

УДК 504.7:621.311.243(045)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.6-63.33>

ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ПРИ РІЗНИХ ВАРІАНТАХ ВПРОВАДЖЕННЯ СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ У МЕДИЧНОМУ ЗАКЛАДІ

Оліненченко Ю. О.

Державне некомерційне підприємство
«Державний університет «Київський авіаційний інститут»
пр. Любомира Гузара, 1, 03058, м. Київ
7232384@stud.kai.edu.ua

Викиди парникових газів становлять найбільш критичну категорію у контексті міжнародних зобов'язань України щодо скорочення викидів згідно з Паризькою угодою 2015 року. Медичні заклади характеризуються найвищими показниками енергоємності серед будівель громадського призначення. Щоб досягти нульового рівня викидів у споживанні енергії, а також захистити здоров'я населення від місцевого забруднення та глобального впливу клімату, медична галузь має виступати за швидку відмову від викопного палива та перехід до чистої, відновлюваної, насамперед сонячної, енергії. На цьому шляху важливо визначити оптимальні варіанти впровадження сонячних фотоелектричних систем для конкретного медичного закладу з урахуванням особливостей його енергоспоживання. У наших дослідженнях розроблюється комплексна концепція модернізації енергосистеми медичного центру «Інститут планування сім'ї». Вона базується на інтеграції двох взаємодоповнюючих напрямів: впровадження традиційних енергоефективних заходів, а також створення системи енергозабезпечення на основі сонячної енергії. У даній роботі розглянуто варіанти встановлення сонячної фотоелектричної системи для забезпечення енергетичних потреб: гібридної – з додаванням системи накопичення енергії, та без неї. Визначено екологічні та енергетичні переваги розглянутих варіантів. Результати досліджень свідчать, що при мережевому енергозабезпеченні сумарні викиди за 20-річний період експлуатації становлять 738,2 т CO₂-екв, що еквівалентно 36,9 т CO₂-екв на рік. При встановленні сонячної електростанції загальні викиди знижуються до 387,9 т CO₂-екв за 20 років, що становить зменшення на 47,5 % порівняно з базовим варіантом. При інтеграції системи накопичення енергії викиди становлять 399,8 т CO₂-екв, що відповідає зменшенню на 45,8 %. Незначне збільшення викидів в порівнянні із попереднім варіантом пояснюється додатковими викидами, пов'язаними з виробництвом літій-іонних акумуляторів, які частково компенсуються покращеною ефективністю використання генерованої енергії. Це свідчить про високу ефективність використання сонячної генерації у скороченні вуглецевого сліду. *Ключові слова:* парникові гази, зміна клімату, енергоефективність, медичні заклади, відновлювана енергетика, сонячні фотоелектричні станції, системи накопичувачів енергії.

Reduction of greenhouse gas emissions under different options for implementing solar photoelectric systems in a medical institution. Olinechenko Yu.

Greenhouse gas emissions constitute the most critical category in the context of Ukraine's international commitments to reduce emissions under the 2015 Paris Agreement. Medical facilities are characterized by the highest energy intensity among public buildings. To achieve net-zero emissions in energy consumption, as well as to protect public health from local pollution and global climate impacts, the medical industry must advocate for a rapid phasing out of fossil fuels and a transition to clean, renewable, primarily solar, energy. Along this path, it is important to determine the optimal options for implementing solar photovoltaic systems for a specific medical facility, taking into account the specifics of its energy consumption. Our research is developing a comprehensive concept for modernizing the energy system of the Family Planning Institute Medical Center. It is based on the integration of two complementary areas: the implementation of traditional energy-efficient measures, as well as the creation of an energy supply system based on solar energy. This paper considers options for installing a solar photovoltaic system to meet energy needs: hybrid – with the addition of an energy storage system, and without it. The environmental and energy advantages of the considered options are determined. The results of the research show that in the basic option (network power supply) the total emissions over a 20-year period of operation are 738.2 t CO₂-eq, which is equivalent to 36.9 t CO₂-eq per year. When installing a solar power plant, total emissions are reduced to 387.9 t CO₂-eq over 20 years, which is a decrease of 47.5 % compared to the basic option. When integrating an energy storage system, emissions are 399.8 t CO₂-eq, which corresponds to a decrease of 45.8 %. The slight increase in emissions compared to the previous option is explained by additional emissions associated with the production of lithium-ion batteries, which are partially offset by improved efficiency of the generated energy. This indicates a high efficiency of solar generation in reducing the carbon footprint. *Key words:* greenhouse gases, climate change, energy efficiency, healthcare facilities, renewable energy, solar photovoltaic plants, energy storage systems.

Постановка проблеми. Галузь охорони здоров'я, місією якої є захист та зміцнення здоров'я населення, робить значний внесок у кліматичну кризу –

одну з найбільших загроз 21 століття – і тому має здійснювати заходи для її вирішення. За оцінками зарубіжних науковців та ВООЗ, сумарний кліматич-

ний слід закладів охорони здоров'я еквівалентний 4,4 % світових викидів парникових газів (щорічно 2 гігатонни еквіваленту вуглекислого газу) [1–4]. Найбільші джерела викидів у секторі охорони здоров'я створюють Сполучені Штати, Китай та разом країни Європейського Союзу, що становить понад половину загального кліматичного сліду у світі (56 %) [1]. В той же час, саме у цих країнах тепер приділяється велика увага впровадженню енерго-ефективних технологій та відновлюваної енергетики. Викиди парникових газів поділяють на прямі, що виникають безпосередньо в закладах охорони здоров'я (від опалення, генераторів та транспорту), непрямі (від придбаної електроенергії), а також викиди, що походять з ланцюга постачання через виробництво, транспортування та утилізацію товарів і послуг. Однак використання органічного палива є основною причиною викидів парникових газів. Енергетика – насамперед спалювання викопного палива – становить понад половину кліматичного сліду сфери охорони здоров'я, якщо вимірювати його за всіма прямими і непрямими показниками. Щоб досягти нульового рівня викидів у споживанні енергії, а також захистити здоров'я населення від місцевого забруднення та глобальних змін клімату, медична галузь в кожній країні має виступати за швидку відмову від викопного палива та перехід до чистої, відновлюваної, насамперед, сонячної енергії. На цьому шляху важливо визначити оптимальні варіанти впровадження сонячних фотоелектричних систем для конкретного медичного закладу з урахуванням особливостей його енергоспоживання.

Актуальність дослідження. Медичні заклади характеризуються найвищими показниками енергоємності серед будівель громадського призначення. Середнє споживання електроенергії лікарнею в Україні становить від 150 до 250 кВт·год на квадратний метр на рік, що у 2–3 рази перевищує аналогічний показник для офісних будівель [5]. Екологічні наслідки такого високого рівня енергоспоживання є багатоаспектними. Прямим наслідком є викиди парникових газів, обсяг яких для середнього районного медичного закладу може сягати 500–1000 т CO₂-еквіваленту на рік. За умови, що в Україні функціонує понад 1400 лікарень стаціонарного типу (дані на кінець 2022 р.), сукупний внесок галузі у національні викиди є суттєвим [6]. Окрім парникових газів, традиційна енергетика, особливо заснована на спалюванні викопного палива, призводить до емісії забруднювачів атмосферного повітря, включаючи оксиди азоту, діоксид сірки, тверді мікрочастинки, що безпосередньо впливають на здоров'я населення [7]. Необхідно впроваджувати сучасні технології для зменшення викидів. Як зазначив генеральний директор Всесвітньої організації охорони здоров'я Тедрос Гебреесус, «заклади охорони здоров'я у світі викидають CO₂ через використання значних ресурсів та енергоємного обладнання. Це, мабуть, іронічно – як

і медичні працівники, ми зобов'язані, по-перше, не нашкодити. Місця зцілення повинні бути лідерами, а не сприяти посиленню тягаря хвороб» [4].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження проводилося в рамках імплементації Європейського зеленого курсу в Україні, виконувалося в межах науково-дослідної теми кафедри екології Факультету екологічної безпеки, інженерії та технологій Державного некомерційного підприємства «Державний університет «Київський авіаційний інститут» «Розробка та впровадження практик екологічного управління в медичній галузі» (Державний реєстраційний номер 0125U000196, дата реєстрації 10.01.2025). Дане дослідження є фрагментом дисертаційної роботи на здобуття ступеню доктора філософії (PhD) аспіранта кафедри екології Оліненченка Ю. О.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кліматичному сліду сектору охорони здоров'я останнім часом приділяється значна увага науковців [1, 2, 5, 7–14]. Публікуються дані по моніторингу викидів, пошуку енергоефективних рішень, шляхам декарбонізації національних енергетичних систем. Цікавий в цьому плані досвід Національної служби охорони здоров'я Великої Британії, що досягла значних успіхів у скороченні енергоспоживання будівель медичних закладів, використанню відновлюваної енергетики та теплових насосів [2].

Можливості та проблеми при впровадженні використання сонячної енергії в медичних закладах, а також перспективи зменшення викидів, розглядаються у низці наукових праць [1–17], зокрема у наших попередніх публікаціях [18–20]. Дана робота є продовженням досліджень шляхів екологізації медичних закладів на прикладі медичного центру «Інститут планування сім'ї» (надалі – МЦ).

Виділення невирішених раніше частин проблеми, котрим присвячується означена стаття. У наших дослідженнях розроблюється комплексна концепція модернізації енергосистеми та енергоменеджменту медичного центру «Інститут планування сім'ї». Концепція базується на інтеграції двох взаємодоповнюючих напрямів: впровадження традиційних енергоефективних заходів [19], а також створення системи енергозабезпечення на основі відновлюваної енергії [20]. У даній роботі розглянуто варіанти встановлення сонячної фотоелектричної системи (СФС) для забезпечення енергетичних потреб МЦ: гібридної – з додаванням системи накопичення енергії (СНЕ), та без неї. Визначено екологічні та енергетичні переваги розглянутих варіантів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Розглянуті методи досягнення екологічного та економічного ефектів при впровадженні сонячної енергетики дозволять закладам охорони здоров'я робити внесок у зменшення викидів парникових газів та оптимізувати енергоспоживання.

Викладення основного матеріалу. Загальна мета модернізації енергозабезпечення медичного центру – досягнення зменшення споживання електроенергії з централізованої мережі на 75–80 %, скорочення викидів парникових газів на 77–80 %, підвищення енергетичної незалежності закладу та забезпечення стабільності енергопостачання критично важливого медичного обладнання. Основним напрямом концепції модернізації є створення гібридної системи енергозабезпечення, що поєднує сонячну фотоелектричну систему (СФС), систему накопичення енергії (СНЕ) та централізовану електромережу. Ця система забезпечує високий рівень енергетичної незалежності, стабільність електропостачання та суттєве зниження екологічного впливу. Визначення оптимальних параметрів гібридної енергетичної системи для медичного центру базується на комплексному техніко-економічному аналізі різних варіантів потужностей сонячної фотоелектричної системи та ємностей системи накопичення енергії. Оптимізація проводилася за методом багатокритеріальної оцінки з урахуванням технічних, економічних та екологічних показників.

Вихідні умови оптимізації. Річне енергоспоживання МЦ становить 39,9 МВт·год (2024 р.), режим роботи – 08:00–18:00, 313 робочих днів на рік. Тарифна структура 2025 року характеризується значним арбітражним потенціалом: нічний тариф (23:00–07:00) становить 4,25 грн/кВт·год, напівпіковий – 8,50 грн/кВт·год, піковий (08:00–11:00, 20:00–22:00) – 12,75 грн/кВт·год. Різниця між піковим та нічним тарифами (8,50 грн/кВт·год) створює економічну основу для впровадження системи накопичення енергії. Технічні обмеження визначаються доступною площею для розміщення фотоелектричних модулів. Загальна конструктивна площа даху будівлі становить 688 м². З урахуванням технічних надбудов, сходових виходів, необхідних проходів для обслуговування та інших обмежень, реалістична доступна площа для СЕС оцінюється на рівні 310 м² (коефіцієнт використання 45 %).

У попередніх наших дослідженнях методом моделювання були розглянуті різні конфігурації для встановлення дахової сонячної фотоелектричної системи [20]. Конфігурація 51,7 кВт (94 панелі JA Solar JAM72S30-550/MR) визначена як оптимальна на основі наступних критеріїв:

- площа панелей становить 242,8 м², що відповідає доступній площі даху з запасом 66,9 м² (коефіцієнт використання 78,4 %);
- річна генерація 49,1 МВт · год перевищує річне споживання, створюючи можливості для акумуляції надлишків;
- специфічна генерація для Києва становить 950 кВт · год/кВт·рік при південній орієнтації та куті нахилу 30–35°.

Результати вибору ємності системи накопичення енергії показано у таблиці 1. Для фіксованої потужності СЕС 51,7 кВт проведено аналіз п'яти варіантів ємності СНЕ від 20 до 60 кВт · год. Стратегія роботи системи базується на тарифному арбітражі: зарядка батарей вночі за низьким тарифом (4,25 грн/кВт · год) у проміжку 23:00–07:00 та розрядка в пікові години (08:00–11:00, 20:00–22:00) замість споживання за піковим тарифом (12,75 грн/кВт · год), а також акумуляція надлишків сонячної генерації. Результати техніко-економічного аналізу показали, що зі збільшенням ємності батарей рівень самоспоживання сонячної генерації зростає з 51,5 % (20 кВт · год) до 70 % (60 кВт · год), а споживання електроенергії з мережі в пікові години зменшується з 14,6 до 4,1 МВт · год/рік. Однак темпи зростання економічного ефекту уповільнюються: річна економія збільшується з 47,6 тис. грн (20 кВт · год) до 210,9 тис. грн (60 кВт · год), тоді як інвестиції зростають пропорційно – з 2,268 до 2,988 млн. грн. Внаслідок цього термін окупності демонструє U-подібну залежність з мінімумом для середніх значень ємності.

Конфігурація СНЕ з ємністю 40,96 кВт·год визначена як оптимальна за результатами багатокритеріального аналізу (інтегральна оцінка 0,908). Технічне обґрунтування:

- забезпечує рівень самоспоживання СФС 63,5 %, що є оптимальним балансом між прямим використанням (40 %) та акумуляцією (23,5 %);
- скорочує споживання з мережі в пікові години на 54,4 % (з 19,9 до 9,1 МВт·год/рік), максимізуючи економічний ефект тарифного арбітражу;
- забезпечує ресурс батарей 10 років при 599 циклах заряд-розряд на рік, що оптимально для медичного закладу.

Таким чином, розроблено гібридну енергетичну систему, що поєднує сонячну фотоелектричну стан-

Таблиця 1

Порівняльний аналіз варіантів ємності СНЕ (при СФС = 51,7 кВт)

Ємність, кВт · год	Самосп., %	Економія, тис. грн	Окупність, років	CO ₂ , т/рік
20	51,5	47,6	16,3	4,53
30	57,2	115,1	7,4	6,86
40,96	63,5	170,9	6,2	8,44
50	68,7	189,9	6,5	8,30
60	70,0	210,9	6,9	8,14

цію (СФС) та систему накопичення енергії (СНЕ). Конфігурація комплексу включає фотоелектричну станцію встановленою потужністю 51,7 кВт та акумуляторний модуль на базі літій-залізо-фосфатних батарей (LiFePO_4) сумарною ємністю 40,96 кВт·год. Технічні параметри системи наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Технічні характеристики гібридної системи енергозабезпечення

Параметр	Значення	Одиниці
Потужність СФС	51,7	кВт
Кількість панелей	94	шт
Потужність панелі	0,55	кВт
ККД системи	0,85	—
Річна генерація СФС	49286	кВт · год
Коефіцієнт самоспоживання	0,55	—
Ємність батарей (загальна)	40,96	кВт · год
Ємність батарей (корисна, 90 % DOD)	36,86	кВт · год
Кількість батарей	8	шт
Тип батарей	Li-ion LiFePO_4	—
Термін служби СФС/СНЕ	20 / 10	років

Динаміка виробництва електроенергії СФС протягом року узгоджується з рівнем інсоляції. Максимальні обсяги фіксуються у літні місяці (червень–липень), коли генерація перевищує 6,9–7,1 МВт · год на місяць. Мінімальні значення припадають на зимовий період (грудень–лютий), де середньомісячне виробництво становить 1,0–1,9 МВт · год.

Структура сезонних коливань демонструє типову для України однорічну циклічність: на місяці з високою інсоляцією (квітень–серпень) припадає понад 66 % річного виробітку. Таким чином, піковий надлишок генерації влітку створює сприятливі умови для заряджання СНЕ та скорочення споживання електроенергії з мережі в години максимального тарифу. У нічний тарифний період (00:00–06:00, 23:00) здійснюється заряд акумуляторів за найнижчою вартістю електроенергії. Після 08:00 відбувається активний розряд СНЕ з метою мінімізації витрат у піковий тариф. Максимальний економічний ефект фіксується між 08:00 та 16:00 у літній період, коли сумарна генерація СФС перевищує навантаження на 12–28 кВт, що дозволяє економити до 200–240 грн за годину. У вечірні години (19:00–22:00) надлишкової генерації немає, а СНЕ частково компенсує дефіцит у піковий та напівпіковий інтервал. Така стратегія забезпечує зниження використання мережевої електроенергії за найвищими тарифами та формує річний економічний ефект від тарифного арбітражу.

Викиди парникових газів становлять найбільш критичну категорію у контексті міжнародних зобов'язань України щодо скорочення викидів згідно з Паризькою угодою 2015 року. Методологія обліку викидів парникових газів для медичних закладів базується на міжнародних стандартах ISO 14064-1:2018 та GHG Protocol. Електроенергія є найбільшим джерелом непрямих викидів для медзакладів, особливо для установ без власних котелень. За даними НЕК «Укренерго» та Державного агентства з енергоефективності [21], усереднений коефіцієнт емісії для об'єднаної енергосистеми України станом на 2024–2025 рр. становить 0,456 кг CO_2 /кВт. Для МЦ «Інститут планування сім'ї» домінують непрямі викиди. Було проведено детальну оцінку поточного екологічного впливу медичного центру відповідно до міжнародних стандартів GHG Protocol та ISO 14064-1:2018. Метою цього аналізу було визначення базового рівня екологічного навантаження закладу для подальшого обґрунтування заходів зі зниження викидів і підвищення енергоефективності.

Результати розрахунків свідчать, що загальний обсяг викидів парникових газів становить 34,18 т CO_2 -екв/рік. Найбільшу частку становлять непрямі енергетичні викиди – 93,77 % від загального обсягу, або 32,05 т CO_2 -екв/рік. Це вказує на критичну залежність екологічного впливу медичного центру від споживання електричної та теплової енергії. Прямі викиди формують лише близько 3,68 %, з яких переважна частина припадає на витрати холодоагентів R410A, що є високопотужним парниковим газом з потенціалом глобального потепління у 2088 разів вищим за CO_2 . Інші непрямі викиди становлять близько 2,55 %, і пов'язані переважно з утилізацією медичних відходів, водопостачанням та використанням реагентів у лабораторних процесах. Були проведені також розрахунки питомих показників.

Питомі показники екологічного впливу:

- на 1 м² площі будівлі: 33,2 кг CO_2 /м² · рік;
- на 1 пацієнта: 10,74 кг CO_2 /пацієнт·рік;
- на 1 ліжко-день: 16,09 кг CO_2 /ліжко-день.

Ці значення відповідають середньому рівню для медичних закладів аналогічного профілю в Україні, проте вказують на наявність потенціалу для зниження викидів шляхом підвищення енергоефективності будівлі, переходу на відновлювані джерела енергії та оптимізації споживання тепла і холоду. Слід зазначити, що найбільший екологічний вплив спричиняють саме централізовані джерела енергії (електроенергія та тепла енергія), тоді як роль дизель-генератора (що використовується періодично) залишається незначною, але важливою у контексті локального забруднення під час аварійних режимів. Це підкреслює актуальність переходу на відновлювані джерела енергії, а саме сонячну фотоелектричну станцію, та впровадження систем накопичення, що дозволить не лише скоротити викиди

CO₂, але й зменшити загальне антропогенне навантаження на атмосферу.

Для порівняння були розглянуті наступні варіанти енергозабезпечення медичного центру.

1. Базовий варіант – повна залежність від централізованих мереж електро- та теплопостачання.

2. Варіант із СФС – встановлення сонячної електростанції потужністю 51,7 кВт з орієнтовною річною генерацією 54,3 МВт·год.

3. Варіант із СФС + СНЕ – СФС 51,7 кВт у поєднанні з системою накопичення енергії (літій-іонні батареї) ємністю 40,96 кВт·год.

Результати аналізу свідчать, що у базовому варіанті сумарні викиди за 20-річний період експлуатації становлять 738,2 т CO₂-екв, що еквівалентно 36,9 т CO₂-екв на рік. При встановленні сонячної фотоелектричної станції загальні викиди знижуються до 387,9 т CO₂-екв за 20 років, що становить зменшення на 47,5 % порівняно з базовим варіантом. При інтеграції системи накопичення енергії (варіант СФС + СНЕ) викиди становлять 399,8 т CO₂-екв, що відповідає зменшенню на 45,8 %. Незначне збільшення викидів у даному варіанті порівняно із варіантом СФС (на 11,9 т CO₂-екв) пояснюється додатковими викидами, пов'язаними з виробництвом літій-іонних акумуляторів, які частково компенсуються покращеною ефективністю використання генерованої енергії.

Детальний розподіл викидів CO₂ за джерелами у базовому варіанті показує, що експлуатація електромережі становить 49,3 % (363,8 т CO₂-екв), централізоване теплопостачання – 43,3 % (319,8 т CO₂ екв), інфраструктурні втрати та обслуговування мереж – 7,4 % (54,7 т CO₂-екв). У варіанті СФС + СНЕ

структура викидів змінюється наступним чином: виробництво та утилізація сонячних панелей – 13,0 % (52,1 т CO₂-екв), виробництво та експлуатація акумуляторів – 3,0 % (12,0 т CO₂-екв), централізоване теплопостачання – 80,0 % (319,8 т CO₂-екв, без змін), інфраструктура – 4,0 % (16,0 т CO₂-екв). Важливо підкреслити, що зменшення викидів, пов'язаних безпосередньо з електропостачанням, є значно більшим і становить 82,9 %. Це свідчить про високу ефективність сонячної генерації у скороченні вуглецевого сліду. Залишкові викиди у варіантах СФС та СФС + СНЕ пов'язані переважно з централізованим теплопостачанням, яке в даному дослідженні не модернізується.

Головні висновки. Впровадження сонячної фотоелектричної станції дозволяє медичному центру щорічно запобігати викидам 16,9 т CO₂-екв, що еквівалентно щорічно посадці та вирощуванню приблизно 770 дерев протягом 10 років. Загальний аналіз показує, що найбільший екологічний ефект досягається саме у варіанті з комбінованою системою СФС + СНЕ, яка не лише мінімізує викиди CO₂, а й підвищує стійкість енергопостачання, забезпечує автономність у періоди пікових навантажень і сприяє реалізації принципів сталого розвитку. Порівняння варіантів підтвердило доцільність переходу МЦ «Інститут планування сім'ї» на гібридну систему енергозабезпечення, яка поєднує економічну ефективність і екологічну безпечність протягом усього життєвого циклу.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати можуть бути використані для подібних медичних закладів при впровадженні сонячних фотоелектричних систем.

Література

1. Karliner J., Slotterback S., Boyd R. et al. Health care's climate footprint: How the health sector contributes to the global climate crisis and opportunities for action. *Health Care Without Harm and ARUP*. 2019. 48 p. URL: https://global.noharm.org/sites/default/files/documents-files/5961/HealthCaresClimateFootprint_092319.pdf
2. Tennison I., Roschnik S., Ashby B. et al. Health care's response to climate change: a carbon footprint assessment of the NHS in England. *The Lancet Planetary Health*. 2021. Vol. 5(2). P. 84–92. DOI: 10.1016/S2542-5196(20)30271-0
3. World Health Organization. COP26 Special Report on Climate Change and Health: The Health Argument for Climate Action. Geneva, 2021. 82 p. URL: <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/ec426159-c2b9-436f-95bf-505918522e0d/content>
4. WHO Regional Office for Europe. Green and Healthy Hospitals Initiative. URL: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/Climate-change/green-and-healthy-hospitals>
5. Березюк О. В., Дорогунцов С. І. Енергоефективність у секторі охорони здоров'я України: стан та перспективи. *Економіка природокористування і охорони довкілля*. 2020. № 2(78). С. 45–53. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1803-2021-%D1%80>
6. Статистичний щорічник України за 2022 рік. Державна служба статистики України. Київ, 2023. 387 с.
7. Lelieveld J., Klingmüller K., Pozzer A. et al. Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions. *European Heart Journal*. 2019. Vol. 40(20). P. 1590–1596. DOI: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz135>
8. Hough E., Cohen Tanugi-Carresse A. Supporting Decarbonization of Health Systems – A Review of International Policy and Practice on Health Care and Climate Change. *Curr Environ Health Rep*. 2024. Vol. 15;11(2) P. 266–278. doi: 10.1007/s40572-024-00434-x
9. Dion H., Evans M., Farrell, P. Hospitals management transformative initiatives; towards energy efficiency and environmental sustainability in healthcare facilities. *Journal of Engineering, Design and Technology*. 2023. Vol. 21. No. 2. P. 552–584. <https://doi.org/10.1108/JEDT-04-2022-0200>
10. Jie Dong, Amr Hamada, Meysam Akbari Paydar et al. Identifying decarbonization pathways for primary healthcare buildings using energy certificate models in England and Wales. *Building and Environment*. 2025. Vol. 274. P. 112–128.
11. Denysenko P., Kostichko S. Implementation of energy management systems in Ukrainian healthcare facilities. *Energy Policy*. 2023. Vol. 179. P.113–126. DOI: 10.1016/j.enpol.2023.113642
12. Alotaiby R., Krenyacz E. Energy efficiency in healthcare institutions. *Society and Economy*. 2023. Vol. 45. Iss. 4. P. 495–511.

13. Borges de Oliveira K., Ferro dos Santos E., Faria Neto A. et al. Guidelines for efficient and sustainable energy management in hospital buildings. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 329. P. 145–157.
14. Soto E. A., Hernandez-Guzman A., Vizcarrondo-Ortega A. et al. Solar Energy Implementation for Health-Care Facilities in Developing and Underdeveloped Countries: Overview, Opportunities, and Challenges. *Energies*. 2022. Vol. 15(22). P. 186–191. <https://doi.org/10.3390/en15228602>
15. Sevda Kuşkaya, Faik Bilgili, Erhan Muğaloğlu et al. The role of solar energy usage in environmental sustainability: Fresh evidence through time-frequency. *Renewable Energy*. 2023. Vol. 206. P. 858–871.
16. Shafqat Mughal, Yog Raj Sood, R. K Jarial. A Review on Solar Photovoltaic Technology and Future Trends. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*. 2018. Vol. 4. Iss. 1. P. 245–330.
17. Kazem H. A., Chaichan M. T., Al-Waeli A. H. A. et al. A systematic review of solar photovoltaic energy systems design modelling, algorithms, and software. *Energy Sources. Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. 2022. Vol. 44. Iss. 3. P. 6709–6736.
18. Оліненченко Ю. О. Можливості та проблеми при впровадженні використання сонячної енергії в медичних закладах. *Екологічна безпека держави: тези доповідей XIX Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів* (м. Київ, 18 квітня 2024 р.), Київський авіаційний інститут. –К. : KAI, 2025. С. 79 -81. <https://doi.org/10.18372/2786-8168.19.19980>
19. Оліненченко Ю. О. Енергоефективність закладів охорони здоров'я як чинник зменшення вуглецевого сліду. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2025. № 60. С. 88-92. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.3-60.16>
20. Оліненченко Ю. О., Білик Т. І., Дудар Т. В. Зменшення впливу на довкілля та енергонезалежність медичного закладу при впровадженні сонячних фотоелектричних панелей. *Відновлювана енергетика*. 2025. № 2(81). С.
21. *Державне агентство з енергоефективності* : веб-сайт. h URL: <https://saee.gov.ua/diialnist/enerhoefektyvnist/enerhoefektyvnist>

Дата першого надходження рукопису до видання: 27.11.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 15.12.2025

Дата публікації: 31.12.2025