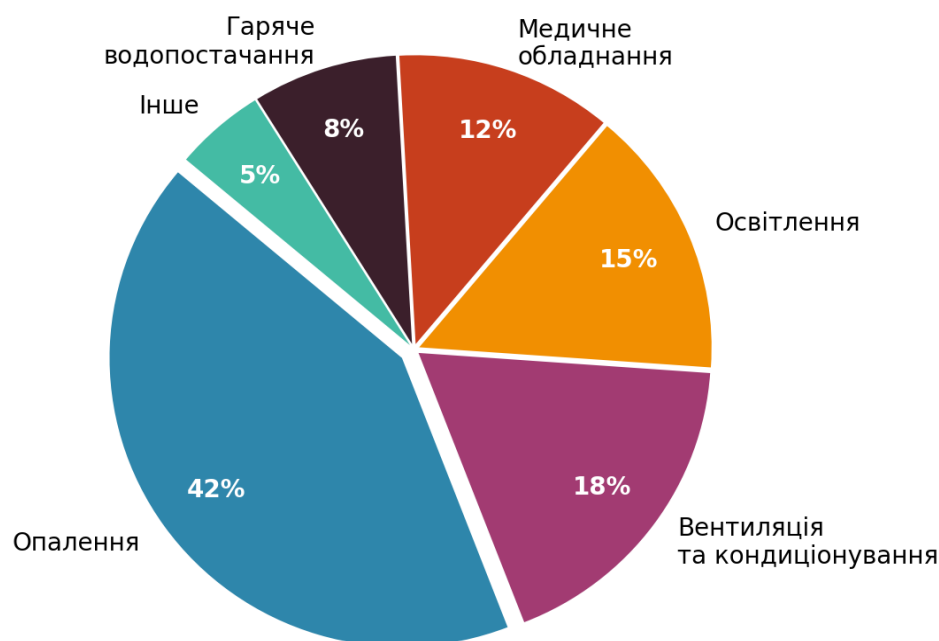


Рис. 1. Структура споживання енергоресурсів закладами охорони здоров'я

Як видно з рис. 1, найбільшу частку (42%) займає опалення, що обумовлено незадовільним станом теплоізоляції більшості будівель. На другому місці — вентиляція та кондиціонування (18%), що пов'язано із суворими санітарними вимогами до повітрообміну у лікувальних приміщеннях. Освітлення складає 15% від загального споживання, медичне обладнання — 12%, гаряче водопостачання — 8%.

До основних інноваційних напрямів енергозбереження можна віднести наступні :

Заміна застарілих люмінесцентних ламп на сучасні LED-світильники у поєднанні з датчиками присутності та системами автоматичного регулювання інтенсивності освітлення дозволяє досягти економії до 60–70% енергії на освітлення. Сучасні LED-рішення для медичних закладів враховують специфіку кольоропередачі (індекс CRI > 90), що критично важливо для діагностичних та операційних приміщень.

Термін служби LED-ламп складає 50 000–80 000 годин, що суттєво знижує витрати на обслуговування.

Теплові насоси типу «повітря-вода» або «грунт-вода» можуть забезпечити до 70% потреб закладу в опаленні та гарячому водопостачанні. Коефіцієнт перетворення (COP) сучасних теплових насосів сягає 4,0–5,5, що означає отримання 4–5,5 кВт теплової енергії на кожен витрачений кВт електроенергії. Системи рекуперації тепла вентиляційного повітря дозволяють повертати до 80% тепла, що виводиться з приміщень, суттєво знижуючи навантаження на систему опалення.

Встановлення сонячних панелей на дахах та фасадах медичних закладів дозволяє генерувати власну електроенергію. За умов інсоляції в Україні (1000–1350 кВт·год/м² на рік) фотоелектрична станція потужністю 100 кВт може генерувати 100–135 МВт·год електроенергії на рік, покриваючи до 15–20% потреб великого медичного закладу. Вартість сонячних панелей за останнє десятиліття знизилась більш ніж утричі, що робить цю технологію все більш привабливою з економічної точки зору.

Building Management System (BMS) — це комплексна автоматизована система, яка інтегрує управління всіма інженерними системами будівлі: опаленням, вентиляцією, кондиціонуванням, освітленням, електропостачанням. BMS дозволяє в режимі реального часу моніторити споживання, оптимізувати графіки роботи обладнання, виявляти аномальне споживання та прогнозувати потреби в енергоресурсах за допомогою алгоритмів машинного навчання. Впровадження BMS забезпечує додаткову економію 15–25% енергоресурсів за рахунок оптимізації режимів роботи.

Економіко-математична модель визначення економії

Для обґрунтування доцільності впровадження інноваційних заходів енергозбереження розроблено економіко-математичну модель, структуру якої представлено на рис. 2.

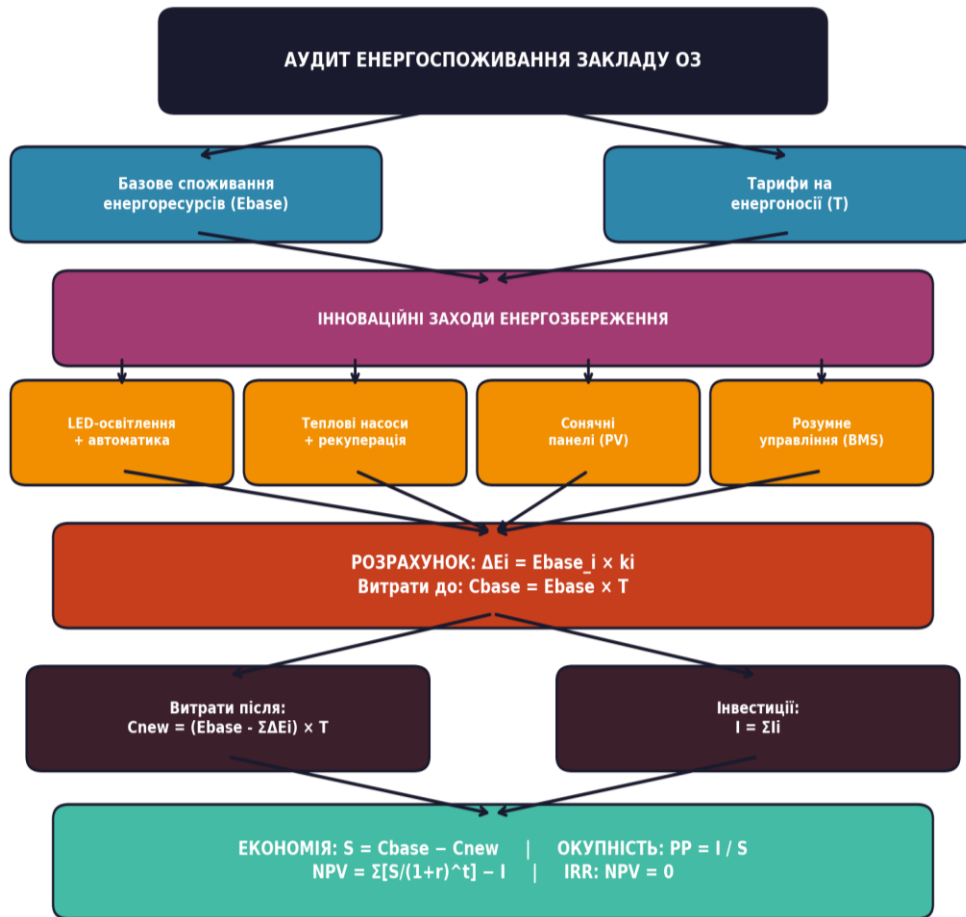


Рис. 2. Структурна схема моделі визначення економії від впровадження заходів енергозбереження

Модель базується на наступних складових:

Етап 1. Визначення базового рівня споживання. На основі енергоаудиту визначається базове споживання енергоресурсів (E_{base}) за кожним напрямом: опалення, освітлення, вентиляція, обладнання. Базові витрати розраховуються за формулою:

$$C_{base} = E_{base} \times T, \quad (1)$$

де T — діючий тариф на енергоносії.

Етап 2. Визначення економії за кожним заходом. Для кожного і-го заходу визначається зниження споживання:

$$\Delta E_i = E_{base_i} \times K_i, \tag{2}$$

де K_i — коефіцієнт економії і-го заходу (визначається на основі технічних характеристик обладнання).

Етап 3. Розрахунок сумарної економії. Витрати після впровадження:

$$C_{new} = (E_{base} - \Sigma \Delta E_i) \times T. \tag{3}$$

Річна економія:

$$S = C_{base} - C_{new}. \tag{4}$$

Етап 4. Оцінка інвестиційної привабливості. Для оцінки ефективності інвестицій $I = \Sigma I_i$ використовуються три показники: Простий термін окупності (PP) $PP = I / S$, де I — загальні інвестиції, S — річна економія, чиста приведена вартість (NPV): $NPV = \Sigma [S / (1+r)^t] - I$, де r — ставка дисконтування, t — рік; внутрішня норма дохідності (IRR) - ставка r , за якої $NPV = 0$. Проект доцільний, якщо $IRR > r$

Результати моделювання

На основі запропонованої моделі проведено розрахунки для типової багатопрофільної лікарні на 400 ліжок (загальна площа 18 000 м², річне споживання електроенергії — 2 400 МВт·год, теплової енергії — 3 600 Гкал). Порівняння заходів за рівнем економії та терміном окупності представлено на рис. 3.

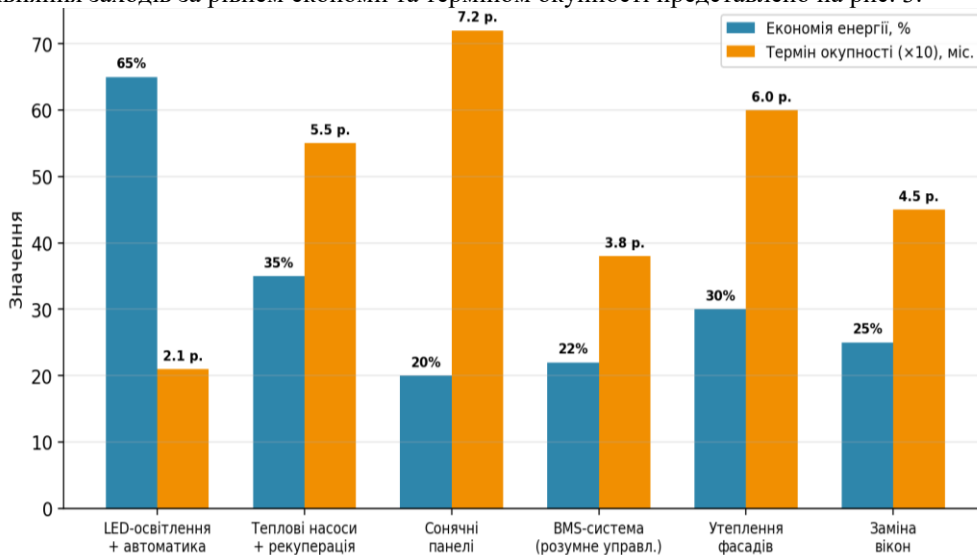


Рис. 3. Порівняння інноваційних заходів за рівнем економії та терміном окупності

Узагальнені параметри моделювання наведено в таблиці 1.

Таблиця 1.

Параметри та результати моделювання комплексу заходів

Захід	Інвестиції, тис. грн	Економія, тис. грн/рік	Окупність, років	Частка економії, %
LED-освітлення + автоматика	680	324	2,1	27%
Теплові насоси + рекуперація	2 150	391	5,5	33%
Сонячні панелі (100 кВт)	1 440	200	7,2	17%
BMS-система	730	192	3,8	16%
Разом (комплекс)	5 000	1 107	4,5	—

Динаміка чистої приведеної вартості проекту за трьома сценаріями (базовий, оптимістичний, песимістичний) представлена на рис. 4.

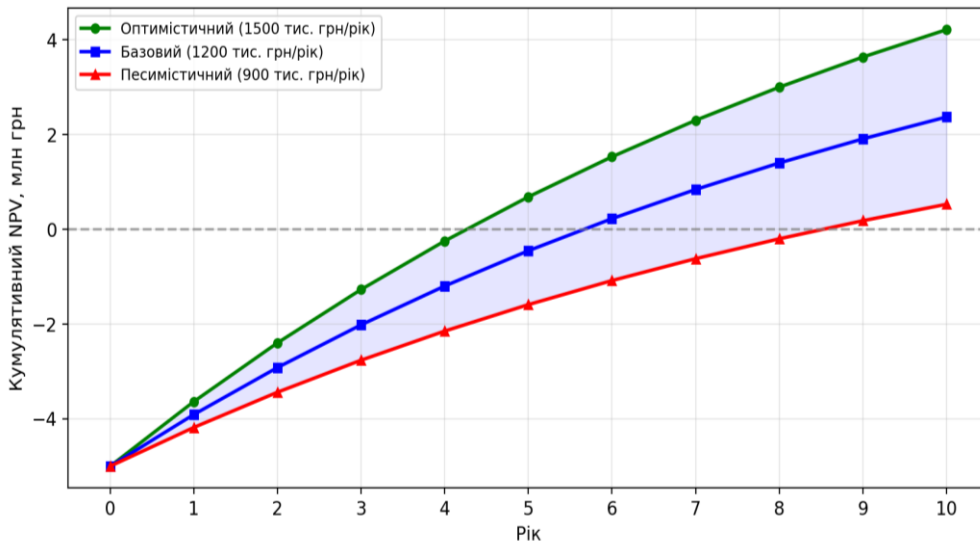


Рис. 4. Динаміка NPV проєкту енергозбереження за трьома сценаріями

Як свідчать результати моделювання (рис. 4), за базовим сценарієм проєкт досягає точки беззбитковості (NPV = 0) приблизно на 5-й рік реалізації. За оптимістичним сценарієм (зростання тарифів на 25%, підвищення коефіцієнту економії) окупність настає на 4-й рік. Навіть за песимістичним сценарієм (зниження тарифів, зменшення коефіцієнтів економії) NPV стає позитивним до 7-го року, що підтверджує інвестиційну привабливість проєкту.

Аналіз чутливості моделі

Для визначення ключових факторів впливу на ефективність проєкту проведено аналіз чутливості NPV до зміни основних параметрів на $\pm 20\%$ від базових значень (рис. 5).

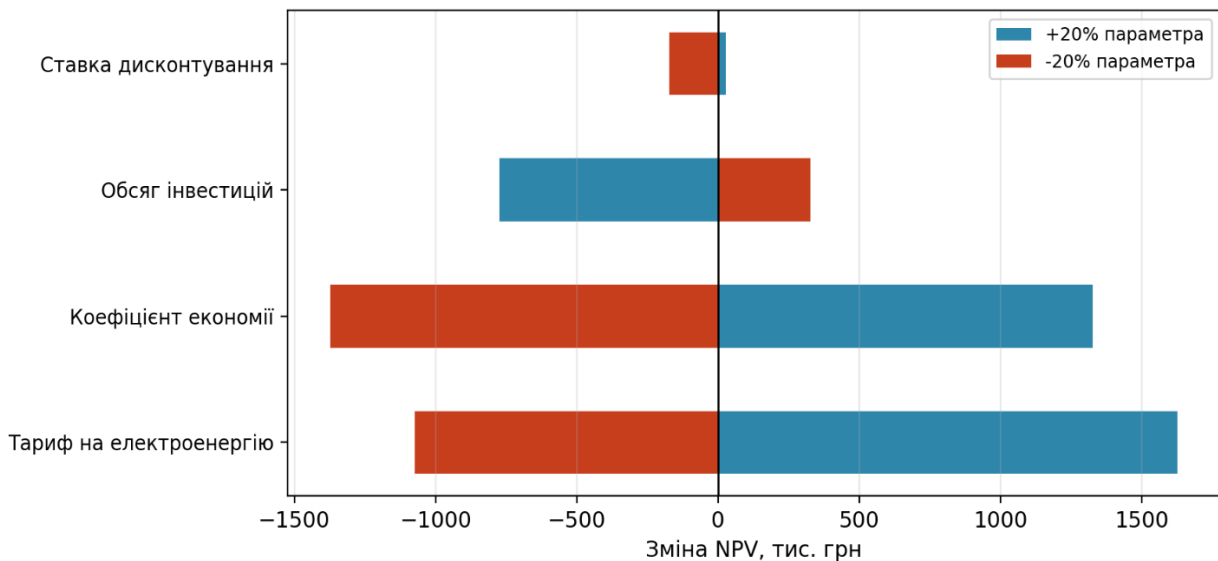


Рис. 5. Аналіз чутливості NPV проєкту (торнадо-діаграма)

Результати аналізу чутливості свідчать, що найбільший вплив на NPV має тариф на електроенергію та коефіцієнт економії. Зростання тарифу на 20% збільшує NPV на 56%, тоді як зниження — зменшує на 37%. Обсяг інвестицій має помірний вплив: його зростання на 20% знижує NPV на 27%. Ставка дисконтування та термін експлуатації обладнання мають найменший вплив на результат. Це означає, що в умовах зростання енерготарифів в Україні ефективність проєктів енергозбереження лише зростатиме.

Порівняння енергоспоживання до та після впровадження

На рис. 6 наведено порівняння помісячного енергоспоживання закладу до та після впровадження комплексу інноваційних заходів енергозбереження.

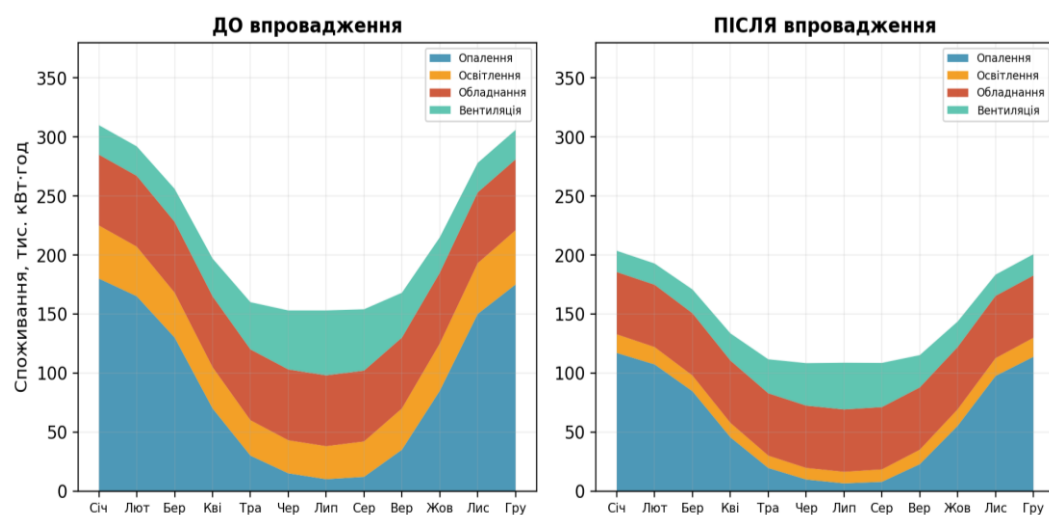


Рис. 6. Порівняння річного енергоспоживання до та після впровадження заходів

Як видно з рис. 6, найбільше зниження споживання досягається у зимові місяці (листопад–березень) завдяки модернізації системи опалення та утепленню. Загальне річне зниження споживання складає 35%, що повністю відповідає прогностичним показникам моделі. Особливо помітне зниження витрат на освітлення (на 65%) та опалення (на 35%), які разом забезпечують основну частину економії.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

У статті систематизовано інноваційні напрями енергозбереження для закладів охорони здоров'я та розроблено економіко-математичну модель визначення економії від впровадження заходів. На основі проведеного дослідження можна сформулювати такі основні висновки:

1. Комплексне впровадження інноваційних заходів (LED-освітлення, теплові насоси, сонячні панелі, BMS) забезпечує зниження загального енергоспоживання на 28–40% для типового закладу охорони здоров'я.
2. Запропонована модель дозволяє кількісно оцінити економію від кожного заходу окремо та комплексу в цілому, враховуючи часову вартість грошей через NPV та IRR.
3. Для модельного закладу (лікарня на 400 ліжок) комплекс заходів з інвестиціями 5,0 млн грн забезпечує річну економію 1,1 млн грн із терміном окупності 4,5 року.
4. Аналіз чутливості підтверджує стійкість проекту: навіть за песимістичним сценарієм NPV залишається позитивним на горизонті 10 років.
5. Найбільший вплив на ефективність мають тарифи на енергоносії та коефіцієнти економії, що в умовах зростання цін на енергоресурси в Україні робить проекти енергозбереження ще більш привабливими.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розширення моделі з урахуванням зміни тарифів у часі, можливостей залучення «зелених» кредитів та грантів, а також інтеграції з системами когенерації та акумулювання енергії.

Література

1. Джеджула В. В., Єпіфанова І. Ю., Шевчук Д. Г. Сутність та складові організаційно-економічного механізму управління енергозбереженням закладів охорони здоров'я. *Innovation and Sustainability*. 2024. Т. 4, № 3. С. 6–11. DOI: <https://doi.org/10.31649/ins.2024.3.6.11>
2. Ялова А. М., Бондар Н. В., Старовойт Р. В. Енергетичне оцінювання застосування теплових насосів для оптимізації використання енергетичних ресурсів на залізничній шахті. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2024. Вип. 6. С. 45–51. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-177-6-45-51>
3. Psillaki M., Apostolopoulos N., Makris I., Liargovas P., Apostolopoulos S., Dimitrakopoulos P., Sklias G. Hospitals' energy efficiency in the perspective of saving resources and providing quality services through technological options: A systematic literature review. *Energies*. 2023. Vol. 16, No. 2. P. 755. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16020755>
4. Silva B. V. F., Holm-Nielsen J. B., Sadrizadeh S., Teles M. P. R., Kiani-Moghaddam M., Arabkoohsar A. Sustainable, green, or smart? Pathways for energy-efficient healthcare buildings. *Sustainable Cities and Society*. 2024. Vol. 100. P. 105013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105013>
5. Yu D. et al. Energy saving and carbon reduction schemes for hospital with photovoltaic power generation and system upgrading technology. *Heliyon*. 2023. Vol. 9, No. 11. P. e21447. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21447>

6. Al-Rawi O. F., Bicer Y., Al-Ghamdi S. G. Sustainable solutions for healthcare facilities: examining the viability of solar energy systems. *Frontiers in Energy Research*. 2023. Vol. 11. P. 1220293. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1220293>
7. Michailidis G., Vavalos P., Kantzioura A., Zoras S., Dimoudi A. Sustainability in the healthcare sector: Nearly zero-energy building strategies for hospitals. *Energies*. 2026. Vol. 19, No. 3. P. 732. DOI: <https://doi.org/10.3390/en19030732>
8. Kolokotsa D., Tsoutsos T., Papantoniou S. Energy conservation techniques for hospital buildings. *Advances in Building Energy Research*. 2012. Vol. 6, No. 1. P. 159–172. DOI: <https://doi.org/10.1080/17512549.2012.672007>

References

1. Dzhedzhula V. V., Yepifanova I. Yu., Shevchuk D. H. Sutnist ta skladovi orhanizatsiino-ekonomichnoho mekhanizmu upravlinnia enerhozberezhenniam zakladiv okhorony zdorovia. *Innovation and Sustainability*. 2024. T. 4, № 3. S. 6–11. DOI: <https://doi.org/10.31649/ins.2024.3.6.11>
2. Yalova A. M., Bondar N. V., Starovoit R. V. Enerhetychne otsiniuvannia zastosuvannia teplovykh nasosiv dlia optymizatsii vykorystannia enerhetychnykh resursiv na zalizorudnii shakhti. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*. 2024. Vyp. 6. S. 45–51. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-177-6-45-51>
3. Dzhedzhula V. V., Yepifanova I. Yu., Shevchuk D. H. Sutnist ta skladovi orhanizatsiino-ekonomichnoho mekhanizmu upravlinnia enerhozberezhenniam zakladiv okhorony zdorovia. *Innovation and Sustainability*. 2024. T. 4, № 3. S. 6–11. DOI: <https://doi.org/10.31649/ins.2024.3.6.11>
4. Psillaki M., Apostolopoulos N., Makris I., Liargovas P., Apostolopoulos S., Dimitrakopoulos P., Sklias G. Hospitals' energy efficiency in the perspective of saving resources and providing quality services through technological options: A systematic literature review. *Energies*. 2023. Vol. 16, No. 2. P. 755. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16020755>
5. Silva B. V. F., Holm-Nielsen J. B., Sadrizadeh S., Teles M. P. R., Kiani-Moghaddam M., Arabkoohsar A. Sustainable, green, or smart? Pathways for energy-efficient healthcare buildings. *Sustainable Cities and Society*. 2024. Vol. 100. P. 105013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105013>
6. Yu D. et al. Energy saving and carbon reduction schemes for hospital with photovoltaic power generation and system upgrading technology. *Heliyon*. 2023. Vol. 9, No. 11. P. e21447. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21447>
7. Al-Rawi O. F., Bicer Y., Al-Ghamdi S. G. Sustainable solutions for healthcare facilities: examining the viability of solar energy systems. *Frontiers in Energy Research*. 2023. Vol. 11. P. 1220293. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1220293>
8. Michailidis G., Vavalos P., Kantzioura A., Zoras S., Dimoudi A. Sustainability in the healthcare sector: Nearly zero-energy building strategies for hospitals. *Energies*. 2026. Vol. 19, No. 3. P. 732. DOI: <https://doi.org/10.3390/en19030732>
- Kolokotsa D., Tsoutsos T., Papantoniou S. Energy conservation techniques for hospital buildings. *Advances in Building Energy Research*. 2012. Vol. 6, No. 1. P. 159–172. DOI: <https://doi.org/10.1080/17512549.2012.672007>