

**ЗАСОБИ ОСВІТЛЕННЯ У КЛІМАТОАДАПТОВАНІЙ
ЖИТЛОВІЙ АРХІТЕКТУРІ**

**LIGHTING IN CLIMATE-ADAPTED
RESIDENTIAL ARCHITECTURE**

Keywords: light, light pipes, light guides, overhead lighting, basement and basement lighting.

Ключові слова: світло, світлопроводи, світловоди, зенітне освітлення, освітлення цоколів та підвалів.

*Senior Lecturer of the Department of Architectural Design and Engineering
Lviv Polytechnic National University, Lviv*

*старший викладач кафедри архітектурного проектування та інженерії,
Національний університет «Львівська політехніка», Львів*

<https://doi.org/10.23939/sa2025.03.107>

Abstract

Light is a formative, functional, and meaningful component of any architecture. Since ancient times, light has played a key role in sacred architecture, and also significantly affects the architectural, structural, and planning solutions of residential and public buildings. Visible light poses 42–45 % of the energy of the optical range, and 1/2 is infrared radiation. A significant part of visible light is absorbed by surfaces and transform into heat, which significantly effects on interior air temperature.

When ratio window to floor area increases overheating probability of the room in the hot season growth. Hot season becomes longer due to global warming. If we aimed to ensure optimal temperature indicators in the new conditions, it is necessary to use sun protection in combination with various optical devices for daylighting rooms. Light openings reducing area is one of the ways to solve this problem, but it contradicts residential development trends of modern architecture of the last 50–70s years. It negatively affects the visual and spatial parameters of the rooms, reduce illumination indicators. That is why we should be search some lighting diversification ways.

The search for appropriate means and techniques will help us to find a balance between the permeability of building shell and heating, ventilation, and cooling systems using to ensure optimal daylight conditions. Light pipes, light fiber, mirrors other devices is such fitting today. Light pipes are the most common installation for ensuring better daylight conditions in a room or its parts. The advantage of their use is ten times lower heat loss/heat gain compared to windows. A similar devices are light pipes, which can be used as in new buildings and as in existed during reconstruction.

Using a system of mirrors, we can illuminate basement on significantly better level. In this case, the light-receiving surface is mounted in the pavement surface. In some cases, basements can be illuminated with artificial light which imitates natural light very realistically. We can use it for underground shelters, laboratories, some other spaces. Natural lighting devices should work in tandem with dynamic, not static, sun protection installation in a temperate climate. These can be screens, horizontal, vertical, curved blinds and slats.

Анотація

Світло є формуючим, функціональним і значущим компонентом будь-якої архітектури. З давніх часів світло відігравало ключову роль у сакральній архітектурі. Воно значно впливає на архітектурні, конструктивні та планувальні рішення житлових і громадських будівель. Видиме світло становить 42–45 % енергії оптичного діапазону, а 1/2 – це інфрачервоне випромінювання. Значна частина видимого світла поглинається поверхнями і перетворюється на тепло, що значно впливає на температуру повітря у приміщенні.

Коли співвідношення площі вікон до площі підлоги збільшується, ймовірність перегріву приміщення в спекотний сезон зростає. Спекотний сезон стає довшим через глобальне потепління. Якщо ми прагнемо забезпечити оптимальні температурні показники в нових умовах, необхідно використовувати сонцезахист у поєднанні з різними оптичними пристроями для освітлення приміщень денним світлом. Зменшення площі світлових отворів є одним із способів вирішення цієї проблеми, але це суперечить тенденціям розвитку житлової сучасної архітектури останніх 50–70 років. Це негативно впливає на візуальні та просторові параметри приміщень, знижує показники освітленості. Тому слід шукати деякі способи диверсифікації освітлення

Пошук відповідних засобів і технік допоможе нам знайти баланс між проникністю оболонки будівлі та системами опалення, вентиляції та охолодження, використовуючи їх для забезпечення оптимальних умов денного освітлення. Світлові труби, світлові волокна, дзеркала та інші пристрої є такими пристосуваннями на сьогодні. Світлові труби є найпоширенішим способом забезпечення кращих умов денного освітлення у приміщенні або його частинах. Перевагою їх використання є в десять разів менші втрати/надходження тепла порівняно з вікнами. Аналогічними пристроями є світлові труби, які можуть використовувати як в нових будівлях, так і в наявних під час реконструкції.

Постановка проблеми

Світло є формотворчою, функціональною, смисловою компонентною будь-якої архітектури. Із давніх-давен світло відіграє визначальну роль у сакральній архітектурі, а також суттєво впливає на архітектурно-конструктивні та розпланувальні рішення житлових та громадських будівель (Казаков, 2010). Крім того, світло є невід'ємною частиною оптичного діапазону, на котрий припадає понад 99 % сонячної енергії, що потрапляє на поверхню Землі.

Близько $\frac{1}{2}$ припадає на інфрачервоне випромінювання, а значна частина світла також перетворюється на довгохвильове випромінювання, внаслідок поглинання поверхнями (Norbert Lechner, 2015). Саме ІЧ промені визначають температурний режим у приміщенні. Чим більша площа вікон у співвідношенні до площі підлоги, тим більша ймовірність перегріву приміщення у спекотний періоду року. У зв'язку глобальним потеплінням, котре лише прискорюється (<https://www.bbc.com/ukrainian/news-59942946>), стає все складніше підтримувати оптимальні умови проживання. Для забезпечення комфортних температур необхідно використовувати різноманітні оптичні пристрої та засоби для освітлення приміщень природним світлом за умов мінімального втручання у конфігурацію та розміри віконних прорізів (Kyle Konis, 2017).

У зоні помірного клімату погода часто не відповідає сезону, а із посиленням глобального потепління стає все менш передбачуваною (Daniel J. Ryan, Jennifer Ferng, Erik G. L., 2022). Відповідно стаціонарні пристрої та елементи не зможуть забезпечити комфортні умови освітленості й температури за умов мінливості. З огляду на це постає необхідність пошуку рухомих, трансформативних та динамічних архітектурно-конструктивних елементів та деталей, котрі забезпечували якнайкращі умови освітленості за будь-яких температурних та погодних умов (Norbert Lechner, 2015).

У зв'язку із складною економічною ситуацією та необхідністю забезпечувати базовий рівень безпеки на рівні помешкання через війну та ймовірні майбутні військові та безпекові загрози постає необхідність активної взаємодії розв'язання проблеми адаптації до кліматичних змін із безпековим фактором. Це полягатиме в дещо іншій пріоритетності вимог порівняно зі «сталими», «зеленими», «екологічними», «енергоефективними» будівлями в країнах Європи, Азії та Америки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Засоби природного освітлення є відносно вузькою темою в архітектурних публікаціях. У більшості публікацій та статей їх згадують як можливі допоміжні варіанти, опції чи доповнення до існуючих віконних та дахових світлопрорізів, що забезпечують освітлення у приміщеннях. Однак проблематика природного освітлення тісно переплетена насамперед із забезпеченням комфортних температурних умов (Daniel, 2020). Взаємозв'язки з освітленням та температурними умовами детально проаналізовані та ілюстровані в таких книжках, як N. Lechner Heating, Cooling, Lighting (Norbert Lechner, 2015), M. Košir Climate Adaptability of Buildings (Mitja Košir, 2019), A. Troi Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings (Alexandra Troi, 2015), K. Konis Effective Daylighting with High-Performance Facades (Kyle Konis, 2017) та інших.

Слід зазначити, що можливий інструментарій розглядають як в контексті пристосування до кліматичних змін, енергоефективності, зменшення вуглецевого сліду, так в історично-аналітичному розрізі, зокрема, у працях S. Roesler City, Climate, and Architecture (Sascha Roesler, 2022), S. Hagan Taking Shape (Susannah Hagan, 2001), C. A. Short The Recovery of Natural Environments in Architecture (C. Alan Short, 2017), M. Pawlyn Biomimicry in Architecture (Michael Pawlyn, 2016).

Є велика кількість англomовних та німецькомовних статей, котрі присвячені певному аспекту природного освітлення. Однак більшість із них мають науково-аналітичний, а не науково-публіцистичний чи науково-ознайомчий характер. Відповідно постає необхідність трансляції та інтерпретації напрацьованого зарубіжного матеріалу відповідно до українського «грунту» контексту та ситуації, враховуючи межу глобальної проблематики адаптації до кліматичних змін.

Також слід додати, що є вкрай мало статей, приурочених саме архітектурно-морфологічному та архітектурно-естетичному виміру цієї проблематики – яким чином візуальна естетика, про-

никність («прозорість») фасадів корелюватиметься із забезпеченням нормативних та комфортних умов природного освітлення, враховуючи суттєві безпекові й економічні обмеження. Водночас варто враховувати науково-екологічні прогнози кліматичних змін до кінця століття, які, очевидно, переглядатимуться щодо погіршення і готові рецепти 1990-х, 2000-х, 2010-х можуть бути менш актуальними, про що йдеться у J. Aber Less Heat More Light (John D. Aber, 2023) та J. Banta Extreme Weather Hits Home (John Banta, 2007).

Мета статті

Визначити оптимальні архітектурно-конструктивні засоби, елементи, інженерно-технічні пристосування, які дадуть можливість забезпечити нормативний і вищий показники природної освітленості приміщень, враховуючи ризики перегріву та меншої передбачуваності погодних умов, запропонувати пріоритетність засобів адаптації, беручи до уваги економічні, екологічні та безпекові чинники.

Виклад основного матеріалу

Зазначимо, що існує низка архітектурно-конструктивних, конструктивно-інженерних, інженерно-технічних, архітектурно-ландшафтних та інших засобів, котрі впливають на природну освітленість приміщень чи взаємопов'язані із забезпеченням нормативних та комфортних санітарно-гігієнічних параметрів, включно з освітленістю (Linda Reeder, 2016). У таблиці наведено різноманітні засоби, які можна використовувати для цього (із поділом за технологічністю). Світло-жовтим кольором виокремлено комірки, що безпосередньо впливають на забезпечення природного освітлення.

Високо/середньо/низькотехнологічні засобами адаптації до кліматичних змін у XXI столітті

	Низькотехнологічні	Середньотехнологічні	Високотехнологічні
Конструктивні та інші вирішення			
01		Навісний фасад	Подвійна оболонка
02		Вентильований фасад	Прибудова приямків для освітлення цоколів і підвалів
03		Добудова вентиляційних та інженерних блоків (шахт)	
Світлопрозорі конструкції та світлопрорізи			
01	Маркізи, ролети, жалюзі внутрішні		
02	Дашки та елементи затінення	Зовнішні ламелі/жалюзі/ролети	Термохромне скло
03	Тонове скло	Віконниці та екрани	Фотохромне скло
04	Склоблоки, склопрофіліт, матове скло	Низькоемісійне скло	Електрохромне скло
05			Скло із змінною прозорістю
Ландшафтні			
01	Вертикальне озеленення в'юнкими рослинами	Заглиблення у ґрунт	
02	Контейнерне озеленення літніх приміщень та плоских дахів	Вертикальне озеленення рослинами у субстраті	Зимові сади в тілі будівлі, прибудовані або надбудовані
03	Розташування невеликих водойм і водних елементів	Екстенсивні зелені дахи	Інтенсивні зелені дахи
Інженерно-технічні			
01	Природна вентиляція не лише кухонь та санвузлів але і всіх житлових кімнат	Механічне керування елементами затінення та сонцезахисту	Додаткове освітлення світлопроводами із системами фокусування світла
02	Розширення ніш та шахт для інженерних систем, зокрема природного освітлення	Додаткове освітлення світлопроводами	Інтеграція системи охолодження/обігрів

Необхідно зазначити, що першочергово слід застосовувати низькотехнологічні, а далі більш складніші. Крім того, м^2 світлопрозорої фасадної конструкції завжди дорожчий, ніж м^2 суцільної стіни, що підвищує необхідність у застосуванні різноманітних додаткових засобів із винятково раціональних економічних міркувань.

Світловоди. Сьогодні все більш активно використовують різноманітні засоби для покращення умов освітлення приміщень, особливо в регіонах із жарким і тривалим літом. Найпопулярнішими засобами є світлопроводи (Norbert Lechner, 2015). Це є порожнисті трубчасті конструкції з гладкою шліфованою поверхню, по яких проходить природне світло до приміщень, котрі необхідно освітлювати.

Цей інженерний застосунок використовують уже понад 30 років у США, Європі, Австралії. Він має низку суттєвих переваг порівняно із звичайними світловими прорізами у стінових конструкціях (вікнах). По-перше, має суттєво більшу ефективність у розрахунку на 1 м^2 світлоприймаючої поверхні – середньорічний показник освітленості у 2,0–2,5 рази більший порівняно із бічним віконним прорізом, а в холодний період року його співвідношення ефективності збільшується до 5–6 раз у кліматичних умовах України, зокрема Львова (Кліматичний атлас Львова, 2012). По-друге, суттєвою перевагою світловодів є практична відсутність тепловтрат порівняно із віконною конструкцією, через велику протяжність відсутня теплопередача через іррадіацію та конвекцію (Казаков, 2010). По-третє, втрати світла можуть бути навіть меншим, ніж у вікнах із двокамерними склопакетами, і становити 10–25 % порівняно з 30–45 % у звичайних із врахуванням рами.



Рис. 1. Світловоди. Тривимірний розріз (Norbert Lechner, 2015)

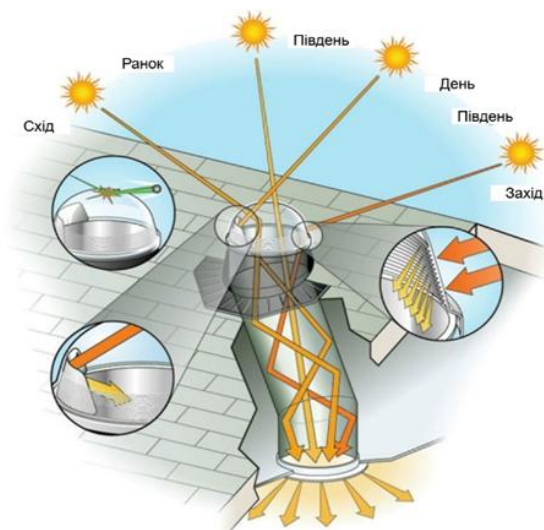


Рис. 2. Збирання світла у світловоді (Norbert Lechner, 2015)

Світлопроводи сьогодні використовують насамперед для освітлення приміщень без світлових прорізів, а також як допоміжне джерело світла. Варто зазначити, що вони можуть інтегруватися із сучасними освітлювальними приладами на основі світлодіодів. Тривалість окупності світлопроводів залежно від виробника, комплектації, конструкції та світлового клімату території коливається від трьох до семи років. При зростанні тарифів на електроенергію стає все більш виправданим застосовувати ці засоби для покращення умов освітленості приміщень.



Рис. 3. Світлопровід як елемент інтегрованої системи освітлення (Kyle Konis, 2017)

Світлопроводи. Ще одним засобом, котрий суттєво дозволяє покращити умови освітленості у приміщеннях, є світлопроводи. Ці пристрої транспортують світло по оптичному кабелю і (на відміну від світловодів) мають дуже мале січення – в десятки разів менше, що співставно із звичайним електричним дротом.

Однак ці пристрої вимагають технічних засобів, котрі збирають і фокусують світло на невеличкій області і далі транспортують по тонкому оптичному кабелю до приміщення.

У приймачі світло розушільнюється, розсіюється і освітлює приміщення. Світлопроводи можуть бути основним чи допоміжним засобом освітлення, легко інтегрується, як з електричними освітлювальними приладами, так і з оптичними (Norbert Lechner, 2015).

На відміну від світловодів, вони не вимагають простору і можуть з легкістю бути встановлені як у процесі нового будівництва, так і у процесі реконструкції. Очевидно, що встановлення світлопроводів є легшим на плоскій покрівлі, ніж на схилистому даху. Якщо поверховість будинку не перевищує 4–5 поверхів, то при використанні 10 % площі поверхні даху для світлоприймаючих пристроїв системи природного освітлення здатні збільшити рівень освітленості всіх приміщень щонайменше на 50 %, а в деяких випадках навіть вдвічі.

Перерозподіл світла. Суттєвим недоліком вікон є значна нерівномірність освітлення по глибині приміщення (Daniel A, 2020). Співвідношення показників освітленості на відстані 1 і 5 м від віконного прорізу для типового житлового приміщення розміром від 4×6 м і вікном 1,5×2, заввишки 3 м, становить 1:4–1:5 (Norbert Lechner, 2015). Це зумовлено тим, що рівень освітленості зменшується по параболі та є пропорційним тілесному куту, простіше кажучи, кожна точка приміщення, що розташована далі від вікна, отримує меншу кількість світла. І це неможливо компенсувати збільшенням віконного прорізу.

Для того, щоб зробити освітлення приміщення більш рівномірним, особливо коли є приміщення завглибшки 6–8 м і більше, необхідно влаштовувати світлову полицку (Susannah Hagan, 2001). Ця конструкція дасть змогу освітлювати частину простору кімнати, що розташована в глибині, шляхом перерозподілу світлового потоку, котрий потрапляє у верхню третину віконного прорізу і розсіюється від стелі. Ця опція буде особливо актуальною при використанні суцільного

засклення вітрин або вікон, які мають висоту від підлоги до стелі. Окрім світлових полицок, можуть використовувати жалюзі та спеціальну перерозподіляючу плівку, яка дещо заломлює частину світла і перерозподіляє його в глибину приміщення (Kyle Kopis, 2017).

Таке рішення суттєво вплине на розпланування кімнат, оскільки дасть змогу розташовувати робоче місце глибше від вікна. Обідній стіл спільної кухні-вітальні також можна буде розташувати подалі від вікна. Варто зауважити, що в глибині приміщення рівень освітленості буде 2,0–2,5 раза більшим, якщо порівнювати його без застосування цього засобу перерозподілу світлового потоку (Alexandra Troi, 2015). Також перерозподіл світла може компенсувати додатковий нагрів приміщення від прямого сонячного світла, що становить до 50 % сонячної радіації на поверхні Землі у безхмарну погоду.

Світловідбиваючі дзеркала. Сьогодні підвали та цокольні поверхи активно використовують для розташування різноманітних громадських приміщень чи навіть закладів. Однак ці приміщення мають суттєвий недолік – складність їх освітлення природним світлом. Для компенсації цього необхідно використовувати електричне освітлення. Крім того, недостатність освітленості зменшує комфортність перебування людей в них у світлий період доби. Природне освітлення більш комфортне та якісне (C. Alan Short, 2017), окрім того, всі електричні освітлювальні прилади є точковими джерелами світла і створюють суттєво іншу картину розподілу освітленості й тіней.

Слід пам'ятати, що для будь-якого точкового джерела світла виконується така закономірність: освітленість і сила світла є обернено пропорційна квадрату відстані від джерела світла. Тобто чим далі в нас розташовані світлові пристрої, тим менший рівень освітленості поверхонь вони можуть забезпечити. Як наслідок рівень освітленості у приміщеннях є в рази, а іноді більш ніж на порядок менший, ніж під час використання природного освітлення. Незважаючи на прогрес, який було досягнуто освітлювальною технікою, природне освітлення є набагато кращим для людського організму не лише на суто функціональному, але й на психоемоційному вимірі.

Будівельними нормами заборонено розташування житлових помешкань у підвальних і цокольних поверхах. Це обґрунтовується насамперед складністю або взагалі неможливістю належних санітарно-гігієнічних параметрів у приміщенні, а саме рівня освітленості, температур та тривалості інсоляції. Якщо температурний режим можна компенсувати за допомогою використання утеплення або більш ефективної системи обігріву, то належний рівень освітленості вкрай складно забезпечити, використовуючи бічні світлові прорізи, а комфортний – неможливо.

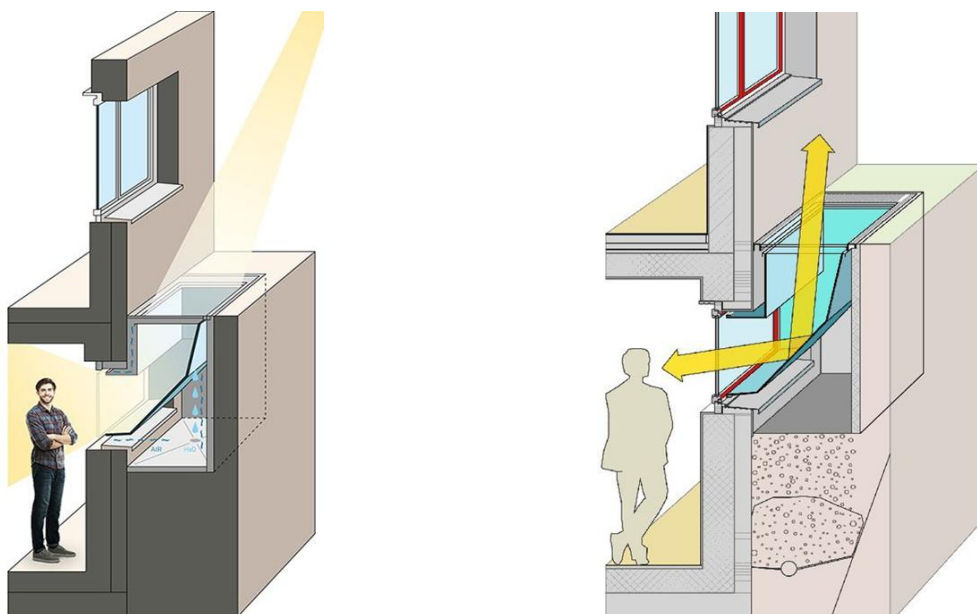


Рис. 4. Система освітлення Heliobus
Online доступно <https://heliobus.com>

Необхідно зазначити, що сьогодні існують технічні засоби які дозволяють за допомогою дзеркал транспортувати верхнє світло до приміщень, які розташовані у підвальних або цокольних поверхах, зокрема систему виробника *heliobus* (Online доступно <https://heliobus.com>). Вони є більш ефективними, ніж віконні конструкції першого і вищих поверхів, а їхня ефективність є на порядок більшою порівняно з підвальними вікнами із приямком. Розташування таких ліхтарів не буде перешкоджати руху пішоходів, оскільки вони вмонтовуються в площину хідника і не виступають з його площини. Є великий досвід застосування таких типів ліхтарів у країнах Європи, насамперед в Німеччині і Австрії (G. Alison, Kwok, T. Walter, Grondzik, 2007). Використання таких ліхтарів дає змогу забезпечити повноцінний рівень освітленості для приміщень, що розташовані в цокольних і підвальних поверхах, і дає можливість розпочати дискусію стосовно можливості розташування там повноцінних житлових помешкань.

Зважаючи на те, що термічний режим є найбільш найвагомішим санітарно-гігієнічним параметром комфортності й в умовах потепління найлегше забезпечити комфортне перебування людей саме в цокольних і підвальних поверхах, то використання системи *heliobus* може забачити найбільш комфортні умови освітлення. Варто зазначити, що одне із приміщень помешкання слід передбачити як кімнату безпеки із залізобетонними стінами і меншими світловими прорізами, не більше 1,5×2 м із захисною віконницею. Для цього приміщення обов'язково слід передбачити вищезазначені додаткові засоби природного освітлення, зокрема світловоди та світлопроводи.

Висновки

1. Урізноманітнення засобів освітлення не тільки створює можливості для більш виразної та цікавої архітектури, але сприяє можливості забезпечення комфортних умов у приміщеннях – рівня освітленості й температурного режиму.
2. Однією із складностей роботи із зовнішньою оболонкою будівлі є пошук балансу проникності для видимого світла, цим більш прозорою стає будівля, щоб досягнути оптимальних умов без використання технічних засобів та систем (обігрів, вентиляція, охолодження).
3. Світловоди є найпоширенішим засобом для забезпечення кращих умов природного освітлення у приміщення чи їхніх частинах. Перевагою застосування є на порядок (удесятеро) і більше менші тепловтрати/надходження тепла порівняно з вікнами. При використанні світловодів втрати або надходження інфрачервоного випромінювання взагалі відсутні.
4. Використовуючи систему дзеркал, можна забезпечити вищі за нормативні показники освітленості у приміщеннях цокольного і підвального поверхів. Світлоприймаюча поверхня вмонтовується в поверхню хідника і не впливає на його функціональні якості.
5. Зважаючи на воєнні загрози в кожному житловому будинку, слід передбачити кімнату безпеки із залізобетонними стінами і меншими світловими прорізами, не більше 1,5×2 м. Для компенсації додатково слід використовувати світлопроводи та світловоди із дахової чи фасадної поверхонь.
6. У помірному кліматі доцільно використовувати лише динамічні елементи сонцезахисту, котрі повинні забезпечувати освітленість не менше ніж 50 % за умови повної хмарності. Це можуть бути горизонтальні, вертикальні, гнutoї форми жалюзі та ламелі.
7. Суцільні екрани, як елемент сонцезахисту, доцільно використовувати як захист від надлишкового тепла або тепловтрат, а також і як безпековий елемент.

Бібліографія

- Alexandra Troi (2015). Zeno Bastian. Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings. Basel, Passive House Institute, Birkhäuser, 335 p. ISBN 978-3-03821-646-9. <https://doi.org/10.1515/9783038216506>
- Alison G. Kwok, Walter T. Grondzik (2007). The Green Studio Handbook Environmental strategies for schematic design. Architectural Press. 378 p. ISBN-13: 978-0-7506-8022-6

- C. Alan Short (2017). *The Recovery of Natural Environments in Architecture Air, Comfort and Climate*. NY, Routledge. 378 p. ISBN: 978-0-415-82440-8. <https://doi.org/10.4324/9781315765853>
- Daniel A. (2020). *Barber Modern Architecture and Climate Design before Air Conditioning*. Princeton University Press. 316 p. ISBN 978-0-691-17003-9.
- Daniel J. Ryan, Jennifer Ferng, Erik G. L. (2022). *Heureux Drawing Climate Visualising Invisible Elements of Architecture*. Birkhäuser, Basel. 231 p. ISBN 978-3-0356-2360-4.
- John D. Aber (2023) *Less Heat More Light Guided Tour of Weather and Climate Change*. Yale University Press. 270 p. ISBN 978-0-300-25943-8. <https://doi.org/10.12987/9780300271201>
- John Banta (2007). *Extreme Weather Hits Home*. Canada, New society publishers. 235 p. ISBN: 978-0-86571-593-6.
- Karsten Voss, Eike Musall (2013). *Net Zero Energy Buildings*. Munich, Hackerbrücke. 192 p. ISBN: 978-3-920034-80-5.
- Kyle Konis (2017). *Stephen Selkowitz Effective Daylighting with High-Performance Facades*. Switzerland, Springer International Publishing. 269 p. SBN 978-3-319-39461-9.
- Linda Reeder (2016). *Net Zero Energy Buildings Case studies and lessons learned*. NY, Routledge. 268 p. ISBN 978-1-138-78123-8.
- Michael Pawlyn (2016). *Biomimicry in Architecture*. RIBA Publishing, 165 p. ISBN: 978-1-85946-628-5.
- Mitja Košir (2019). *Climate Adaptability of Buildings Bioclimatic Design in the Light of Climate Change*. Ljubljana, Springer. 243 p. ISBN 978-3-030-18455-1. https://doi.org/10.1007/978-3-030-18456-8_1
- Norbert Lechner (2015). *Heating, Cooling, Lighting Sustainable Design Methods for Architects*, Fourth Edition. New Jersey Wiley. 711 p. ISBN 978-1-118-82172-5
- Sascha Roesler (2022). *City, Climate, and Architecture a Theory of Collective Practice*. Birkhäuser. 276 p. ISBN 978-3-0356-2414-4.
- Susannah Hagan (2001). *Taking Shape a New Contract Between Architecture and Nature*. NY Architectural Press, ISBN 0 7506 4948 8.
- Vaughn Bradshaw (2006). *The Building Environment: Active and Passive Control Systems*. NJ, Wiley. 575 p. ISBN 978-0-471-68965-2
- Wir entwickeln Tageslichtlösungen – seit 1999. (Електронний ресурс). Режим доступу: <https://heliobus.com>
- Глобальне потепління набирає обертів (Електронний ресурс). Режим доступу: <https://www.bbc.com/ukrainian/news-59942946>
- Казаков Г. В. (2010). *Сучасна світлова архітектура: підручник*. Львів: Вид-во «Растр-7». 620 с.
- Кліматичний атлас Львова (2012). Київ: ДП «Картографія». 192 с.

References

- Alexandra Troi (2015). *Zeno Bastian. Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings*. Basel, Passive House Institute, Birkhäuser. 335 p. ISBN 978-3-03821-646-9. <https://doi.org/10.1515/9783038216506>
- Alison G. Kwok, Walter T. Grondzik (2007). *The Green Studio Handbook Environmental strategies for schematic design*. Architectural Press 378 p. ISBN-13: 978-0-7506-8022-6
- C. Alan Short (2017). *The Recovery of Natural Environments in Architecture Air, Comfort and Climate*. NY, Routledge. 378 p. ISBN: 978-0-415-82440-8. <https://doi.org/10.4324/9781315765853>
- Daniel, A. (2020). *Barber Modern Architecture and Climate Design before Air Conditioning*. Princeton University Press. 316 p. ISBN 978-0-691-17003-9.
- Daniel, J. Ryan, Jennifer Ferng, Erik, G. L. (2022). *Heureux Drawing Climate Visualising Invisible Elements of Architecture*. Birkhäuser, Basel. 231 p. ISBN 978-3-0356-2360-4.
- John, D. Aber (2023). *Less Heat More Light Guided Tour of Weather and Climate Change*. Yale University Press. 270 p. ISBN 978-0-300-25943-8. <https://doi.org/10.12987/9780300271201>

- John Banta (2007). *Extreme Weather Hits Home*. Canada, New society publishers. 235 p. ISBN: 978-0-86571-593-6.
- Karsten Voss, Eike Musall (2013). *Net Zero Energy Buildings*. Munich, Hackerbrücke. 192 p. ISBN: 978-3-920034-80-5.
- Kyle Konis (2017). *Stephen Selkowitz Effective Daylighting with High-Performance Facades*. Switzerland, Springer International Publishing, 269p. SBN 978-3-319-39461-9.
- Linda Reeder (2016). *Net Zero Energy Buildings Case studies and lessons learned*. NY, Routledge, 268 p. ISBN 978-1-138-78123-8.
- Michael Pawlyn (2016). *Biomimicry in Architecture*. RIBA Publishing, 165p. ISBN: 978-1-85946-628-5.
- Mitja Košir (2019). *Climate Adaptability of Buildings Bioclimatic Design in the Light of Climate Change*. Ljubljana, Springer, 243 p. ISBN 978-3-030-18455-1. https://doi.org/10.1007/978-3-030-18456-8_1
- Norbert Lechner (2015). *Heating, Cooling, Lighting Sustainable Design Methods for Architects*, Fourth Edition. New Jersey Wiley. 711 p. ISBN 978-1-118-82172-5
- Sascha Roesler (2022). *City, Climate, and Architecture a Theory of Collective Practice*. Birkhäuser. 276 p. ISBN 978-3-0356-2414-4.
- Susannah Hagan (2001). *Taking Shape a New Contract Between Architecture and Nature*. NY Architectural Press. ISBN 0 7506 4948 8.
- Vaughn Bradshaw (2006). *The Building Environment: Active and Passive Control Systems*. NJ, Wiley. 575 p. ISBN 978-0-471-68965-2
- Wir entwickeln Tageslichtlösungen – seit 1999. (Електронний ресурс). Режим доступу: <https://heliobus.com>
- Global warming is gaining momentum (Electronic resource). Access mode: <https://www.bbc.com/ukrainian/news-59942946>
- Kazakov, G. V. (2010). *Modern light architecture*. Textbook; Lviv: Raster-7 Publishing House. 620 p.
- Climate Atlas of Lviv (2012). Kyiv: DP «Cartography». 192 p.