

4. Lely North America. Lely Discovery Collector — Barn cleaner for solid floors. — URL: <https://www.lelyna.com/us/solutions/manure/discovery-collector/> [Accessed: 08.04.2026]
5. Lely North America. Lely Discovery Scraper — Barn cleaner for slatted floors. — URL: <https://www.lelyna.com/us/solutions/manure/discovery-scraper/> [Accessed: 08.04.2026]
6. GEA Group AG. GEA ProManure — Intelligent manure technology. — URL: <https://www.gea.com/en/products/milking-farming-barn/promanure-manure-handling/> [Accessed: 08.04.2026]
7. IEEE Spectrum. Revolutionizing Dairy Farming: How Robots Benefit Cows & Farmers. — 2025. — URL: <https://spectrum.ieee.org/lely-dairy-robots>
8. Farmers Weekly. How robotic scraper is helping reduce disease on dairy farm. — 2019. — URL: <https://www.fwi.co.uk/livestock/slurry-and-manure-management>
9. Straits Research. Manure Removal Robot Market Size, Share and Forecast to 2032. — URL: <https://straitsresearch.com/report/manure-removal-robot-market>
10. Sun C., van der Tol R., Melenhorst R., Ponce Pacheco L.A., Groot Koerkamp P. Path planning of manure-robot cleaners using grid-based reinforcement learning. Computers and Electronics in Agriculture. — 2024. — DOI: 10.1016/j.compag.2024.109456. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169924008470>
11. Global Market Insights. Manure Handling Equipment Market Size, Share & Analysis. — 2024. — URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/manure-handling-equipment-market>
12. Research and Markets / Globe Newswire. Robotic Livestock Manure Scraper Market Report 2025. — 2025. — URL: <https://www.globenewswire.com>

УДК 620.91:69

ВПРОВАДЖЕННЯ СОНЯЧНИХ КОНЦЕНТРАТОРІВ У ТЕХНІЧНІ СПОРУДИ

О.Г. Лисенко¹, М.Д. Драган²

¹к.т.н., доцент кафедри електропривода, e-mail: lysenko.o.g@nmu.one

²студент групи 141-23-1 кафедри електроенергетики, e-mail: Drahan.M.D@nmu.one

^{1,2}Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. У роботі розглядаються можливості впровадження люмінесцентних сонячних концентраторів для децентралізованого електропостачання технічних споруд. Дані рішення є перспективними та забезпечують енергетичну незалежність промислових та громадських об'єктів. Джерела розподіленої генерації з використанням сонячної енергії та систем зберігання енергії дозволяють створити раціональні структури електрогенеруючих комплексів та забезпечити автономне електропостачання об'єктів критичної інфраструктури та житлового фонду.

Ключові слова: Концентратори, ЛСК, ФСК, ВДЕ, сонце, вікна.

INTRODUCTION OF SOLAR CONCENTRATORS IN TECHNICAL STRUCTURES

Olexandra Lysenko¹, Maksym Drahan²

¹PhD, Associate Professor of the Department of Electric Drive, e-mail: lysenko.o.g@nmu.one

²Student of group 141-23-1, e-mail: Drahan.M.D@nmu.one

^{1,2}Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. The paper examines the possibilities of implementing luminescent solar concentrators for the decentralized power supply of technical structures. These solutions are promising and ensure the energy independence of industrial and public facilities. Distributed generation sources using solar energy and energy storage systems allow for the creation of rational structures for power-generating complexes and ensure autonomous power supply for critical infrastructure facilities and the housing stock.

Keywords: Concentrators, LSC, RES, FSC, sun, window.

Вступ. Урбанізаційний процес постійно еволюціонує, що супроводжується активним розвитком технологій енергозабезпечення будівель. Особливої актуальності набувають рішення, спрямовані на використання альтернативних джерел енергії в елементах забудови. Одним із перспективних напрямків є інтеграція електрогенеруючих технологій у віконні конструкції. Використання фактично непридатних для цього раніше місць відкриває нові можливості підвищення енергоефективності будівель.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні техніко-економічної ефективності впровадження люмінесцентних сонячних концентраторів у конструкції технічних споруд для забезпечення їх автономного енергопостачання та захисту від надмірної інсоляції.

Матеріал і результат досліджень. Ще у 2021 році український сектор відновлюваної енергетики перебував на етапі становлення, тоді як починаючи з 2022 року і дотепер він трансформувався в один з ключових напрямів розвитку енергетичної галузі. Серед відновлюваних джерел енергії особливе місце займає сонячна енергетика. Одним із її цікавих напрямків є люмінесцентні сонячні концентратори (LSC). У процесі вдосконалення концепції інтеграції концентраторів підвищується рівень автономності будівель, при цьому вони не замінюють основні джерела енергопостачання, а можуть виконувати функцію додаткового або резервного живлення, зокрема для аварійних систем будівель чи технічних споруд.

Найбільш доцільним є застосування таких рішень для технічних споруд. Зокрема, складські приміщення часто потребують інтенсивного затінення віконних прорізів через негативний вплив прямого сонячного випроміню-

вання на продукцію. Показовим прикладом є склади лакофарбових матеріалів (ЛФМ), де сонячне випромінювання не лише погіршує хімічні властивості продукції та призводить до швидкої деградації матеріалів, але й може спричиняти пожежонебезпечні ситуації внаслідок перегріву ємностей. Водночас відмова від вікон є недоцільною і небезпечною, оскільки відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» [1], віконні прорізи у приміщеннях з горючими речовинами мають виконувати функцію площі скидання тиску або видалення диму у разі надзвичайної ситуації. Часто для таких об'єктів вимагається, щоб площа прорізів становила не менше 0,2% від площі приміщення. Крім безпеки, вікно має забезпечувати мінімально необхідний коефіцієнт природного освітлення (КПО). Згідно з ДБН В.2.5-28:2006 «Природне і штучне освітлення» [2], складські приміщення зазвичай відносяться до розрядів споруд, що вимагають нормованого КПО у діапазоні 0,2–0,4%.

Відтак, багато підприємств потерпають від суперечності: необхідність віконних прорізів та їх негативний вплив на продукцію через сонячне випромінювання. Проте існує ефективний шлях її вирішення— застосування сонячних люмінесцентних концентраторів.

Люмінесцентний сонячний концентратор - це пристрій, призначений для концентрації випромінювання, зокрема сонячного, з подальшим перетворенням його в електроенергію. Люмінесцентні сонячні концентратори працюють за принципом збору випромінювання на великій площі, перетворення його за допомогою люмінесценції (зокрема, флуоресценції) і спрямування згенерованого випромінювання у відносно невеликі фотоелектричні сонячні елементи на краях [3].

Такі панелі є суттєвим прогресом порівняно з традиційними сонячними елементами, адже вони здатні поглинати ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання, невидиме для людського ока, водночас пропускаючи видиме світло. Це дає змогу ефективно акумулювати енергію, зберігаючи прозорість конструкції.

У деяких сучасних конструкціях можна навіть знайти комбінацію люмінофорів та хромофорів. Таким чином, у деяких системах сонячних концентраторів можна використовувати як люмінофори для перетворення світла в інший спектр, так і хромофори для передачі його енергії в більш придатну для генерації форму. Це можна пояснити тим, що люмінофори використовуються для покращення спектральної характеристики світла, підвищуючи ефективність концентратора та розширюючи можливості його використання з фотоелектричними елементами, а хромофори використовуються для поглинання світла та передачі енергії до фотоелектричних елементів для вироблення енергії.

Такі концентратори вже активно розвиваються і у промислових масштабах. Наприклад італійський стартап Glass to Power розробив концентратори, які досягають 80% прозорості. Компанія стверджує, що здобула ефективності перетворення 3,2% за ступенем прозорості видимого спектру близько 80%. Відповідно до цього, менш прозорі зразки мають більшу ефективність перетворення.

«Фотоелектричні модулі «скло-скло» Glass to Power виготовляються за індивідуальним замовленням і повністю налаштовуються за розміром, формою, прозорістю, потужністю, товщиною, типом і кольором комірки. Фотогальванічний модуль може бути з'єднаний подвійним склінням для покращення теплових та акустичних характеристик будівлі. Конструкція передбачає варіативне розміщення фотоелектричних комірок — базових елементів генерації струму, — завдяки чому можна змінювати відстань між ними для контролю рівня природної інсоляції приміщення.» - зазначено виробником [4].

У таблиці 1 наведені типові варіації таких концентраторів згідно з каталогом виробника Glass to Power.

Таблиця 1. - Індивідуальний дизайн скла для екологічної архітектури [4]

Кількість елементів на кв.м ¹	Потужність на кв.м ²	Прозорість ³
12	65 Вт	70%
18	100 Вт	55%
24	130 Вт	40%
30	165 Вт	24%
36	200 Вт	9%

¹Кількість сонячних елементів (комірок) на один квадратний метр площі склопакета.

²Розрахунки відповідають використанню фотогальванічних елементів із переднім склом діаметром 4 мм. Використання різних склянок призводить до зміни вартості виробництва [4].

³100% прозорість означає повну прозорість (еквівалент безклітинного скла). Прозорість 0% означає повну непрозорість (еквівалент традиційної PV панелі) [4].

Тож такі модулі вже повноцінно можна інтегрувати у віконні прорізи. Оскільки площа типового віконного блоку складу $S = 2,0 \text{ м}^2$, що відповідає типовим модульним розмірам віконних блоків прикладу 1000 мм × 2000 мм. Можна припустити кількість енергії, отриманої таким шляхом:

$$E = S \cdot G \cdot \eta_{LSC} \cdot \eta_{PV} = 2 \cdot 4000 \cdot 0,15 \cdot 0,25 = 300 \frac{\text{Вт} \cdot \text{год}}{\text{день}},$$

де:

E - добовий приріст енергії (Вт·год);

S - площа скла з LSC (м^2) (для прикладу беремо значення 2 м^2);

G - середня добова інсоляція (сонячна енергія на 1 м^2 , $\frac{\text{Вт}\cdot\text{год}}{\text{м}^2}$) (середня інсоляція в Україні: $G = 4000 \frac{\text{Вт}\cdot\text{год}}{\text{м}^2}$ на день (для прикладу літній сезон)) [5];

$\eta_{\text{ЛСК}}$ - ефективність люмінесцентного концентратора (зазвичай 8–15 %);

η_{PV} - ефективність фотоелементів на краях (зазвичай 15–25%).

Ця формула - спрощена теоретична оцінка добового приросту енергії. Вона відображає базову ідею: доступна енергія пропорційна площі, інсоляції і послідовним ККД двох стадій (оптична складова та фотоелектричне перетворення). Наведені значення ефективності не є стаціонарними і можуть варіюватися в залежності від архітектурної конфігурації модуля та вимог до його прозорості. Для проведення оціночного розрахунку було використано референтні показники, що ґрунтуються на типових фізико-технічних характеристиках сучасних люмінесцентних сонячних концентраторів: Коефіцієнт η_{LSC} враховує середню оптичну ефективність поглинання та перевипромінювання активного шару концентратора; коефіцієнт η_{PV} відповідає стандартним показникам конверсії кремнієвих фотоелектричних перетворювачів у робочому діапазоні випромінювання. Зазначені значення є базовими розрахунковими параметрами, що залишають значний потенціал для зростання енергоефективності при подальшій оптимізації системи.

Незважаючи на незначну з точки зору споживання будівлі генерацію, цієї потужності може вистачити для забезпечення критичних потреб в електропостачанні: безперебійного живлення ключових систем безпеки та аварійних компонентів (наприклад, датчиків IoT), освітлення (наприклад, для аварійного освітлення або підсвічування окремих зон), або для безперервного кондиціонування повітря.

Також варто зазначити, що у LSC ключову роль відіграє довжина хвилі люмінесцентного барвника. Саме колір визначає, на яких довжинах світлових хвиль буде працювати концентратор. В деяких випадках це ще й сприяє кращому фотосинтезу, що корисно в біоархітектурі, а для складських будівель забезпечує достатнє затемнення. Найефективнішими LSC є ті, що випромінюють світло в червоній або помаранчевій частині спектру. Тож при установці кольорових пакетів потужність генерації ще більше зросте. Колір LSC безпосередньо впливає на зоровий комфорт. Надмірне синє світло може викликати втоми очей, головний біль. Червоні та помаранчеві відтінки, навпаки, сприймаються м'яко, не викликають зорового перевантаження та добре вписуються в навколишнє середовище. Разом з тим прозорі або жовті кольори – найкращий варіант, якщо важливо зберегти природне денне світло для рослин або людей.

Щодо вартості: У LSC немає дорогоцінних металів чи рідкоземельних елементів у значних кількостях. Наприклад, флуоресцентний концентратор (аналог люмінесцентного) (FSC) може генерувати енергію за собівартістю в €/Вт, що відповідає 35% собівартості звичайного фотоелектричного модуля (PV). У цьому випадку потужність FSC становить 21% порівняно з традиційним PV того ж розміру [6]. Основна собівартість 1 м² лабораторного зразка (станом на 2025–2026 рр.) розподіляється так:

- *Основа* (Матриця): Зазвичай оптичний акрил (PMMA) або полікарбонат. Ціна варіюється від 10 – 20 доларів за м². Технічно - це звичайний пластик, як у рекламних лайтбоксах [7], [8].

- *Люмінофори* (Активна речовина): Застосовуються або органічні барвники (дешеві, додають лише 0,1–0,5 долара до вартості метра і потрібні міліграми на панель (масова частка барвника = 0,1%) [9, 10], або квантові точки (QD) (значно дорожче, близько 30 – 60 доларів за метр; чисті лабораторні екземпляри можуть досягати 500 – 1000 доларів і більше), вони довговічніші та ефективніші, і попри високі ціни потребуються у малих дозуваннях, приблизно 1 – 3 мг/м² [9, 11]

- *Фотоелементи* (Solar Cells): Вузькі смужки кремнію на торцях. Оскільки їх площа в 10 – 20 разів менша за площу панелі, їх вартість складає приблизно 2 – 15 доларів [12].

Оцінка собівартості концентратора-вікна прикладного модульного розміру 2 м² свідчить про те, що основну частку матеріальних витрат становить саме матриця з PMMA, тоді як фотоелектричні смужки на краях додають від 1,6 до 12 доларів. Витрати на люмінофори (органічні барвники) при типовій низькій концентрації становлять лише 0,04–0,30 долара на вікно. Отже, собівартість матеріалів для одного LSC-вікна 2 м² знаходиться в межах від 15–40 доларів, що підтверджує економічну ефективність LSC та пояснює, чому технологія може бути альтернативою традиційним сонячним панелям.

Термін служби такого концентратора майже нічим не відрізняється від звичайних склопакетів. Незважаючи на те, що довговічність LSC сильно залежить від типу люмінофора (барвники чи квантові точки), квантові точки поки значно стабільніші за барвники. InP/ZnSe/ZnS та CuInS₂/ZnS зберігають або навіть трохи підвищують ефективність протягом року зовнішнього тестування. Основний фактор — фотостабільність люмінесцентного матеріалу [13].

Висновки. Люмінесцентні сонячні концентратори здатні збільшувати енергонезалежність будівель як житлового, так і складського характеру. Їх інтеграція в існуючі енергосистеми не потребує відмови від традиційних джерел живлення, що визначає доцільність подальших досліджень у цьому напрямі. Сучасний рівень розвитку технології дозволяє розглядати їх як

практичне інженерне рішення. Подальше вдосконалення забезпечить конкурентоспроможність порівняно із кремнієвими фотоелектричними системами.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3080743763845318619?doc_type=2 — Назва з екрана. — Дата доступу: 01.03.2026.
2. ДБН В.2.5-28:2006. Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://svitlo.kyivcity.gov.ua/wp-content/uploads/2016/08/%D0%94%D0%91%D0%9D-%D0%92.2.5-28-2006.pdf> — Назва з екрана. — Дата доступу: 01.03.2026.
3. Luminescent solar concentrator [Електронний ресурс] // Wikipedia. — Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Luminescent_solar_concentrator — Дата доступу: 01.03.2026.
4. Glass to Power. Glass-Glass: fotovoltaico vetro-vetro [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.glasstopower.com/glass-glass-fotovoltaico-vetro-vetro/> — Дата доступу: 01.03.2026.
5. Світло, що визначає твій дім: чому інсоляція — більше, ніж просто про сонце [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://tykyiv.com/neruhomist/svitlo-shcho-viznachaie-tvii-dim-chomu-insoliatsiia-bilshe-nizh-prosto-pro-sontse/> — Дата доступу: 01.03.2026.
6. Cost & efficiency optimisation of the fluorescent solar concentrator / E. E. Bende, L. H. Slooff, A. R. Burgers [та ін.] // 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 1–5 September 2008, Valencia, Spain. — Petten : ECN Solar Energy, 2008.
7. Luminescent Solar Concentrator Cells (LSCc) Analysis 2026 and Forecasts 2034 [Електронний ресурс] // IMARC Group. — Режим доступу: <https://www.imarcgroup.com/polymethyl-methacrylate-pricing-report> — Дата доступу: 01.03.2026.
8. Polymethylmethacrylate (PMMA) price index [Електронний ресурс] // Business Analytiq. — Режим доступу: <https://businessanalytiq.com/procurementanalytics/index/polymethylmethacrylate-pmma-price-index/> — Дата доступу: 01.03.2026.
9. Sterically engineered perylene dyes for high efficiency oriented fluorophore luminescent solar concentrators / W. E. Benjamin, D. R. Veit, M. J. Perkins [та ін.] // Chemistry of Materials. — 2014. — Т. 26, № 3. — С. 1299–1305.
10. Fluorescent Blue Pigment 1 kg [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://xn---utbcjbgv0e.com.ua/en/fluorescentnij-pigment-sinij-1-kg.html?utm> — Дата доступу: 01.03.2026.
11. QDs price, buy QDs [Електронний ресурс] // ChemicalBook. — Режим доступу: <https://www.chemicalbook.com/Price/QDs.htm> — Дата доступу: 01.03.2026.
12. Solar photovoltaic module price [Електронний ресурс] // Our World in Data. — Режим доступу: <https://ourworldindata.org/grapher/solar-pv-prices> — Дата доступу: 01.03.2026.

13. Analysis of the 1 year outdoor performance of quantum dot luminescent solar concentrators / T. A. de Bruijn, R. Terricabras-Polo, A. Kaul [та ін.] // Solar Energy Materials and Solar Cells. — 2023. — Т. 251.

УДК 627.8:620.9

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ У ГІДРОТЕХНІЧНОМУ БУДІВНИЦТВІ

В.М. Сахно¹, В.В. Середа², В.Ю. Запорожченко³

¹ к.ф.-м.н, доцент кафедри вищої математики, фізики та загальноінженерних дисциплін, e-mail: sakhno.v.m@dsau.dp.ua

²студент групи ГТБ-1-24, кафедра гідротехнічного будівництва, водної інженерії та водних технологій e-mail: 118025@student.dsau.dp.ua

³к.с.н, доцентка кафедри водогосподарської інженерії, e-mail: zaporozhchenko.v.ya@dsau.dp.ua

^{1,2,3}Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна

Анотація. У роботі проаналізовано сучасні підходи до підвищення енергоефективності гідротехнічних споруд та мереж. Розглянуто застосування антифрикційних покриттів для зниження гідравлічних втрат у трубопроводах, методи обчислювальної гідродинаміки (CFD) для елімінації зон турбулентності та кавітації, впровадження насосних агрегатів із частотним регулюванням приводів (ЧРП). Досліджено перспективи рекуперації надлишкового тиску через мікро-ГЕС, заміну традиційних матеріалів на полімерні композити та геосинтетичні, інтеграцію плавучих фотоелектричних станцій на водосховищах. Особливу увагу приділено технологіям цифрових двійників, мікро- та піко-гідроенергетиці, переходу інфраструктури на відновлювані джерела енергії та еко-інженерним рішенням.

Ключові слова: енергоефективність, гідротехнічне будівництво, антифрикційні покриття, частотне регулювання приводів, мікро-ГЕС, CFD-моделювання, цифровий двійник, еко-інженерія.

ENERGY EFFICIENCY IN HYDRAULIC ENGINEERING

Viacshaslav Sakhno¹, Volodymyr Sereda², Viktoriia Zaporozhchenko³

¹PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor at the Department of Higher Mathematics, Physics, and General Engineering Disciplines, e-mail: sakhno.v.m@dsau.dp.ua

²Student of group HTB-1-24, Department of Hydraulic Engineering, Water Engineering, and Water Technologies, e-mail: 118025@student.dsau.dp.ua

³PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor at the Department of Water Management Engineering, e-mail: zaporozhchenko.v.ya@dsau.dp.ua

^{1,2,3}Dnipro State University of Agriculture and Economics, Dnipro, Ukraine

Abstract. The paper analyzes modern approaches to improving the energy efficiency of hydraulic structures and networks. It examines the application of anti-friction coatings to re-