

УДК 721;72.01

Лариса Шулдан¹, Василь Гуменяк², Андрій Штендера³, Аліна Харитонова⁴

¹кандидат архітектури, професор кафедри архітектурного проектування та інженерії,
Національний університет "Львівська політехніка", Львів

larysa.o.shuldan@lpnu.ua
orcid.org/0000-0003-4171-9807

²магістр архітектури, аспірант кафедри архітектурного проектування та інженерії,
Національний університет "Львівська політехніка", Львів

vasyl.m.gumeniak@lpnu.ua
orcid.org/0009-0008-0132-7634

³PhD, доцент кафедри архітектурного проектування та інженерії,
Національний університет "Львівська політехніка", Львів

andrii.y.shtendera@lpnu.ua,
orcid.org/0000-0001-9451-4333

⁴кандидат архітектури, доцент кафедри архітектури будівель і споруд,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса

alinaizakta@gmail.com
orcid.org/0000-0001-6710-7089

СОЛЯРНІ ЕЛЕМЕНТИ В АРХІТЕКТУРІ ТА МІСТОБУДУВАННІ: ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ, ЕВОЛЮЦІЯ ТА НОРМАТИВНИЙ КОНТЕКСТ

© Шулдан Л. О., Гуменяк В. М., Андрій Штендера А. Ю., Харитонова А. А., 2026

<https://doi.org/10.32347/2519-8661.2026.35-36.154-163/>

Анотація

У статті розглядаються теоретичні основи, еволюція та сучасні підходи до використання солярних елементів в архітектурі та містобудуванні в контексті розвитку енергоефективного та сталого проектування. Проаналізовано трансформацію підходів до використання сонячної енергетики від принципів пасивної сонячної архітектури та автономних інженерних систем до інтегрованих архітектурних рішень, зокрема Building Integrated Photovoltaics (BIPV), у межах яких фотоелектричні системи стають невід'ємною частиною огорожувальних конструкцій будівель та елементом формування архітектурного образу.

Особливу увагу приділено формуванню поняття «солярні елементи» як узагальнюючої архітектурно-інженерної категорії, що охоплює не лише традиційні фотоелектричні модулі, але й сонячні теплові колектори, прозорі тонкоплівкові фотоелементи, органічні й перовскітні системи, люмінофорні покриття та інші інноваційні технології, інтегровані в архітектурне середовище. Запропоновано авторське трактування солярних елементів як засобів архітектури, що активно використовують сонячну енергію та безпосередньо впливають на формування архітектури будівель та споруд, дизайн архітектурного середовища, а також містобудівні та ландшафтні рішення.

У роботі досліджено еволюцію інтеграції сонячних технологій у будівельному середовищі. Розглянуто основні типи інтеграції фотоелектричних систем у фасади, покрівлі та інші конструктивні елементи будівель. Висвітлено роль сучасних солярних технологій у підвищенні енергоефективності будівель, зниженні споживання традиційних енергоресурсів та формуванні нових архітектурних і урбаністичних рішень.

Здійснено огляд сучасних міжнародних досліджень у сфері BIPV, що охоплюють архітектурні, матеріалознавчі, енергетичні, економічні та містобудівні аспекти інтеграції сонячних технологій. Проаналізовано сучасні тенденції розвитку новітніх фотоелектричних матеріалів і цифрових методів оцінки сонячного потенціалу будівель та міського середовища. Обґрунтовано необхідність адаптації міжнародного досвіду та формування національних підходів до архітектурної інтеграції сонячних технологій в Україні як важливої складової розвитку сучасної енергоефективної архітектури та сталого містобудування.

Ключові слова: сонячні елементи, BIPV, архітектурна інтеграція, енергоефективність, нормативна база, сталий розвиток.

Вступ

Сучасна архітектурна практика переживає період глибокої трансформації, спричиненої глобальними викликами. З одного боку, суспільство стикається з нагальною потребою у зменшенні викидів парникових газів та досягненні кліматичної нейтральності. З іншого – архітектура і будівництво залишаються одними з найбільших споживачів енергетичних ресурсів що вимагає радикальних змін у підходах до проектування та експлуатації будівель. За даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA, 2023), на будівельний сектор припадає близько 36-40% глобального кінцевого енергоспоживання та понад третина загальних викидів CO₂. Ці показники підкреслюють критичну роль архітектурної індустрії у переході до відновлювальної енергетики.

Сонячна енергетика вважається одним із найперспективніших джерел «чистої» енергії. Вона характеризується екологічною безпекою, практично необмеженим ресурсом та можливістю масштабування від індивідуальних будинків до великих урбаністичних систем. Якщо у 1980-1990-х роках сонячні панелі здебільшого встановлювалися як автономні інженерні пристрої на дахах, то сьогодні формується принципово новий підхід: інтеграція фотоелектричних і теплових систем у саму структуру будівель. Це явище отримало назву BIPV (Building Integrated Photovoltaics), і воно змінило сприйняття сонячних технологій з суто інженерних на архітектурно-художні. Інтеграція фотоелектричних систем у архітектуру активно досліджується у сучасній науковій літературі (Heinstein et al., 2013; Jelle et al., 2012; Kanwal et al., 2025; Oguntade & Cimillo, 2024).

У цьому контексті актуалізується поняття «сонячні елементи», яке вимагає теоретичного уточнення та систематизації у межах сучасної архітектурної науки. Сонячні елементи охоплюють не лише класичні фотоелектричні модулі, але й прозорі панелі, органічні фотоелементи, тонкоплівкові системи, люмінофорні покриття, декоративні сонячні інсталяції. Їхня класифікація і систематизація є важливим кроком для подальшого розвитку архітектурної науки.

Зростання інтересу до цієї теми пояснюється низкою чинників. По-перше, посилюється нормативний тиск: Європейський Союз у рамках «Зеленого курсу» (European Green Deal) вимагає досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року, а в країнах ЄС діють директиви, які регламентують енергоефективність новобудов і реновацій. По-друге, суспільство стає більш чутливим до проблем енергетичної незалежності та зростання вартості викопного палива. По-третє, архітектори дедалі частіше шукають інноваційні матеріали і технології, які б поєднували енергоефективність та естетичну виразність.

Використання сонячних елементів у проектуванні будівель дозволяє вирішити одразу кілька завдань. Вони забезпечують часткову чи повну енергетичну автономію будівель, знижують навантаження на централізовані мережі, сприяють зменшенню викидів парникових газів. Водночас їхнє застосування відкриває нові горизонти для архітектурної виразності: фасади зі змінною прозорістю, інтерактивні сонячні поверхні, декоративні інсталяції, що виконують і художню, і функціональну роль.

Метою дослідження є аналіз теоретичних засад використання сонячних елементів у сучасній архітектурі та містобудуванні, дослідження еволюції технологій сонячної енергетики та оцінка нормативного контексту їх інтеграції у будівельне середовище.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі завдання:

- проаналізувати сучасні наукові підходи до використання сонячних технологій у архітектурі;
- дослідити еволюцію інтеграції сонячних енергетичних систем у будівельні та містобудівні структури;
- узагальнити результати міжнародних досліджень у сфері Building Integrated Photovoltaics (BIPV);
- проаналізувати нормативну базу Європейського Союзу та України щодо енергоефективності будівель та використання відновлюваних джерел енергії.

Теоретичні основи використання солярних елементів в архітектурі

Інтеграція сонячної енергетики у архітектуру є одним із ключових напрямів розвитку енергоефективного проектування. Використання солярних елементів у будівлях дозволяє поєднати функції енергогенерації, регулювання мікроклімату та формування архітектурної виразності об'єкта.

У сучасній науковій літературі солярні елементи розглядаються як комплекс архітектурно-інженерних компонентів, що використовують сонячне випромінювання для генерації або трансформації енергії. До таких елементів належать фотоелектричні модулі, сонячні теплові колектори, прозорі фотоелементи, тонкоплівкові системи, а також інноваційні матеріали на основі органічних та перовскітних технологій.

Однак існуючі підходи до визначення солярних елементів переважно обмежуються їх трактуванням як інженерних або енергетичних систем що не повною мірою відображає їх роль у формуванні архітектурного та містобудівного середовища. Такий підхід зводить потенціал використання сонячних технологій, залишаючи поза увагою їхній вплив на композицію, образність та просторову організацію об'єктів.

Тому на часі ввести в теоретичний і практичний архітектурно-містобудівний ужиток термін «солярні елементи» та окреслити сферу його застосування. Найголовніша проблема – це визначення об'єкта архітектури в його відмінності від енергоспоживчого об'єкта будівництва. Ми вважаємо, що головна різниця полягає в особливості цілей, тобто відмінностей архітектурного та енергетичного результатів. Специфіка таких термінологічних визначень проявляється з одного боку у домінуванні однієї з протилежностей. У нашому випадку – це архітектура, що залишається складним творчим і культурним процесом. З іншого, сенс полягає у пошуку найкращого синкрестичного рішення в органічному співіснуванні «естетичного-утилітарного».

Як відомо, «Солярний (лат. solaris – сонячний)», а «Елемент (лат. elementum – стихія, первинна речовина) – нерозкладний (у даній системі) компонент складних тіл, матеріальних систем, ..., будь-який об'єкт, пов'язаний певними відношеннями з іншими об'єктами в єдиний комплекс».

Отже, солярні елементи – це засоби архітектури, які активно використовують сонячну енергію та безпосередньо впливають на формування архітектури будівель та споруд, дизайн архітектурного середовища, а також містобудівні та ландшафтні рішення.

Основні характеристики солярних елементів як архітектурної категорії можна визначити наступним чином:

1. Технологічна сутність

Солярні елементи є пристроями, в основі дії яких перетворення сонячної радіації в електрику та інші види енергії, стають повноправними прийомами і заходами в архітектурній практиці входять в дизайн та містобудування

2. Міждисциплінарна природа

Солярні елементи є різноманітними за своєю фізичною та хімічною природою та охоплюють процеси фотоніки, фотохімії, електрохімії і біохімії. До них належать як традиційні сонячні панелі та теплові колектори, так і інноваційні рішення, такі як органічні фотоелементи, тонкоплівкові системи, люмінофорні матеріали та інші.

3. Архітектурна інтегрованість

Солярні елементи не можуть існувати в архітектурних та містобудівних об'єктах як незалежні та окремі суто утилітарні інженерні одиниці Shuldan, L. O. (2018). Їх ефективність і доцільність визначаються рівнем інтеграції в архітектурну, містобудівну та ландшафтну структуру об'єкта, що забезпечує одночасну реалізацію енергетичних, функціональних та естетичних характеристик.

Таким чином солярні елементи слід розглядати не лише як технічні пристрої, а як комплексні архітектурно-інженерні засоби, які формують нову парадигму енергоефективного та сталого проектування.

Особливістю сучасного етапу розвитку є перехід від традиційних інженерних систем до інтегрованих архітектурних рішень, у яких енергогенеруючі компоненти стають частиною огорожувальних конструкцій будівлі. Як зазначають Peng et al. (2011), інтеграція фотоелектричних систем у архітектурний дизайн дозволяє поєднати енергогенерацію з функціональними та естетичними характеристиками будівлі. Такий підхід дозволяє поєднати енергетичну ефективність із формуванням нових архітектурних форм і матеріалів.

Основні типи інтеграції фотоелектричних систем у архітектурі наведено на (Рис. 1).

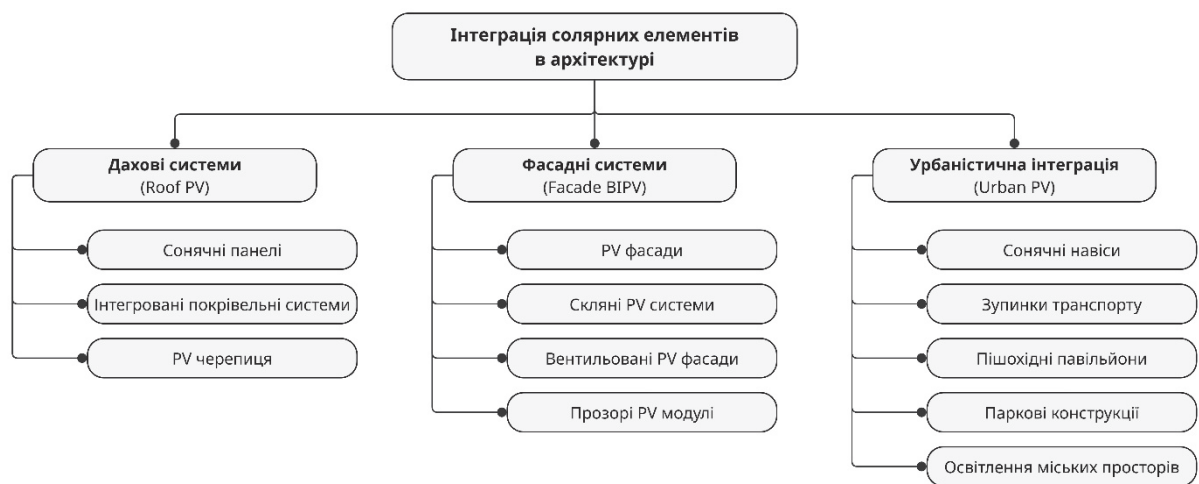


Рис. 1. Основні типи інтеграції солярних елементів в архітектурі (розроблено автором)

Еволюція використання сонячної енергії в архітектурі

Історія використання сонячної енергії в архітектурі має тривалий розвиток і проходить кілька ключових етапів.

На ранніх етапах архітектори використовували принципи пасивної сонячної архітектури. Орієнтація будівель відносно сторін світу, використання масивних теплових конструкцій та оптимізація площі скління дозволяли ефективно використовувати природну сонячну енергію для обігріву та освітлення приміщень.

У другій половині XX століття розвиток напівпровідникових технологій сприяв появі активних сонячних систем. Фотоелектричні панелі почали встановлюватися на дахах будівель як автономні енергетичні установки. Такі системи отримали назву Building Applied Photovoltaics (BAPV), оскільки вони встановлювалися поверх існуючих конструкцій.

Подальший розвиток технологій призвів до формування концепції Building Integrated Photovoltaics (BIPV), у межах якої фотоелектричні модулі інтегруються безпосередньо у фасадні системи, покрівлі або інші елементи огорожувальних конструкцій. У цьому випадку сонячні елементи виконують не лише енергетичну, а й конструктивну та естетичну функції.

На сучасному етапі відбувається перехід від інтеграції сонячних систем на рівні окремих будівель до формування комплексних урбаністичних рішень, у яких солярні елементи стають частиною міської інфраструктури - транспортних об'єктів, громадських просторів та малих архітектурних форм.

Подібні підходи розглядаються у міжнародних дослідженнях міської енергетики, де інтеграція відновлюваних джерел енергії у міську інфраструктуру розглядається як один із ключових напрямів сталого розвитку міст (IRENA, 2022).

У сучасних урбаністичних дослідженнях активно розвивається концепція так званих «positive energy districts», у межах яких міські квартали виробляють більше енергії, ніж споживають (JPI Urban Europe, 2020).

Еволюцію використання сонячних технологій у архітектурі можна представити як послідовний перехід від принципів пасивної сонячної архітектури до інтегрованих фотоелектричних систем та формування солярної міської інфраструктури (Рис. 2).

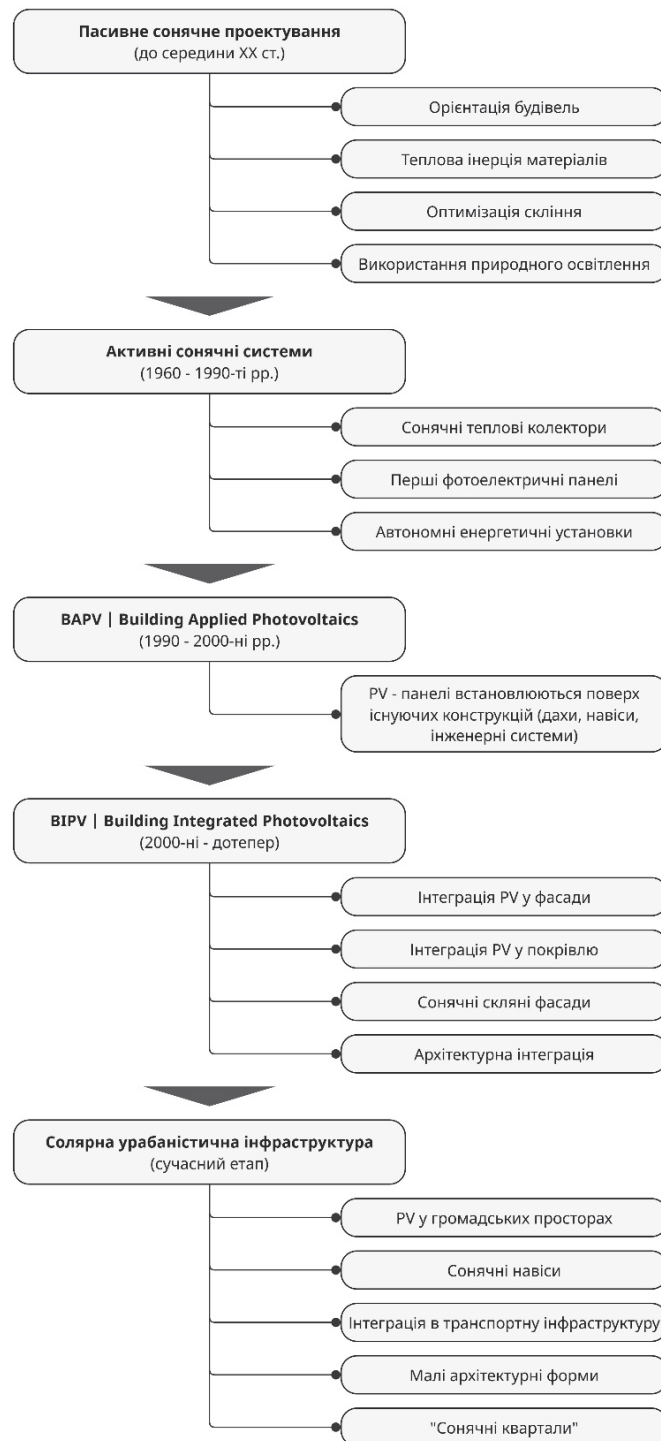


Рис. 2. Еволюція інтеграції солярних технологій в архітектурі (розроблено автором)

Методологія дослідження

Методологія дослідження ґрунтується на міждисциплінарному підході, що поєднує методи архітектурного аналізу, будівельної фізики та енергетики.

Дослідження базується на аналізі сучасних наукових публікацій, індексованих у міжнародних наукометричних базах Scopus та Web of Science, а також на вивченні нормативних документів Європейського Союзу та України.

Основними методами дослідження є:

- аналітичний метод - для системного огляду сучасних наукових публікацій у сфері сонячної енергетики та архітектурної інтеграції фотоелектричних систем;
- порівняльний метод - для аналізу міжнародного досвіду використання ВІРВ у різних кліматичних та містобудівних умовах;
- нормативний аналіз - для дослідження регуляторних документів Європейського Союзу та України у сфері енергоефективності будівель;
- систематизація наукових підходів - для узагальнення теоретичних основ інтеграції солярних елементів у архітектурне середовище.

Такий підхід дозволяє комплексно оцінити сучасний стан розвитку сонячних технологій у архітектурі та визначити основні тенденції їх подальшого впровадження.

Огляд літератури та нормативної бази

Міжнародні дослідження у сфері ВІРВ

Одним із фундаментальних оглядових досліджень у цій сфері є робота Jelle et al. (2012), у якій здійснено систематичний аналіз технологій ВІРВ, їх конструктивних характеристик та можливостей інтеграції у будівельні конструкції.

Солярні елементи, інтегровані в архітектуру, стали об'єктом активних досліджень у другій половині ХХ ст., однак найбільшого розвитку ця сфера набула у 2000-2020-х роках. У центрі уваги – Building Integrated Photovoltaics (ВІРВ), тобто фотоелектричні системи, які є невід'ємною частиною огорожувальних конструкцій будівлі.

Heinstein, Vallif та Perret-Aebi (2013) у своєму огляді підкреслюють, що ВІРВ виконує подвійну роль: енергетичну та архітектурну. На відміну від традиційних панелей, ВІРВ розглядається як частина фасаду чи покрівлі, яка бере участь у формуванні архітектурного образу. Дослідження також показує, що бар'єрами для поширення ВІРВ є висока вартість матеріалів, брак стандартів і складність проектування.

У більш сучасних роботах спостерігається еволюція підходів. Kanwal et al. (2025) виконали масштабний бібліометричний аналіз публікацій у базі Scopus. Вони виявили, що кількість наукових статей про ВІРВ зростає щорічно на 15-20%, а основними напрямками досліджень є:

- нові матеріали (органічні та гібридні фотоелементи)
- дизайн фасадів
- економічна ефективність
- нормативні та соціальні аспекти

Batista et al. (2025) розробили концепцію багаторівневого дизайну ВІРВ, яка враховує не лише будівлю як окремий об'єкт, але й її взаємодію з міським середовищем. Автори пропонують розглядати інтеграцію солярних елементів як частину ширшої стратегії сталого розвитку міст.

Ni et al. (2025) розширили розуміння ВІРВ, підкресливши, що воно не повинно обмежуватися дахами й фасадами. Вони дослідили приклади інтеграції фотоелементів іу малі архітектурні форми, пішохідні зонги, ландшафтний дизайн. Такий підхід сприяє формуванню «сонячної інфраструктури» на рівні міста.

Giovanardi et al. (2024) проаналізували складність фасадних РВ-систем. Вони зазначають, що інтеграція фотоелементів у фасади пов'язана з проблемами сумісності матеріалів, теплотехнічних характеристик і візуальної єдності. Пропоновані стратегії включають використання адаптивних панелей із змінною прозорістю та кольором, що дозволяє зберегти архітектурну виразність.

Zagorskas & Turskis (2025) у своєму дослідженні акцентували увагу на кліматичних аспектах. Вони довели, що продуктивність сончних фасадів суттєво залежить від регіональних умов (широта, інсоляція, температура, вологість). Це означає, що для кожної кліматичної зони потрібно розробляти специфічні стратегії інтеграції.

Oguntade & Cimillo (2024) здійснили систематичний огляд впливу BIPV на енергоефективність будівель. Вони дійшли висновку, що ефективність залежить не лише від технології, але й від архітектурного рішення: орієнтації фасаду, кута нахилу та поєднання з системами природного освітлення.

Таким чином, сучасна наукова література пропонує багатогранний підхід до вивчення BIPV та солярних елементів в цілому від матеріалознавства до містобудівних концепцій.

Новітні матеріали і технології

Традиційні кристалічні фотоелементи сьогодні поступово доповнюються новими технологіями. Тонкоплівкові елементи (CdTe, CIGS) дозволяють зменшити вагу і зробити модулі гнучкими. Органічні фотоелементи (OPV) відкривають можливості для прозорих і кольорових фасадів. Гібридні перовскітні фотоелементи демонструють високий ККД при відносно низькій собівартості.

Schluter et al. (2022) запропонували використання нейронних мереж для моделювання сонячного потенціалу фасадів (метод SolarGAN). Це дозволяє прогнозувати ефективність інтеграції PV на рівні цілих міських кварталів.

Wang et al. (2024) звстосували алгоритми комп'ютерного зору (Segment Anything Model) для автоматизованої оцінки потенціалу дахів і фасадів.

Отже, поєднання матеріалознавства і цифрових технологій відкриває нові горизонти для архітектурної інтеграції солярних елементів.

Нормативна база ЄС та України

У сфері нормативного регулювання ключовими є документи Європейського Союзу. Директива 2010/31/EU та її оновлення 2018/844/EU встановлюють вимоги до енергетичної ефективності будівель та передбачають, що з 2021 всі нові будівлі мають бути «майже нульовими за споживанням енергії» (nZEB). У цьому контексті інтеграція сонячних систем стає обов'язковим елементом проектування.

Стандарт EN 50583 Photovoltaics in Buildings визначає технічні вимоги до фотоелектричних систем, інтегрованих у будівлі, зокрема щодо електробезпеки та довговічності.

В Україні ухвалено Енергетичну стратегію до 2035 року, де зазначено завдання збільшити частку ВДЕ до 25%. Проте конкретних нормативів щодо архітектурної інтеграції фотоелементів поки немає. Це створює ризики хаотичного використання технологій без урахування архітектурних та містобудівних особливостей.

Важливим для українського контексту є також національний документ - Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» (2017). Він формує підґрунтя для регулювання енергоефективності у проектуванні. Проте інтеграція солярних елементів як архітектурного компонента поки що залишається поза чітким нормативним полем.

Українські дослідники (Shuldan & Al-Ahmmadi, 2020) наголошують на потребі адаптації міжнародного досвіду та створенні національних стандартів. Особливо актуальним є питання інтеграції солярних елементів у історичну забудову, де потрібно поєднати енергоефективність і збереження культурної спадщини.

Обговорення

У сучасному дискурсі архітектор постає як візуалізатор не лише актуальних практик, а й майбутнього. Відбувається перехід до нової філософії архітектури, де використання відновлювальних джерел енергії стає невід'ємним елементом проектування. Солярні елементи в цьому контексті - не просто утилітарні засоби, а культурні й символічні маркери сталого розвитку, які формують образ будівлі як екологічної так і соціально відповідальної.

Ефективність інтеграції солярних елементів у будівлі залежить від комплексу взаємопов'язаних факторів, серед яких ключову роль відіграють кліматичні умови, нормативне регулювання, архітектурні рішення та економічна доцільність (Рис. 3).

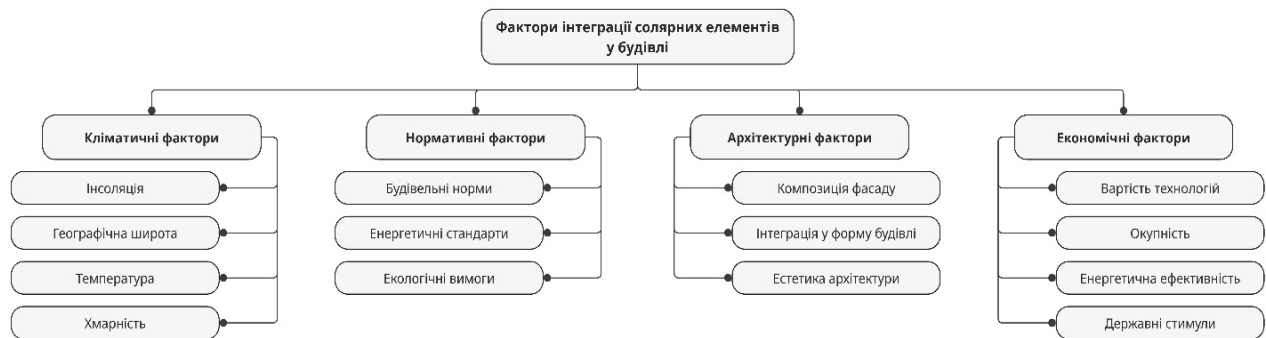


Рис. 3. Основні фактори інтеграції солярних елементів у архітектуру будівель (розроблено автором)

Таким чином, інтеграція солярних елементів у сучасну архітектуру потребує комплексного підходу, який поєднує технічні, архітектурні та економічні аспекти. Ефективне використання сонячних технологій можливе лише за умови врахування кліматичних характеристик регіону, нормативних вимог, архітектурної композиції будівлі та економічної доцільності впровадження таких систем.

Висновки

Проведене дослідження дозволило проаналізувати теоретичні основи використання солярних елементів у сучасній архітектурі та містобудуванні, а також простежити еволюцію підходів до інтеграції сонячних технологій у будівельне середовище.

Встановлено, що розвиток сонячної енергетики в архітектурі пройшов шлях від використання принципів пасивної сонячної архітектури до впровадження інтегрованих фотоелектричних систем (BIPV), які стають невід'ємною частиною огорожувальних конструкцій будівель. Сучасні солярні елементи виконують не лише функцію генерації енергії, але й впливають на архітектурний образ будівлі та формування міського середовища.

Аналіз міжнародних наукових досліджень показав, що інтеграція сонячних технологій розглядається як міждисциплінарна проблема, що охоплює матеріалознавство, архітектурний дизайн, енергетичну ефективність та містобудівне планування. Особливу роль у розвитку цієї сфери відіграють інноваційні матеріали, зокрема тонкоплівкові та органічні фотоелементи, які розширюють можливості архітектурної інтеграції.

Дослідження нормативної бази засвідчило, що в країнах Європейського Союзу інтеграція сонячних систем активно підтримується на законодавчому рівні через директиви з енергоефективності будівель та технічні стандарти для фотоелектричних систем. В Україні нормативна база в цій галузі перебуває на етапі формування, що створює потребу в імплементації міжнародного досвіду та розробленні рекомендацій щодо архітектурної інтеграції солярних технологій.

Отже, солярні елементи поступово перетворюються на важливий компонент сучасної енергоефективної архітектури та сталого розвитку міст. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку методичних підходів до їх інтеграції у будівельне та урбаністичне середовище з урахуванням кліматичних, технологічних та культурних особливостей різних регіонів.

Список літератури

Batista, F., et al. (2025). Building Integrated Photovoltaics: a multi-level design perspective. *Renewable Energy Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.01.005>

Giovanardi, M., Castellan, C., La Rosa, M., Pavlovic, A., & Pracucci, A. (2024). Designing BIPV – Strategies for managing complexity in the integration of photovoltaics in facades. *Agathón*, 16, 45-57.

<https://doi.org/10.19229/2464-9309/162024>

Kanwal, N., et al. (2025). Building-Integrated Photovoltaics: A Bibliometric Review of Trends and Challenges. *Engineering Proceedings*, 107(1), 36. <https://doi.org/10.3390/engproc2025107036>

Ni, P., et al. (2025). Building integrated photovoltaics that move beyond rooftops. *Cell Reports Physical Science*, 6(3), 100123. <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2025.100123>

Oguntade, A., & Cimillo, M. (2024). Building-integrated photovoltaics (BIPV) in building performance research - a systematic literature review. *Sustaining the Future. Proceedings of the 57th International Conference of the Architectural Science Association 2024*, pp. 492-499

Zagorskis, J., & Turskis, Z. (2025). Performance Evaluation and Integration Strategies for Solar Façades in Diverse Climates: A State-of-the-Art Review. *Sustainability*, 17(3), 1017. <https://doi.org/10.3390/su17031017>

Schlüter, A., Waibel, C., & Zhang, Y. (2022). SolarGAN: Synthetic Annual Solar Irradiance Time Series on Urban Building Facades via Deep Generative Networks. *arXiv preprint*. <https://arxiv.org/abs/2206.12345>

Wang, G., et al. (2024). SolarSAM: Building-scale Photovoltaic Potential Assessment Based on Segment Anything Model (SAM) and Remote Sensing for Emerging City. *arXiv preprint*. <https://arxiv.org/abs/2403.01234>

Directive (EU) 2018/844. Energy performance of buildings. Official Journal of the European Union.

CENELEC. (2016). EN 50583-1: Photovoltaics in buildings - Part 1: BIPV modules.

Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine. (2017). Energy Strategy of Ukraine until 2035.

Shuldan, L. O., & Al-Ahmmadi, S. A. (2020). Використання солярних елементів у будівлях історичного центру міста. *Вісник архітектури*, 12, 45-52.

Shuldan, L. O. (2018). Солярні елементи в дизайні, архітектурі та Містобудуванні 2018, Perspectives of science and education. *Proceedings of the 4th International youth conference. SLOVOWORD, New York, USA* pp. 278-282 <https://orcid.org/0000-0003-4171-9807>

Heinstein, P., Ballif, C., & Perret-Aebi, L. (2013). Building integrated photovoltaics (BIPV): Review, potentials, barriers and myths. *Green*, 3(2), 125-156. <https://doi.org/10.1515/green-2013-0012>

Peng, J., Lu, L., & Yang, H. (2011). Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China. *Energy and Buildings*, 43(12), 3592-3598. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.032>

Jelle, B. P., Breivik, C., & Røkenes, H. D. (2012). Building integrated photovoltaic products: A state-of-the-art review. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 100, 69-96. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2011.12.016>

International Energy Agency (IEA). (2023). *Renewables 2023 - Analysis and forecast*.

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2022). *Renewable energy in cities*.

JPI Urban Europe. (2020). *Positive Energy Districts and Neighbourhoods*.

Hestnes, A. G. (1999). *Building integration of solar energy systems*. *Solar Energy*, 67(4-6), 181-187. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00065-7](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00065-7)

Kaan, H., & Reijenga, T. (2004). *Photovoltaics in an architectural context*. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 12(6), 395-408. <https://doi.org/10.1002/pip.554>

Munari Probst, M. C., & Roecker, C. (2007). *Towards an improved architectural quality of building integrated solar thermal systems (BIST)*. *Solar Energy*, 81(9), 1104-1116. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2007.02.009>

Jelle, B. P. (2016). Building integrated photovoltaics: A concise description of the current state of the art and possible research pathways. *Energies*, 9(1), 21. <https://doi.org/10.3390/en9010021>

Luque, A., & Hegedus, S. (2011). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. (2nd ed.) Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470974704>

Tripathy, M., Sadhu, P. K., & Panda, S. K. (2016). A critical review on building integrated photovoltaic products and their applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 451-465. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.008>

Martín-Chivelet, N., et al. (2022). Building-integrated photovoltaic (BIPV) products and systems. *Energy and Buildings*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111998>

Larysa Shuldan¹, Vasyl Gumeniak², Andrii Shtendera³, Alina Kharytonova⁴

¹*Professor in Institute of Architecture and Design, PhD*

Lviv Polytechnic National University, Lviv

larysa.o.shuldan@lpnu.ua

orcid.org/0000-0003-4171-9807

²*MA(arch), PhD student in Architecture,*

Lviv Polytechnic National University

vasyl.m.gumeniak@lpnu.ua

orcid.org/0009-0008-0132-7634

³*PhD Arch., Associate Professor,*

Lviv Polytechnic National University, Lviv

andrii.y.shtendera@lpnu.ua,

orcid.org/0000-0001-9451-4333

⁴*PhD Arch., Associate Professor,*

Department of Architecture of Buildings and Structures, Odesa

alinaizakta@gmail.com

orcid.org/0000-0001-6710-7089

SOLAR ELEMENTS IN ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING: THEORETICAL FOUNDATIONS, EVOLUTION, AND REGULATORY CONTEXT

Abstract

This article examines the theoretical foundations, evolution, and contemporary approaches to the application of solar elements in architecture and urban planning within the context of sustainable and energy-efficient design. The study analyses the transformation of approaches to solar energy utilisation, from the principles of passive solar architecture and autonomous engineering systems to integrated design solutions, particularly Building Integrated Photovoltaics (BIPV). In contemporary practice, photovoltaic systems are increasingly incorporated into building envelopes and are becoming an important factor in shaping architectural identity.

Particular attention is given to the development of the concept of “solar elements” as a generalised architectural and engineering category. This category encompasses not only conventional photovoltaic modules, but also solar thermal collectors, transparent thin-film photovoltaic cells, organic and perovskite systems, luminescent coatings, and other innovative technologies embedded within the built environment. The study develops a broader conceptual framework for understanding solar elements as integrated architectural and urban design components rather than solely engineering technologies. It proposes an authorial interpretation of solar elements as architectural means that actively utilise solar energy and directly influence building form, spatial organisation, and the design of urban and landscape environments.

The research investigates the evolution of solar technology implementation within the built environment and examines the principal methods of incorporating photovoltaic systems into facades, roofs, and other building components. The study highlights the role of contemporary solar technologies in improving building energy efficiency, reducing the consumption of conventional energy resources, and shaping new architectural and urban planning solutions.

Against this background, the article reviews current international research in the field of BIPV, covering architectural, material, energy-related, economic, and urban planning aspects of solar technology application. Contemporary trends in the development of advanced photovoltaic materials and digital methods for assessing the solar potential of buildings and urban environments are analysed. The study substantiates the need to adapt international experience and develop national approaches to the architectural incorporation of solar technologies in Ukraine as an important component in advancing modern energy-efficient architecture and sustainable urban development.

Keywords: solar elements, BIPV, architectural integration, energy efficiency, regulatory framework, sustainable development.