

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ**  
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Кафедра промислового та цивільного будівництва**

**Кваліфікаційна робота/проект**

другий магістерський рівень

(рівень вищої освіти)

на тему: «Зведення світлових куполів, що дозволяють оптимально  
використовувати денне світло у громадських будівлях»

Виконав: студент 2 курсу, групи: 8.1922–пцб-1

спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми промислове і цивільне будівництво

Фисун Арсеній Костянтинович

(прізвище та ініціал)

Керівник Мішук К.М., доц. к.т.н.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

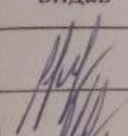
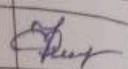

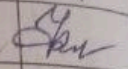
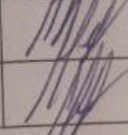
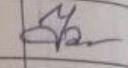
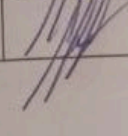
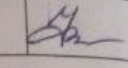
Рецензент проф., д.т.н. Банах В.А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя – 2023 року



## 6. Консультанти розділів роботи

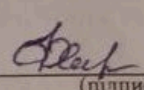
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Мішук К.М., доц. к.т.н.		
Розділ 2	Мішук К.М., доц. к.т.н.		
Розділ 3	Мішук К.М., доц. к.т.н.		
Розділ 4	Мішук К.М., доц. к.т.н.		

## 7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

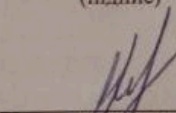
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1.	Освітлення будівель і споруд		
2.	Світлові купола та zenітні ліхтарі		
3.	Світлові куполи. основні положення. переваги та недоліки		
4.	Аналіз систем природного освітлення при реконструкції торговельного центру		

Студент

  
 (підпис)

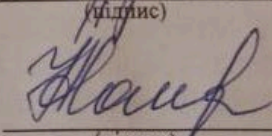
 Фисун А.К.  
 (прізвище та ініціали)

Керівник роботи/проекту

  
 (підпис)

 Мішук К.М.  
 (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

  
 (підпис)

 Данкевич Н.О.  
 (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Фисун Арсеній Костянтинович. Зведення світлових куполів, що дозволяють оптимально використовувати денне світло у громадських будівлях.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник К.М. Мішук. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебня, кафедра промислово та цивільного будівництва, 2023.

В роботі розглядаються питання пов'язані з ефективністю використання природнього освітлення в громадських будівлях за допомогою зведення світлових куполів та zenітних ліхтарів. Приділено увагу оптимізації використання денного світла в будівлях. Розглянуто переваги та недоліки встановлення світлових куполів. Наведено приклади використання світлових куполів та zenітних ліхтарів в світовій будівельній сфері. Проведено аналіз ефективних методів і технологій зведення світлових куполів у цивільних спорудах з метою оптимального використання денного освітлення.

Досліджено сучасні технології та методи зведення світлових куполів у будівлях та їхній вплив на якість освітлення і енергоефективність.

Проведено аналіз витрат на зведення світлових куполів і порівняно їх з економічними вигодами від зменшення споживання електроенергії і підтримки освітлення.

Розробка оптимальних рішень для покращення якості освітлення, зменшення витрат на електроенергію і сприяння сталому розвитку в будівництві шляхом використання світлових куполів.

**Ключові слова:** модернізація, освітлення, світловий купол, енергоефективність, сучасні матеріали, енергоефективний розрахунок.

Список публікацій магістранта:

1. Фисун А.К., Пастухова С.В., Мішук К.М. Зведення світлових куполів, що дозволяють оптимально використовувати денне світло у громадських будівлях. *Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України: зб. тез всеукр. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 17-20 жовт. 2023р. Запоріжжя, 2023. С.*

## ABSTRACT

Fisun Arseniy Konstantinovich. Erection of light domes that allow optimal use of daylight in public buildings. Qualification graduation work for obtaining a master's degree in the specialty 192 Construction and Civil Engineering, supervisor K.M. Mishuk. Zaporizhzhya National University. Engineering Educational and Scientific Institute. Y.M. Potebnya, Department of Industrial and Civil Engineering, 2023.

The paper discusses issues related to the efficiency of the use of natural light in public buildings through the construction of light domes and skylights. Attention is paid to optimizing the use of daylight in buildings. The advantages and disadvantages of installing light domes are considered. Examples of the use of skylights and skylights in the world construction sector are given. An analysis of effective methods and technologies for the construction of light domes in civil structures in order to optimize the use of daylight is carried out. Modern technologies and methods of erecting light domes in buildings and their impact on the quality of lighting and energy efficiency are studied. An analysis of the costs of erecting light domes and comparing them with the economic benefits of reducing electricity consumption and maintaining lighting is carried out. Development of optimal solutions to improve the quality of lighting, reduce energy costs and promote sustainable development in construction through the use of light domes.

Keywords: modernization, lighting, light dome, energy efficiency, modern materials, energy-efficient calculation.Список публікацій магістранта:

1. Fisun A.K., Pastukhova S.V., Mishuk K.M. Erection of light domes that allow optimal use of daylight in public buildings. Topical Issues of Sustainable Scientific-Technical and Socio-Economic Development of the Regions of Ukraine. Theses All-Ukrainian. Scientific and Practical Conf., Zaporizhzhia, 17-20 October. 2023. Zaporizhzhia, 2023. pp.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	9
1 ОСВІТЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД .....	13
1.1 Природне та штучне освітлення .....	13
1.2 Вибір систем природного освітлення .....	15
1.3 Класифікація будівель в залежності від вимог світлового середовища .....	20
2 СВІТЛОВІ КУПОЛА ТА ЗЕНІТНІ ЛІХТАРІ.....	23
2.1 Історія використання зенітних ліхтарів.....	23
2.2 Зенітні ліхтарі.....	25
2.2.1 Причини популярності або переваги сучасних зенітних ліхтарів.....	26
2.2.2 Функції зенітних ліхтарів.....	29
2.2.3 Дизайн та матеріали.....	30
2.2.4 Монтаж зенітних ліхтарів .....	35
3 СВІТЛОВІ КУПОЛИ. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ. ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ .....	38
3.1 Світлові куполи основні положення .....	38
3.1.1 Види та конструкції світлових куполів .....	41
3.1.2 Переваги світлових куполів .....	45
3.1.3 Гігієнічні переваги світлових куполів .....	46
3.1.4 Недоліки світлових куполів .....	48

3.1.5	Реконструкція будівель під монтаж світлових куполів .....	49
3.2	Розрахунки світлових куполів .....	50
3.2.1	Розрахунок економії при встановленні світлових куполів.....	52
3.3	Проектування верхнього природного освітлення.....	54
3.3.1	Визначення площі верхніх світлових прорізів житлових та громадських будівель .....	56
4	АНАЛІЗ СИСТЕМ ПРИРОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТОРГІВЕЛЬНОГО ЦЕНТРУ .....	60
4.1	Аналіз природного світлового середовища приміщень.....	60
	ВИСНОВОК.....	72
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	75



## ВСТУП

### **Актуальність теми дослідження.**

Екологічні питання: Зниження споживання електроенергії є актуальною задачею для зменшення викидів парникових газів і збереження природних ресурсів. Використання денного освітлення завдяки світловим куполам може допомогти зменшити споживання електроенергії для освітлення споруд.

Здоров'я і комфорт: Недостатнє освітлення в приміщеннях може впливати на зір, настрій і продуктивність людей. Використання природного світла завдяки світловим куполам може покращити якість освітлення та сприяти комфорту і здоров'ю користувачів.

Зменшення витрат: Освітлення великих цивільних споруд, таких як торгові центри, офіси, архітектурні пам'ятки тощо, може займати значну частину бюджету на оплату електроенергії. Встановлення світлових куполів дозволяє зменшити витрати на освітлення та підтримку системи освітлення.

Сучасний архітектурний дизайн: Світлові куполи можуть стати не лише ефективним засобом освітлення, але й частиною архітектурного дизайну споруди. Вони надають будівлі унікальний вигляд і створюють архітектурну цінність.

Законодавчі та стандартні вимоги: З плином часу у багатьох країнах зростає регулювання щодо використання енергоефективних технологій, включаючи освітлення. Багато стандартів та нормативних актів вимагають встановлення способів зменшення споживання енергії, і світлові куполи можуть відповідати цим вимогам.

Усі ці фактори підкреслюють актуальність теми зведення світлових куполів для оптимального використання денного освітлення в цивільних спорудах. Впровадження таких технологій може призвести до покращення

якості життя, заощадження ресурсів і зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

**Мета дослідження.** Метою даного дослідження є вивчення, розробка та аналіз ефективних методів і технологій зведення світлових куполів у цивільних спорудах з метою оптимального використання денного освітлення. Конкретні завдання включають:

Аналіз поточного стану: Дослідити сучасні технології та методи зведення світлових куполів у будівлях та їхній вплив на якість освітлення і енергоефективність.

Розробка дизайну і конструкції: Розробити оптимальні дизайнерські та інженерні рішення для світлових куполів, які б враховували специфіку будівель та місцеві умови.

Вивчення ефективності: Провести дослідження щодо ефективності використання світлових куполів в конкретних типах цивільних споруд, враховуючи зменшення споживання енергії та покращення здоров'я та комфорту користувачів.

Оцінка вартості і вигідності: Провести аналіз витрат на зведення світлових куполів і порівняти їх з економічними вигодами від зменшення споживання електроенергії і підтримки освітлення.

Впровадження та рекомендації: Розробити рекомендації для будівельних компаній, архітекторів та власників споруд щодо впровадження світлових куполів у нових і існуючих будівлях.

Мета дослідження полягає в знаходженні оптимальних рішень для покращення якості освітлення, зменшення витрат на електроенергію і сприяння сталому розвитку в будівництві шляхом використання світлових куполів.

**Об'єкт дослідження.** Об'єктом дослідження є цивільні споруди та світлові куполи, які встановлюються у цих спорудах для оптимального використання денного освітлення. Обрання цього об'єкта визначає сферу

дослідження та фокусує увагу на проблемах, пов'язаних із зведенням світлових куполів у цивільних будівлях.

**Предмет дослідження.** Предметом дослідження є світлові куполи та їхнє використання у цивільних спорудах з метою оптимального використання денного освітлення

**Методи дослідження..** Аналіз теоретичних і практичних рекомендацій з зведення світлових куполів з використанням нормативних документів, законодавчих актів, визначення факторів енергетичних витрат.

**Наукова новизна.** Розробка нових конструкцій світлових куполів: Високоєфективні та інноваційні конструкції, які покращують розподіл денного світла в будівлі та забезпечують максимальну енергоефективність.

**Використання нових матеріалів:** Використання нових матеріалів з високими світлопроникними властивостями, які дозволяють зменшити втрати денного світла та покращити його якість.

**Розробка систем керування освітленням:** Впровадження інтелектуальних систем керування, які автоматично регулюють і адаптують освітлення залежно від умов, потреб користувачів і погодних умов.

**Створення методів оцінки комфорту та здоров'я:** Розробка нових методів та метрик для оцінки впливу природного освітлення через світлові куполи на комфорт і здоров'я користувачів приміщень.

**Дослідження екологічного впливу:** Проведення глибокого аналізу впливу використання світлових куполів на довкілля, враховуючи зменшення енергоспоживання і викиди парникових газів.

**Аналіз вартості та вигод:** Оцінка вигод та затрат на встановлення та експлуатацію світлових куполів в контексті зменшення витрат на електроенергію та поліпшення якості освітлення.

**Вивчення впливу на архітектурний дизайн:** Дослідження, як використання світлових куполів може вплинути на архітектурний дизайн будівель та створити нові можливості для архітектурної експресії.

**Апробація результатів дослідження.** Основні положення роботи докладалися в 2023 році на всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» (Запоріжжя, 2023р.) за результатами якої опублікована збірка тез доповідей.

**Структура і об'єм магістерської роботи.** Магістерська робота складається з вступу, розділів, висновків, списку використаних джерел. Повний об'єм магістерської роботи складає 75 сторінки тексту, у тому числі 24 рисунків, 10 таблиць. Список використаних джерел містить 15 найменувань.

# 1 ОСВІТЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

## 1.1 Природне та штучне освітлення

Завданням природного та штучного освітлення будівель є вивчення умов, які визначають створення оптимального світлового режиму в приміщеннях відповідно до функціональних процесів, що в них відбуваються, а також забезпечення архітектурної виразності міст, окремих будівель і споруд.

Ефективність освітлення в міському просторі та приміщеннях пов'язана, передусім, із забезпеченням комфортної видимості та сприйняття архітектурних форм, простору та об'єктів людиною.

Для більшості будівель важливий світловий режим, який забезпечує необхідну освітленість, рівномірне освітлення об'єкта або приміщення, оптимальний яскравісний контраст між об'єктом і фоном, а також відсутність блиску. Спектральний склад світла, колір огорожуючих конструкцій та кольорове обладнання також суттєво впливають на якість світлового режиму.

Оптимальний світловий режим в приміщеннях необхідний як засіб створення нормальних умов праці, але також як фактор, що має велике санітарно-гігієнічне значення для зорових органів та психіки людини.

Для досягнення архітектурної виразності міст, окремих будівель, споруд і приміщень використовується природне та штучне освітлення, яке одночасно виконує екологічну, естетичну і економічну функції.

Забезпечення світлового комфорту досягається за рахунок раціонально вибраних кількісних та якісних характеристик природного та штучного освітлення, які контролюються нормами освітлення.

Значущу роль у вирішенні завдань, пов'язаних із освітленням, відіграє економічна доцільність, пов'язана з врахуванням експлуатаційних витрат на

його утримання, оскільки будь-яке надмірне збільшення площі світлових прорізів призводить до зростання експлуатаційних витрат на опалення, ремонт та очищення оглядових вікон. Крім того, при великих площах вікон є ризик перегріву приміщень в літній період, особливо для південних регіонів.

Розробка проекту освітлення здійснюється наступним чином:

- з урахуванням особливостей зорової роботи вибирають необхідні нормативні рівні освітленості;
- визначають спектр і динаміку освітлення, що забезпечують необхідну передачу кольору та емоційну атмосферу;
- усувають або обмежують сліпучість та дискомфорт, що виникають при потраплянні в очі прямих або відбитих променів сонця чи штучного світла;
- вибирають розташування світлових прорізів, освітлювальних приладів та оброблювальних матеріалів, які забезпечують комфортний розподіл яскравості і кольору в просторі;
- вирішують завдання, пов'язані із створенням архітектурного світлового образу, що виникає внаслідок взаємодії архітектурного об'єкта і світла.

У внутрішніх приміщеннях архітектурний світловий образ залежить від функціонального призначення приміщень. У зрительних залах цей образ повинен створювати враження святковості та урочистості; у музеях та картинних галереях - відчуття відокремленості від зовнішнього світу та концентрації; у виробничих приміщеннях - ілюзію природності світлового середовища.

Прикладами досягнутої гармонії архітектури і світла служать давньогрецькі та давньоримські споруди. У грецькій архітектурі сонячне світло використовувалося як засіб вираження тектоніки храму. За допомогою світла та тіні підтверджувалася його структура і, передусім, його конструктивна та пластична основа.

Великий інтерес викликає світлова організація простору давньоруських соборів і церков, де самою світлою частиною інтер'єру є середній хрест - центр композиції. Цим створювалося розподіл яскравостей і напрямок світла, яке асоціювалося з "божественним" світлом, що ллється зверху.

У сучасній архітектурі виразність об'єкта досягається поєднанням природного і штучного світла, використанням сучасних світлотехнічних і будівельних матеріалів та конструкцій, оригінальних оптичних систем і нових архітектурних форм.

## **1.2 Вибір систем природного освітлення**

Вибір системи природного освітлення приміщень та світлових проїомів є важливим фактором, який визначає якість середовища та сприяє покращенню санітарно-гігієнічних умов для життєдіяльності людини.

Природне освітлення проектується, зазвичай, у приміщеннях з постійним перебуванням людей. При виборі систем природного освітлення особливу вагу мають два показники - рівень освітленості та якість освітлення приміщень.

Для виробничих приміщень необхідний рівень освітленості визначається характером та точністю виконуваної зорової роботи, а для громадських приміщень (зрілельні зали, фойє, вокзали і т.д.) - переважно естетичними і психологічними вимогами.

Якість природного освітлення визначається такими показниками, як розподіл яскравості в оточуючому просторі, нерівномірність освітлення, спектральний склад світла, напрямок і властивості тіней.

Для внутрішніх інтер'єрів приміщень застосовують три системи природного освітлення: бічне, верхнє і комбіноване (див. рис. 1.1).

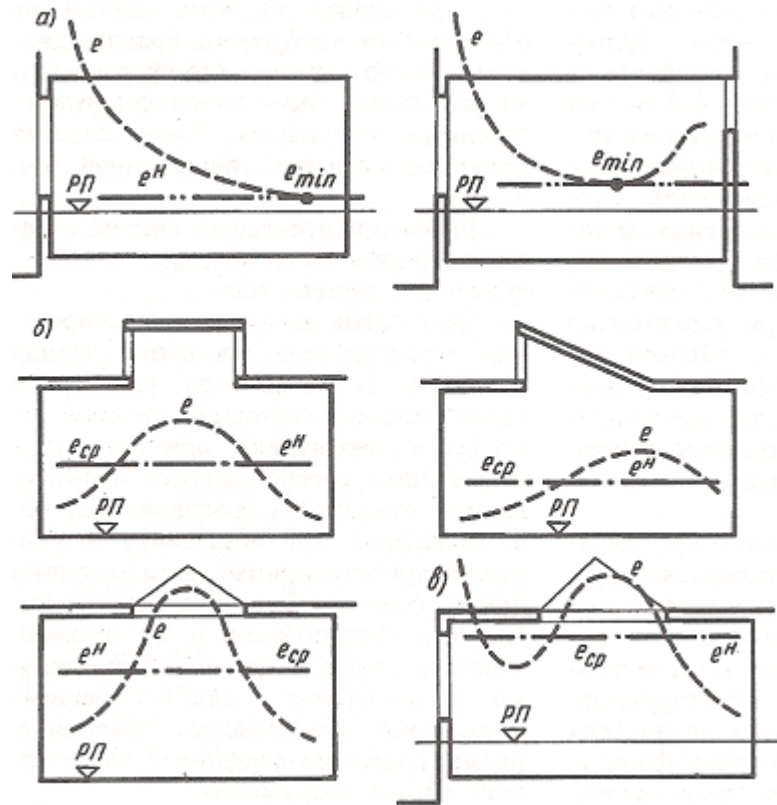


Рисунок 1.1 – Системи природного освітлення приміщень

а) бічне освітлення, одностороннє (ліворуч) та двостороннє (праворуч): б) верхнє освітлення, П-подібний, зенітний (ліворуч) і шедовий (праворуч) ліхтарі; в) комбіноване (бічне плюс верхнє) освітлення

Система бічного освітлення поділяється на одно-, дво-, трьохстороннє та кругове. Верхнє освітлення може бути сформоване різними пристроями - від повністю світлопропускних покриттів до окремих точкових ліхтарів і світлових шахт. Система комбінованого освітлення представляє собою поєднання бічного і верхнього освітлення.

Вибір типу природного освітлення залежить від технологічного процесу, умов зорової роботи, обсягово-планувального та конструктивного рішення будівлі, а також світлокліматичних особливостей місця будівництва і економічних факторів.

Бічне освітлення природним світлом слід застосовувати в багатопверхових житлових, громадських і виробничих будівлях, а також в



одноповерхових житлових, громадських і виробничих будівлях, де відношення глибини приміщень  $d_p$  до висоти верхньої грані світлового вікна над умовною робочою поверхнею  $h_{01}$  не перевищує 8 ( $d_p / h_{01} \geq 8$ ).

Використання верхнього та комбінованого природного освітлення зазвичай застосовується у громадських будівлях одного поверху великої площі (наприклад, криті ринки, стадіони, виставкові павільйони тощо), а також у багатоповерхових виробничих приміщеннях на одному рівні.

Система природного освітлення повинна відповідати таким вимогам:

- забезпечувати нормоване значення коефіцієнта природного освітлення у розрахунковій точці приміщення та на робочих місцях;
- враховувати встановлені критерії рівномірності розподілу коефіцієнта природного освітлення в робочих зонах приміщення;
- максимізувати час використання природного світла.

У випадку, якщо жодна з викладених систем природного освітлення не задовольняє вимогам щодо рівня та якості освітлення, її можна доповнити штучним освітленням, формуючи таку систему як комбіновану.

Під час проектування природного освітлення необхідно:

- вибирати тип, розміри та розташування світлових прорізів у стінах і покрівлях так, щоб забезпечити нормовані рівні освітлення;
- захищати робочі зони від сліпучого блиску прямих і відбитих сонячних променів;
- узгоджувати вибрані світлові прорізи та їх розташування з архітектурними вимогами (просторовість, тектоніка, ритм, колірне вирішення та характер споруди).

Вибір типу та розташування світлових прорізів розглядається на підставі світлотехнічних розрахунків та норм освітлення приміщень.

Для верхнього освітлення приміщень будівель використовують світлові ліхтарі (див. рис. 1.2).

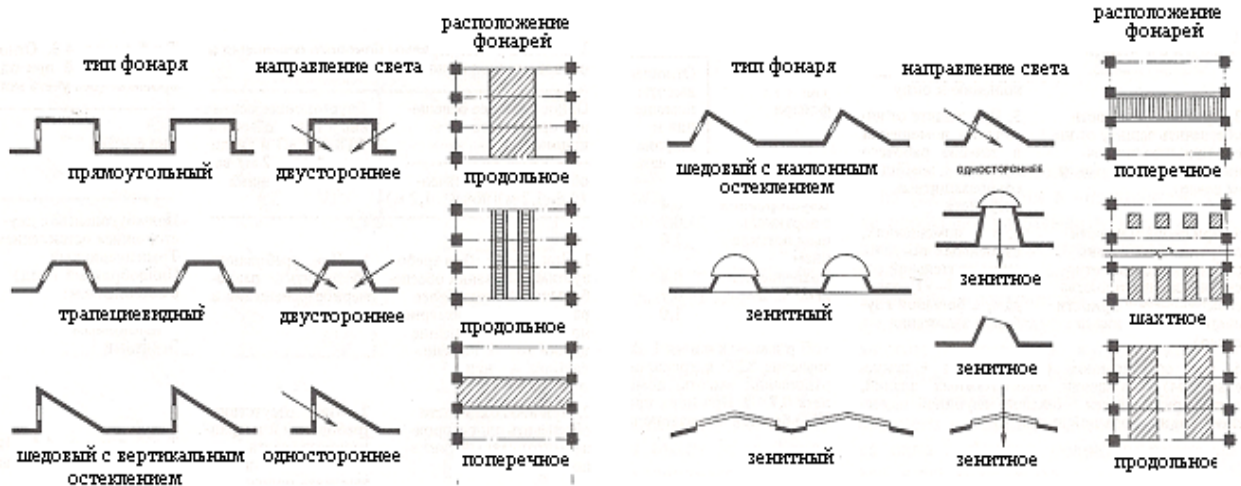


Рисунок 1.2 – Класифікація типів ліхтарів та їх розташування на покрівлі

1 прямокутний ліхтар; 2- трапецієподібний;

3 - пилкоподібний (шедовий) з вертикальним склінням;

4 - пилкоподібний з похилим склінням (шед); 5, 6 - зенітні ліхтарі

При виборі типу світлових вікон і їх розташування у приміщенні слід керуватися даними про їх відносну активність, пропорціями та відстанню одне від одного з метою забезпечення в приміщенні нормованої нерівномірності освітлення.

Наведено приклади відносної світлової активності різних типів світлових ліхтарів при їхній площі, що становить 10% площі підлоги (див. рис. 1.3).

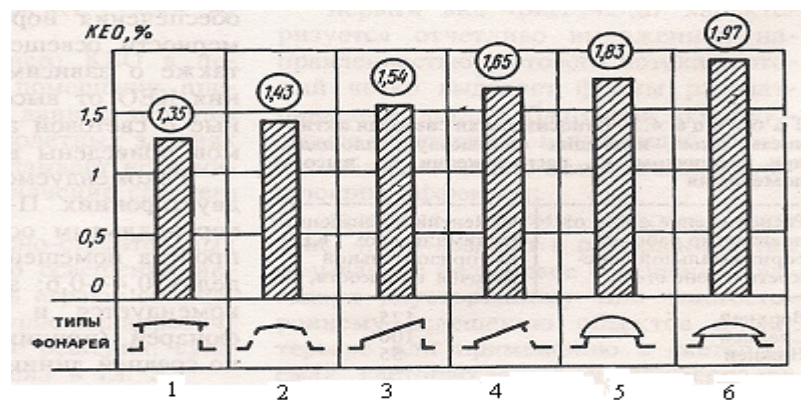


Рисунок 1.3 - Відносна світлова активність різних типів ліхтарів при їх площі, що становить 10% площі підлоги

Дані щодо світлової активності світлових ліхтарів подано у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Відносна світлова активність ліхтарів при однаковій площі світлопройомів

Тип ліхтаря	Зміна значення середнього КЕО на горизонтальній робочій площині, %
Прямокутний із двостороннім склінням	100
Трапецієподібний	160
Пилоподібний (шед) зі склінням вертикальним: похилим:	120 130
Зенітний	230

При використанні ліхтарного освітлення приміщень велике значення має висота освітлюваного приміщення. З даних таблиці 1.2 видно, що в багатопрогінних будівлях висота приміщення не суттєво впливає на значення середнього коефіцієнта природного освітлення (середнього КЕО). У той час як у однопрогінних будівлях зі збільшенням відношення висоти до ширини прогону спостерігається зниження величини середнього КЕО майже в 2 рази.

Таблиця 1.2 Зміна середнього КЕО в залежності від висоти приміщення

Тип ліхтаря	Співвідношення висоти приміщення до ширини проліта	Значення середнього КЕО,%	
		Один проліт	Три та більше проліта
Двобічний з вертикальним склінням	0,4	100	110
	0,7	65	100
	1,0	50	80
Трапецієподібний	0,4	100	110
	0,7	75	100
	1,0	65	90

### 1.3 Класифікація будівель в залежності від вимог світлового середовища

При розробці природного освітлення важливо враховувати не лише архітектурну роль світлопрозорих конструкцій, які вносять свій ритм у членування фасадів, але й вимоги до створення оптимального світлового середовища у приміщеннях в залежності від функціонального призначення будівель. Класифікація будівель з виділенням чотирьох найбільш характерних груп відповідно до вимог до світлового середовища подана в таблиці 1.3.

Згідно з цією класифікацією, природне освітлення будівель, що належать до першої групи, має бути спроектовано так, щоб світло підкреслювало архітектурне значення центральних (головних) приміщень і служило своєрідним провідником при русі відвідувачів до центру будівлі.

Таблиця 1.3 – Класифікація будівель за вимогами до світлового середовища

Група будівель	Вимоги світлового середовища	Приклади
I	Визначаються переважно ідейно-художніми завданнями	<p>Будинки меморіальної архітектури</p> <p>Будинки парламентів, судів, влади</p> <p>Палаци культури, науки та мистецтва</p> <p>Культові споруди</p>
II	Функціональні з урахуванням зорової адаптації відвідувачів	<p>Панорами, діарами</p> <p>Галереї та музеї</p> <p>Виставкові будівлі</p> <p>Спортивні зали</p>
III	Визначаються високими вимогами до забезпечення умов зорової працездатності у поєднанні з естетичними та гігієнічними вимогами	<p>Будинки вищих та середніх навчальних закладів</p> <p>Школи</p> <p>Будинки проектних та науково-дослідних інститутів</p> <p>Виробничі будівлі та офіси</p>

Продовження таблиці 1.3		
IV	Визначаються в основному психологічними, естетичними та гігієнічними вимогами	Будівлі лікувальних закладів, санаторіїв та будинків відпочинку Будівлі дитячих установ Житлові будинки

## 2 СВІТЛОВІ КУПОЛА ТА ЗЕНІТНІ ЛІХТАРІ

### 2.1 Історія використання зенітних ліхтарів

Зенітні ліхтарі, як елемент архітектури, стали застосовуватися ще в середньовіччі. Їх використання обмежувалося складністю будівництва і великою трудомісткістю, що дозволяло використовувати їх лише при спорудженні складних архітектурних споруд, таких як кафедральні собори. Встановлений на вершині купола собору, зенітний ліхтар надає будівлі завершений вигляд і надає їй естетичну привабливість. Крім того, зенітні ліхтарі допомагають освітлювати внутрішні приміщення, звільняючи від необхідності створювати світлові отвори в стінах архітектурної споруди. Високий рівень освітленості досягається завдяки тому, що зенітні ліхтарі пропускають на 1,5 рази більше світла, ніж аналогічні за площею плоскі вікна.

З точки зору конструкції, зенітні ліхтарі можуть значно відрізнитися, надаючи архітектору творчу свободу і можливість гармонійного впровадження даного елемента в проект будь-якої будівлі. Зазвичай це світловий проїм, розташований в площині даху. Встановлення зенітного ліхтаря виконується на плити або балки верхньої частини споруди, а сам ліхтар представляє собою світлопрозору конструкцію у вигляді купола або свода. Також можуть використовуватися відкриті зенітні ліхтарі, які, крім освітлення, служать для вентиляції приміщень та прилеглої території.

Ліхтарі в архітектурі середньовіччя стали відомі через їх використання при будівництві кафедральних соборів у той період. Пізніше, в епоху Відродження і Бароко, ліхтарі отримали форму купольоподібного надбудови, прикрашеної багатьма декоративними елементами, фресками, колонами.

Зенітний ліхтар не обов'язково споруджувався для освітлення внутрішніх приміщень; він також міг виконувати виключно художню функцію, прикрашаючи будівлю.

Деякі знамениті архітектурні споруди, де використовуються зенітні ліхтарі, включають Рейхстаг в Берліні (див. рис. 2.1), Собор Святого Петра в Римі (див. рис. 2.2), Будинок Зінгера в Санкт-Петербурзі (див. рис. 2.3).

Будівля Рейхстага, реконструйована Фостером, зберігає всі етапи історії і має високотехнологічне обладнання. Зенітний ліхтар Рейхстага представляє собою вражаючу конструкцію, обладнану великою кількістю керованих дзеркал. Завдяки автоматичному зміщенню кута нахилу дзеркал, отриманий світло завжди ефективно потрапляє в зал засідань парламенту.

Будівельники в періоди Середньовіччя, Відродження і пізніше вкладали значні зусилля для створення таких величних споруд. Сучасні технології дозволяють воздвигати зенітний ліхтар майже будь-якої форми та розміру в мить і з мінімальними зусиллями. Вартість установки є доступною за будівельними витратами, а практична користь для багатьох вже очевидна. Зенітні ліхтарі зараз широко використовуються при будівництві торгових центрів, спортзалів та інших громадських приміщень, дозволяючи вирішувати питання освітлення, вентиляції та протипожежної безпеки будівель.



Рисунок 2.1 - Рейхстаг, Берлін





Рисунок 2.2 – Базилика Святого Петра, Ватикан



Рисунок 2.3 – Будинок Зінгера, Санкт Петербург

## 2.2 Зенітні ліхтарі

В архітектурі існує кілька значень терміна "ліхтар". Одне з них визначає його як "відкриту балкову конструкцію, що завершує будівлю і служить для освітлення або вентиляції". Такі конструкції зустрічалися вже в середньовічних спорудах, особливо часто - в соборах. Пізніше під словом

"ліхтар" стали розуміти відкритий верхній ярус вежі, на якому розміщували сигнальні вогні. В період Відродження і бароко термін "ліхтар" поширився на невелику куполоподібну надбудову з декоративними аркадами, яка іноді використовувалася для освітлення, але частіше мала декоративне призначення. Зовсім нещодавно введений термін "зенітний ліхтар" означає прозору частину дахового покриття, призначену для верхнього освітлення в сучасній архітектурі. У радянському Союзі зенітні ліхтарі були невід'ємною частиною промислових будівель. Навіть в 1970-1980-х роках, не дивлячись на скромність тоді популярних конструкцій типу "П", без стрічкових ліхтарів не будувався жоден промисловий об'єкт: необхідність та перевага верхнього освітлення вже тоді були очевидні. Інші типи будівель і споруд, як правило, обходилися без цього архітектурного елемента.

### **2.2.1 Причини популярності або переваги сучасних зенітних ліхтарів**

Сучасні зенітні ліхтарі набули великої популярності і виявилися вельми перевагами у порівнянні із загальним ставленням до "світла в зеніті" в минулому. Світлопропускаючі люки стали дуже поширеним елементом не лише виробничих, а й житлових та громадських будівель (спортивних, театральних-концертних, навчальних, адміністративних, торгових, музейних і так далі). І цей перелік можна продовжувати. Причин такого широкого поширення, в суті, рідкісного (крім дахів цехів) архітектурного елемента в нещодавньому минулому, доволі багато. Серед основних можна виділити архітектурні, технічні, технологічні, економічні та, в деяких випадках, естетичні причини. Кожна заслуговує на невелике пояснення.

- Архітектурні. Експерименти і розрахунки є однозначними -

денний світло, який проходить через світлопропускаючу конструкцію в zenіті, надає приміщенню більше освітлення, ніж світло, що падає з вікон такої ж площі. При цьому світло, що проникає через дах, рівномірно освітлює всю поверхню, над якою розташований zenітний ліхтар. У той час як бічне освітлення завжди нерівномірне. Його інтенсивність різко зменшується по мірі проникнення вглиб приміщення. Світло, що йде через дах, корисніше впливає на людину, ніж те, яке йде з боку, оскільки світловий потік, направлений перпендикулярно підлозі, не створює осліплюючого ефекту і, як правило, надає менш контрастне освітлення. Невідомою перевагою zenітних ліхтарів є можливість їх встановлення практично в будь-якому місці даху, що дозволяє моделювати необхідну кількість світла для будівель різних типів.

- Технічні № 1. Серед причин цього роду слід вказати не лише організацію верхнього освітлення - відкриваючі zenітні ліхтарі можна використовувати для організації витяжної вентиляції.

- Технічні № 2. Спеціальні відкриваючі zenітні ліхтарі можуть забезпечити димовідведення (Smoke out), підвищуючи безпеку будівлі в надзвичайних ситуаціях. Протипожежне вентиляційне пристрій є складним обладнанням, встановленим в конструкції даху (або її частини над найважливішим з точки зору пожежної концепції приміщенням, наприклад, складом готової продукції). Протягом певного періоду з моменту початку пожежі система забезпечує вивід тепла та продуктів горіння і заважає їх поширенню на висоті не менше 2 м над поверхнею, по якій можуть рухатися люди. За рахунок збільшення кількості використовуваних клапанів цю висоту можна збільшувати, якщо необхідно забезпечити безпеку, наприклад, стелажів з продукцією. Протипожежні вентиляційні заслінки (одинарні та подвійні) можна використовувати як точкові, розкидані по площі даху пристрої, або вбудовувати в конструкцію ліхтаря. Останнім часом, Останнім часом, завдяки зусиллям розробників, які довели конструкцію zenітного

ліхтаря з функцією вентиляції і виведення диму до досконалості, саме поєднана конструкція отримує найбільше поширення (наприклад, в продольних ліхтарях, двосхилих ліхтарях, пірамідах і, передусім, в ліхтарях з полу сферичним куполом).

- Технологічні. Нові матеріали і технології виготовлення дозволили зробити ліхтарі легкими, міцними, безпечними, добре ізолюючими тепло, красивими і при цьому досить дешевими. Ці якості надали можливість повністю змінити ставлення до "світла в зеніті" і забезпечили ліхтарям дуже високу популярність при будівництві не лише виробничих, але і багатьох інших типів будівель.

- Економічні. І при всіх архітектурно-технічних перевагах верхнього світла, при тому, що це одна з найпередовіших технологій створення системи природного освітлення внутрішніх периметрів, зенітні ліхтарі відрізняють мінімальні витрати на їх установку та обслуговування. Тобто все, про що говорилося вище, досягається найбільш економічним, порівняно з будь-якими іншими відомими рішеннями, способом. Застосування зенітних ліхтарів та систем природної вентиляції та виведення диму знижують витрати на освітлення, зменшують витрати на опалення, скорочують витрати на вентиляцію об'єкта, дозволяють у випадку пожежі зберегти як майно, так і саме будівлею від перегріву та обвалення. В результаті цього встановлення зенітних ліхтарів та систем виведення диму (за даними деяких компаній) окупає себе через 3-5 років завдяки зменшенню витрат на експлуатацію об'єкта.

- Естетичні. Грамотно виконані зенітні ліхтарі надають будівлі сучасний, привабливий вигляд, створюють дивовижне природне освітлення і неповторне відчуття простору та легкості... що все частіше стає певним "атрибутом красивого життя". Ймовірно, саме тому для житлових будинків (пентхауси, котеджі, мансарди, зимові сади...) або приміщень офісів великих успішних компаній ліхтар став певним показником успіху, рівня власника,

модним аксесуаром. Таким чином, при проектуванні будівель найрізноманітніших призначень все частіше з'являються рішення з зенітними ліхтарями, і саме такі рішення в багатьох випадках користуються вподобанням замовників.

### **2.2.2 Функції зенітних ліхтарів**

Основна функція зенітних ліхтарів як конструктивного елемента даху – ефективне освітлення приміщення природнім світлом. Світлова активність зенітних ліхтарів у 2-2,5 рази перевершує світлову активність вертикальних вікон: потік світла через дах набагато інтенсивніший та рівномірний.

Не менш важлива функція ліхтарів – природна вентиляція приміщень без витрат електроенергії. Започаткований цим процес ґрунтується на простому принципі: теплий повітря піднімається вгору і виходить на вулицю. Зенітні ліхтарі з функцією вентиляції успішно запобігають тепловому нагріванню будівлі влітку від сонячної радіації та проникненню в приміщення жорсткого УФ-випромінювання за умови застосування спеціального захисного покриття (плівки).

І, нарешті, ці ліхтарі служать для запобігання задимлення приміщень під час пожежі за умови правильного монтажу та дії як системи. Спеціальний механізм ліхтаря дозволяє в потрібний момент відведення газів, які утворюються при горінні.

Як відомо, під час пожежі 80% людей гинуть не від вогню, а від отруєння токсичним димом. Основне призначення ліхтарів-клапанів виведення диму: забезпечити природний вихід диму через дах під час пожежі або задимлення, запобігти загибелі людей від удушення, збільшити час безпечної евакуації та одночасно зберегти достатню видимість для

можливості порятунку людей, скоротити руйнівне впливання вогню та диму на майно і обладнання. Пристрої спрацьовують від іонізаційних (або аналогічних) датчиків і активуються пневматичними домкратами при температурі в приміщенні вище 68, 93, 110, 143 і 185 °С. Функція швидкого та своєчасного виведення диму має велике значення, якщо в приміщенні знаходиться дороге вартісне обладнання, яке при тривалому задимленні може вийти з ладу.

Розрізняють два типи зенітних ліхтарів: нерозбірний (глухий) та розбірний. Деякі моделі розбірних ліхтарів можна використовувати як для виведення диму, так і для вентиляції приміщень. Пневматична система управління ліхтарями дозволяє відкривати їх на рівні людського зросту, поодинці або групами.

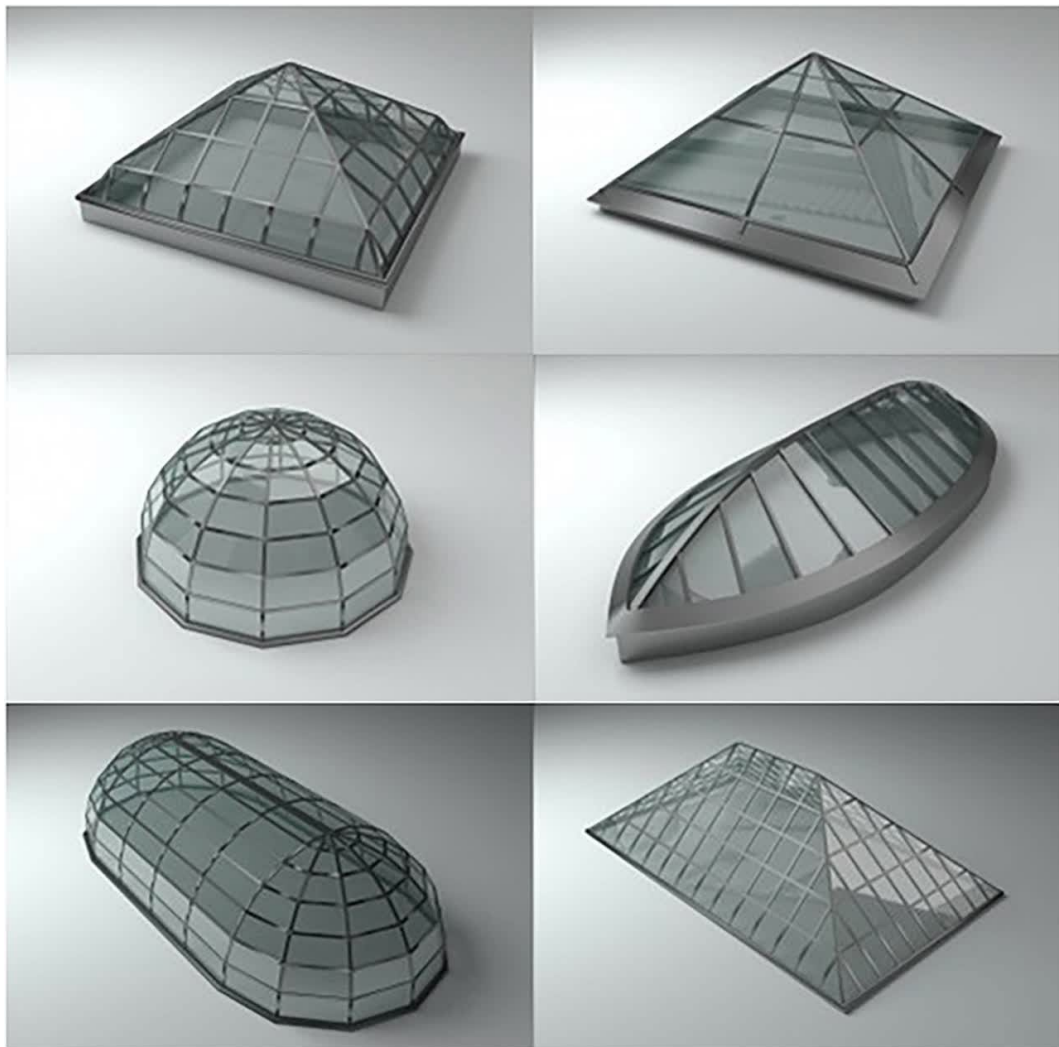
### **2.2.3 Дизайн та матеріали**

Стандартний дизайн куполів зенітних ліхтарів – слабко вигнутий, при цьому висота купола відноситься до загального розміру ліхтаря. Ця форма "півсфери" призначена переважно для проектів, де аспект естетики відіграє переважну роль.

Крім круглих виробляють ліхтарі квадратні, прямокутні, трикутні або восьмикутні форми. Купол також може мати форму піраміди різних розмірів та дизайну. Існують особливі зенітні ліхтарі великих розмірів – так звані king size, – які призначені для встановлення у великих отворах даху (див. рис. 2.4). Конструкція складається з купола (світлопрозорої частини) і несучої рами (з'єднання між куполом і дахом). Також загальними елементами є захисна сітка і механізми відкривання (для відкриваючихся конструкцій).

В якості матеріалу для пропускання світла можуть використовуватися

силікатне скло, стільниковий полікарбонат, монолітний акриловий чи полікарбонатний лист, поліефірні композиції, причому купол може складатися з декількох шарів, бути прозорим, матовим чи тонованим в залежності від вимог до освітленості приміщення. Найбільш поширеними є купола з полікарбонату та акрилові купола. Це популярність базується на оптимальному співвідношенні ціни та параметрів матеріалу, перш за все теплової ізоляції.



Рисонок 2.4 - Різновиди дизайну зенітних ліхтарів:  
форма виготовляється у вигляді призми, піраміди, купола, кристала  
і т.д.

У полікарбоната найвища механічна міцність порівняно з іншими матеріалами. Стільниковий полікарбонат має низький коефіцієнт проникнення тепла при невеликій масі. Полікарбонат може мати різні кольори та ступені прозорості. Він дуже чутливий до впливу УФ-випромінювання, тому виробники випускають матеріали з захисним покриттям (див. рис. 2.5).

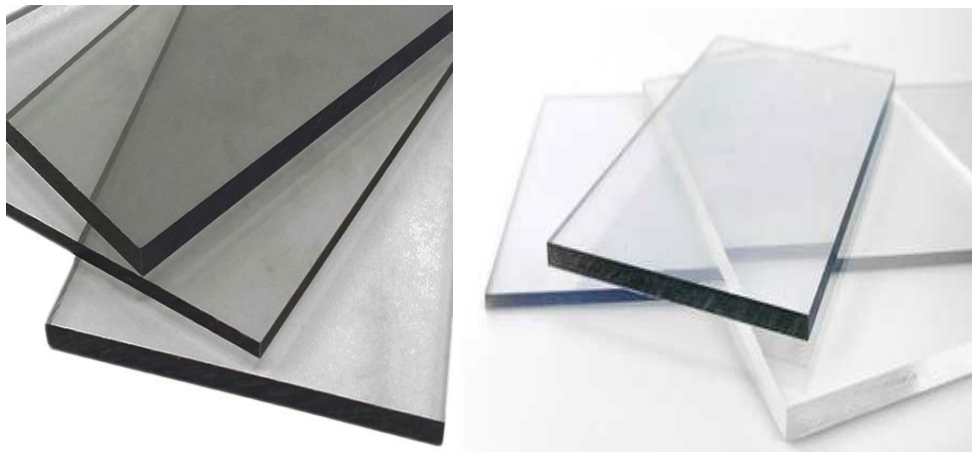


Рисунок 2.5 - Світлопроникний матеріал стільниковий монолітний полікарбонат



Рисунок 2.5.1 - Приклад монолітного полікарбонату в дії

Характерні риси акрила – висока прозорість і легкість формування. Акрилові куполи не такі міцні, як полікарбонатні або поліефірні, проте вони стійкіші, ніж скло. Акрил нечутливий до УФ-випромінювання. Для забезпечення достатньої теплоізоляції купол роблять з декількох шарів: два,



три і більше (див. рис. 2.6).

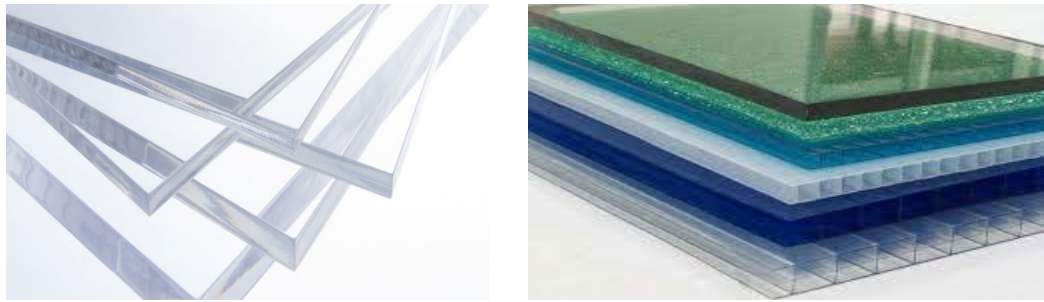


Рисунок 2.6 – Світлопроникний матеріал акрил



Рисунок 2.6.1 - Приклад монолітного полікарбонату в дії

У поліефірних плит висока механічна стійкість, але вони дорожчі за акрил, до їх властивостей відносять нечутливість до впливу УФ-випромінювання та багатьох хімічних факторів, а також найвища стійкість до впливу високої температури. Поліефірні куполи мають, однак, невелику прозорість і неоднорідний колір. Для досягнення належної теплоізоляції потрібні кілька шарів (див. рис. 2.7).

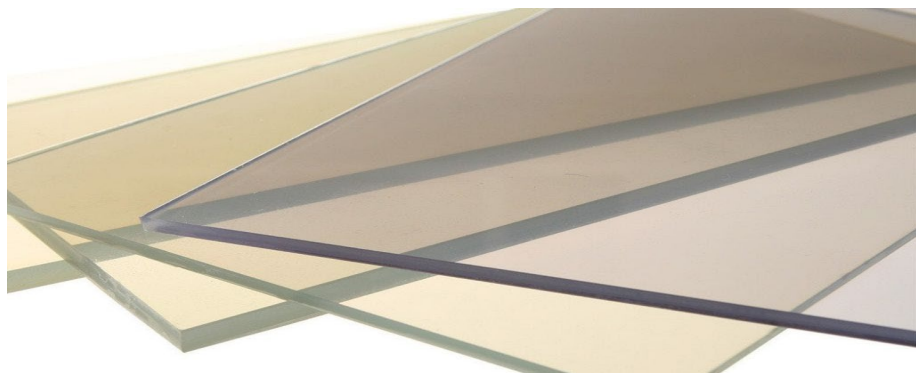


Рисунок 2.7 – Світлопроникний матеріал поліефірні плити



Рисунок 2.7.1 - Приклад матеріалу поліефірну в дії

Деякі компанії пропонують непрозорі багатошарові плити конструкції «алюміній-ізоляційний матеріал-алюміній». Ці непрозорі плити стійкі до ударів і ультрафіолетового випромінювання, їх використовують там, де не повинно бути проникання світла при високих теплоізоляційних властивостях.

До переваг скла слід віднести високу прозорість, яка не змінюється з часом, хімічну інертність, що дозволяє використовувати різні чистящі засоби, а також високу стійкість до абразивних впливів, що дає скляним поверхням зберігати непорушний зовнішній вигляд протягом практично необмеженого часу. Немаловажною якістю скла при використанні у великих громадських будівлях та спорудах є те, що воно не горить і не виділяє отруйних газів при нагріванні.

Скло як конструкційний матеріал має кілька негативних особливостей. Воно нееластичне, і проектувальники змушені вживати значних (і дорогих) зусиль при створенні складних криволінійних поверхонь з його використанням. Скло - крихке матеріал. Навіть незначна конструктивна помилка може призвести до руйнування скляної поверхні (або її елементів), що може призвести до трагічних наслідків. Значна маса скла, яка потребує потужних несучих опор, низькі теплоізоляційні властивості, висока вартість значно обмежують його використання як матеріалу для виготовлення зенітних ліхтарів.

Рама зенітного ліхтаря (основа, утеплений опірний контур або фланець) служить з'єднувальним елементом між куполом зенітного ліхтаря та дахом. Для виробництва рам використовують ПВХ, сталь або алюміній. З точки зору механічної стійкості, міцності і простоти монтажу оптимальним варіантом є оцинкована сталь. Конструкції з оцинкованої сталі не втрачають своїх міцні сних і естетичних характеристик під впливом атмосферних опадів (немає ржавчини і корозії)

Форма основи залежить від проекту і може бути круглою, квадратною, прямокутною або зі спеціальним виступом. У основі використовується спеціальна система кріплення. Вона гарантує герметичність і легкість монтажу, при цьому демонтувати її надзвичайно важко.

Для забезпечення безпеки експлуатації зенітних ліхтарів під склопакетами встановлюють металеві сітки з ячейкою 50×50

#### 2.2.4 Монтаж зенітних ліхтарів

Конструктивне рішення зенітних ліхтарів передбачає можливість їх встановлення на будь-якій покрівлі: мембранах, бітумних покриттях, монолітному залізобетоні та профільованій сталевій настилі (див. рис. 2.8).

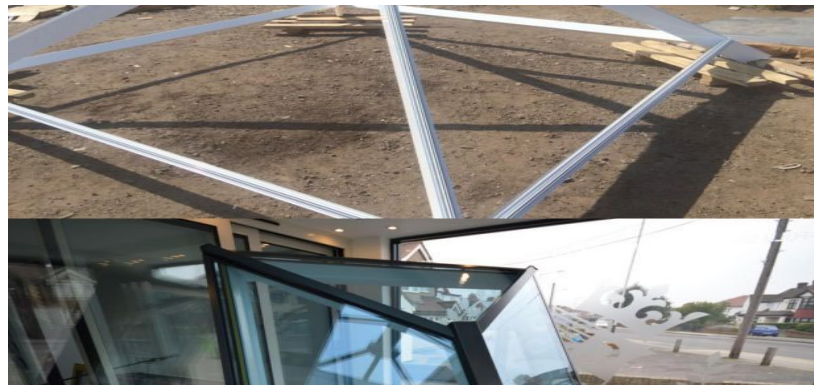


Рисунок 2.8 – Приклад монтажу світлового купола на металевій покрівлі



Рисунок 2.8.1 – Світлові купола на металевій покрівлі

Стінки опорних контурів утеплюються ефективними теплоізоляційними матеріалами. Для більш раціонального розподілу світлового потоку бічні грані опорних контурів можуть бути нахиленими. Внутрішні поверхні опорних контурів покриваються матеріалами з високим коефіцієнтом відбиття (не менше 0,7). Висота опорних контурів визначається з таким розрахунком, щоб віконце ліхтаря піднімалося над покрівлею не менше 300 мм.

Для забезпечення необхідної несучої здатності, зручності монтажу та ремонтних робіт при устрої зенітних ліхтарів використовують світлопроникні матеріали площею не більше 2 кв. м. Товщину скла в склопакетах визначають розрахунком (але вона повинна бути не менше 6 мм). На опорний контур та несучі елементи ліхтаря світлопроникні матеріали закріплюються з чотирьох боків через упругі прокладки. З'єднання між склопакетами перекривають нащільниками, які одночасно є елементами кріплення обігрівання. Кут нахилу вікна ліхтаря до горизонту приймається не менше 12°.

Теплотехнічні характеристики зенітних ліхтарів повинні виключати утворення конденсату на внутрішній поверхні конструкцій і забезпечувати необхідні температурно-вологісні умови в приміщеннях.

Зенітні ліхтарі можна розташовувати практично в будь-якому місці

даху. Однак їх розташування не може бути хаотичним і розраховується при проектуванні в залежності від їх функціонального завдання. Надмірне забезпечення площею даху зенітними ліхтарями створює оптичний дискомфорт, викликає перегрів приміщень влітку і переохолодження взимку. Зайва кількість зенітних ліхтарів також підвищує вартість будівництва та витрати на експлуатацію будівель. При розумному розрахунку та ефективному розташуванні ці конструкції відмінно виконують свої функції, завдяки чому популярність їх в українському проектуванні та будівництві швидко зростає.

Зазвичай гарантія на зенітні ліхтарі становить два роки, однак, як показує практика, якісна та правильно підібрана конструкція працює вдесятеро довше, не потребуючи значних витрат на експлуатацію.

### **3 СВІТЛОВІ КУПОЛИ. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ. ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ**

#### **3.1 Світлові куполи основні положення**

Зведення світлових куполів для оптимального використання денного світла в громадських будівлях - це архітектурна практика, спрямована на створення конструкцій, які допомагають максимально використовувати природне освітлення в приміщеннях, зменшуючи при цьому потребу в штучному освітленні та знижуючи споживання електроенергії.

Для досягнення цієї мети в громадських будівлях можуть бути встановлені світлові куполи, які мають різні форми та розміри. Ці куполи зазвичай розташовані на покрівлі або у верхніх частинах приміщень і мають великі віконця або скляні панелі, які пропускають природний сонце всередину будинку.

Переваги використання світлових куполів включають зменшення витрат на електроенергію, покращення внутрішнього освітлення, підвищення комфорту для користувачів будівлі та зменшення впливу будівель на довкілля. Такі конструкції можуть бути використані в різних типах громадських споруд, включаючи музеї, школи, торгові центри, офіси, інші заклади та будівлі.

Світлові куполи - це архітектурні елементи, призначені для пропускання світла всередину будівлі, створення природного освітлення та візуальної динаміки в інтер'єрі. Вони використовуються для оптимального використання денного світла та покращення комфорту всередині приміщень. Ось деякі ключові аспекти світлових куполів:

- Функціональність: Світлові куполи забезпечують природне

освітлення всередині будівлі, що може знизити залежність від штучного освітлення та, таким чином, зменшити енергоспоживання та операційні витрати.

- **Дизайн та структура:** Світлові куполи можуть мати різні форми та розміри, включаючи круглі, овальні, квадратні та прямокутні. Вони часто розміщуються у даху будівлі та мають скляні або напівпрозорі панелі, через які проходить світло. Дизайн світлового купола може бути унікальним та адаптованим до конкретних потреб та стилю будівлі.

- **Переваги:** Використання світлових куполів дозволяє покращити внутрішній мікроклімат та створити природне освітлення, що сприяє збільшенню комфорту користувачів. Вони також сприяють візуальному інтересу та динаміці у приміщенні.

- **Матеріали:** Світлові куполи, як правило, виготовляються з прозорих або напівпрозорих матеріалів, таких як скло, пластик або акрил. Ці матеріали забезпечують пропускання світла та захист від небажаних погодних впливів.

- **Застосування:** Світлові куполи можуть бути знайдені в різних типах будівель, включаючи будинки, офіси, магазини, освітні заклади, музеї та багато іншого. Вони також можуть бути використані у комбінації з іншими архітектурними елементами, такими як вікна, для створення більш складних світлових рішень.

Приклади використання світлових куполів в Україні (див. рис. 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5).



Рисунок 3.1 – Купол Верховної Ради України



Рисунок 3.2 – Купол Київського ЦМУ

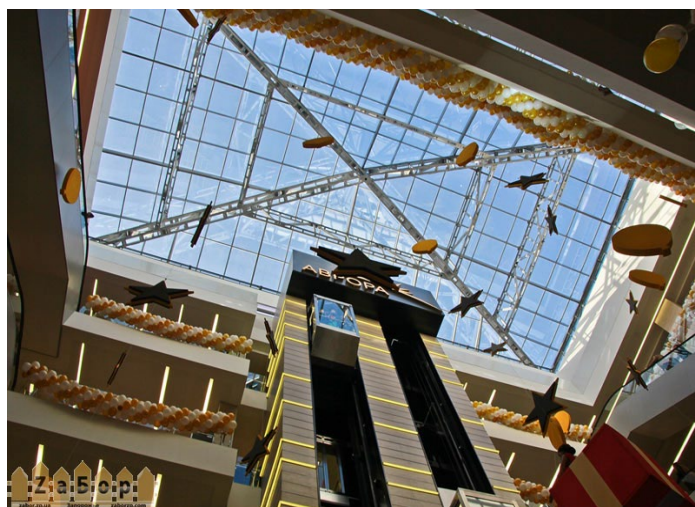


Рисунок 3.3 – Купо ТРЦ Аврора в м. Запоріжжя





Рисунок 3.4 - Купол Храм Різдва Христова на Оболоні, Київ

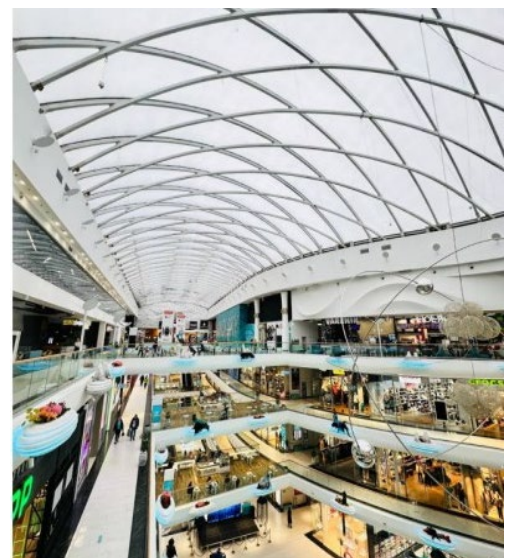


Рисунок 3.5 – Купол ТРЦ Nikolsky у м. Харків

### 3.1.1 Види та конструкції світлових куполів

Світлові куполи можуть мати різноманітні форми та характеристики залежно від архітектурного дизайну та функціональних потреб. Ось деякі

поширені різновиди світлових куполів:

Округлі світлові куполи (див. рис. 3.6): Округлі світлові куполи мають напівсферичну форму і добре підходять для забезпечення рівномірного розподілу світла. Вони класично використовуються в будинках з куполами, церквах та музеях, створюючи вражаючі архітектурні елементи.



Рисунок 3.6 – Округлі світлові куполи

Овальні світлові куполи: Овальні світлові куполи мають еліптичну форму і можуть бути адаптовані до довгих та вузьких будівель. Вони надають унікальні дизайнерські можливості та сприяють створенню цікавих форм усередині приміщення.

Квадратні та прямокутні світлові куполи: Квадратні та прямокутні світлові куполи зазвичай використовуються в приміщеннях з прямокутним або квадратним плануванням. Вони можуть створювати чіткі лінії та геометричні форми в інтер'єрі.

Пірамідальні світлові куполи (див. рис. 3.7): Пірамідальні світлові куполи мають форму піраміди і можуть бути використані в історичних будівлях та мавзолеях. Ці куполи часто мають вражаючі архітектурні деталі.



Рисунок 3.7 - Пірамідальний світловий купол музей Лувр. Париж  
вид зверху



Рисунок 3.7.1 - Пірамідальний світловий купол музей Лувр. Париж  
вид з низу

Геодезичні світлові куполи (див. рис. 3.8): Геодезичні куполи мають складну структуру із трикутних або шестикутних панелей, що надає їм видатну міцність та стійкість. Вони часто використовуються у спортивних та виставкових комплексах.



Рисунок 3.8 - Геодезичні світлові куполи

Трубчасті світлові куполи (див. рис. 3.9): Трубчасті світлові куполи мають циліндричну або конічну форму і часто використовуються у великих спортивних аренах та концертних залах для забезпечення оптимального природного освітлення.



Рисунок 3.9 – Трубчастий світловий купол над спортивній арені

Комбіновані світлові системи: Деякі будівлі використовують комбіновані світлові системи, які поєднують різні форми та розміри світлових куполів для створення цікавих архітектурних композицій та оптимізації освітлення.

Вибухобезпечні світлові куполи: У небезпечних промислових

середовищах, де існує ризик вибухів, можуть використовуватися спеціальні вибухонебезпечні світлові куполи, які відповідають вимогам безпеки.

Термоізоляційні світлові куполи: Термоізоляційні світлові куполи обладнані ізоляційними матеріалами, які забезпечують хорошу теплоізоляцію та допомагають знизити тепловтрати.

Енергозберігаючі та "розумні" світлові куполи: Сучасні світлові куполи можуть бути оснащені сенсорами та системами управління, які регулюють інтенсивність світла в залежності від навколишніх умов та потреб, що сприяє зниженню енергоспоживання.

Кожен різновид світлових куполів має свої переваги і може бути адаптований до конкретних потреб та дизайну будівлі.

### **3.1.2 Переваги світлових куполів**

Світлові куполи є одним із способів підвищення енергоефективності та комфорту всередині приміщень, а також надають будівлі унікального архітектурного характеру.

Світлові куполи мають кілька переваг, які роблять їх популярним архітектурним рішенням у різних типах будівель:

- **Природне освітлення:** Найголовніша перевага світлових куполів – це здатність забезпечувати природне освітлення усередині будівлі. Це дозволяє заощадити електроенергію та знизити витрати на штучне освітлення, що особливо важливо у великих комерційних та офісних будівлях.

- **Створення комфортного мікроклімату:** Світлові куполи сприяють покращенню внутрішнього мікроклімату в будівлі, забезпечуючи рівномірний розподіл світла та тепла. Це може сприяти створенню комфортнішої атмосфери для користувачів будівлі.

- Візуальний інтерес та архітектурний стиль: Світлові куполи можуть бути використані для додавання візуального інтересу та архітектурного стилю у будівлі. Вони створюють унікальні форми і динаміку в інтер'єрі та екстер'єрі, що робить будинок більш привабливим і незабутнім.

- Екологічні вигоди: Використання світлових куполів допомагає знизити споживання електроенергії та, отже, зменшити вуглецевий слід будівлі. Це важливо з погляду сталого будівництва та екологічної відповідальності.

- Поліпшення здоров'я та благополуччя: Природне світлове освітлення, що забезпечується світловими куполами, може покращити зоровий комфорт та візуальне сприйняття, а також надати позитивний вплив на фізичний та психічний благополуччя користувачів будівлі.

- Зниження витрат на електроенергію: За рахунок збільшення природного освітлення світлові куполи дозволяють знизити витрати на електроенергію для освітлення, що є економічно вигідним для власників та користувачів будівель.

- Адаптація до кліматичних умов: Світлові куполи можуть бути адаптовані до різних кліматичних умов, запобігаючи потраплянню дощу та снігу всередину приміщення, забезпечуючи світлопроникність.

Ці переваги роблять світлові куполи важливим елементом у сучасній архітектурі, сприяючи створенню більш ефективних, зручних та стійких будівель.

### **3.1.3 Гігієнічні переваги світлових куполів**

Світлові куполи можуть надавати не лише енергетичні та архітектурні переваги, а й гігієнічні переваги. Ось кілька способів, як світлові куполи

можуть сприяти покращенню гігієнічних умов усередині будівель:

- Підвищення якості повітря: Світлові бані сприяють збільшенню природної вентиляції всередині приміщення. Це може допомогти у видаленні забрудненого повітря та введенні свіжого повітря, що позитивно позначається на якості внутрішньої атмосфери.

- Зменшення вологості та плісняви: Світлові куполи можуть допомагати у зменшенні вологості у приміщенні шляхом підсушування простору за допомогою сонячного тепла. Це може знизити ризик розвитку цвілі та грибків.

- Підтримка циркадних ритмів: Природне освітлення, що надається світловими банями, допомагає регулювати циркадні ритми людини. Це може покращити сон, настрій та загальний фізичний та психічний добробут.

- Зменшення використання хімічних очисників та дезінфікуючих засобів: У приміщеннях з хорошим природним освітленням та вентиляцією часто менше потреби у використанні хімічних засобів для очищення повітря або дезінфекції поверхонь.

- Поліпшення загального комфорту: Люди, які перебувають у приміщеннях з гарним природним освітленням, зазвичай почуваються комфортніше і здоровіше. Це може сприяти збільшенню продуктивності та зменшенню стресу.

- Підтримка гігієнічних стандартів: Світлові куполи можуть допомагати підтримувати високі гігієнічні стандарти в приміщеннях, таких як лікарні та клініки, де важливо запобігати поширенню інфекцій.

Важливо, що світлові куполи слід правильно проектувати та встановлювати, щоб максимально використати їх гігієнічні переваги. Крім того, необхідно регулярно доглядати куполи і підтримувати чистоту скла, щоб зберегти ефективність їх роботи.

### 3.1.4 Недоліки світлових куполів

Незважаючи на безліч переваг, світлові куполи також мають свої недоліки та обмеження:

- **Вартість:** Установка світлових куполів може бути дорогою, включаючи не лише самі куполи, а й витрати на проектування та будівництво. Це може стати значним тягарем для бюджету проекту.

- **Управління теплом:** У деяких випадках світлові куполи можуть призвести до підвищення температури всередині будівлі через сонячне випромінювання. Це потребує додаткових систем кондиціонування повітря або додаткових заходів для регулювання тепла.

- **Зовнішній вигляд:** Дизайн світлових куполів може не завжди відповідати архітектурному стилю будівлі або її оточенню, що може впливати на зовнішній вигляд.

- **Проблеми з витіканням та зносом:** Світлові куполи схильні до ризику витоків води у разі дощу або снігу, і вони можуть піддаватися зносу з часом, вимагаючи регулярного догляду та обслуговування.

- **Обмеження на місце розташування:** Не у всіх будівлях і приміщеннях можна встановлювати світлові куполи, оскільки це залежить від конструкції даху та структури будівлі.

- **Неефективність у похмуру погоду:** В умовах похмурої чи дощової погоди світлові куполи можуть надавати недостатньо світла, що робить штучне освітлення необхідним.

- **Втрата ефективності з часом:** З часом світлопроникність матеріалів світлових куполів може погіршуватися через забруднення, пил та різні атмосферні впливи. Це вимагає регулярного чищення та обслуговування.

- **Безпека та конфіденційність:** Залежно від дизайну та



розташування світлових куполів, вони можуть створювати проблеми з конфіденційністю та безпекою, особливо у чутливих середовищах, таких як лікарні чи лабораторії.

### **3.1.5 Реконструкція будівель під монтаж світлових куполів**

Рішення про реконструкцію цивільних будівель для встановлення світлових куполів залежить від багатьох факторів та потребує ретельного аналізу та оцінки. Нижче наведено деякі аспекти, які слід враховувати при ухваленні такого рішення:

- Структурні та інженерні обмеження: Першим кроком є оцінка можливості встановлення світлових куполів з урахуванням структурних та інженерних обмежень існуючої будівлі. Не всі будівлі можуть легко адаптуватися для встановлення світлових куполів. Важливо врахувати, що реконструкція може вимагати змін у конструкції даху та інших аспектах будівлі.

- Енергоефективність та фінансова окупність: Оцініть потенційну економію на електроенергії, яку можна досягти за допомогою світлових куполів, та розрахуйте термін окупності інвестиції. Енергозбереження та економічна доцільність відіграють важливу роль у прийнятті рішення.

- Архітектурна гармонія: Врахуйте, як дизайн світлових куполів поєднується з архітектурою та стилем існуючої будівлі. Рішення має бути гармонійним та покращувати загальний зовнішній вигляд.

- Потреби користувачів та функціональність: Розгляньте потреби користувачів будівлі. Наприклад, якщо це офісний будинок, встановлення світлових куполів може підвищити комфорт та продуктивність співробітників. У лікарнях та навчальних закладах це також може бути

важливим аспектом.

- Зонування та використання простору: Подумайте про те, як світлові куполи можуть покращити зонування та використання внутрішніх просторів будівлі. Вони можуть бути особливо корисними в місцях, де потрібне природне освітлення.

- Гігієнічні та здорові аспекти: Врахуйте потенційні гігієнічні та здорові переваги світлових куполів, включаючи повітрообмін та підтримку циркадних ритмів.

- Місцеві будівельні норми та дозволи: Переконайтеся, що встановлення світлових куполів відповідає місцевим будівельним нормам та вимогам, та врахуйте можливість отримання необхідних дозволів.

- Фінансування та бюджет: Оцініть бюджет для реконструкції та встановлення світлових куполів, а також розгляньте варіанти фінансування, такі як кредити чи субсидії.

Загалом рішення про реконструкцію цивільних будівель для встановлення світлових куполів має бути обґрунтованим та враховувати безліч факторів. Професійні консультації та інженерні дослідження можуть допомогти прийняти поінформоване рішення з огляду на конкретні потреби та умови проекту.

### **3.2 Розрахунки світлових куполів**

Розрахунок світлових куполів вимагає спеціалізованих знань у галузі архітектури та інженерії, а також урахування конкретних параметрів та потреб для кожного проекту. Ось деякі ключові кроки, які слід врахувати при розрахунку світлових куполів:

- Визначення потреби у освітленні: Спочатку визначте, скільки

природного світла потрібно для конкретного приміщення чи будівлі. Це залежить від його призначення, розмірів та орієнтації.

- Розміри та форма купола: Виберіть форму та розмір світлового купола відповідно до архітектурних характеристик та дизайну будівлі. Це також може включати рішення про те, чи буде купол округлим, овальним, квадратним або іншим.

- Матеріали та прозорі елементи: Виберіть матеріали для конструкції купола та прозорі елементи, через які попадатиме світло. Скло, пластик та акрил – це найбільш поширені матеріали. Важливо врахувати їхню світлопропускну здатність та теплоізоляційні характеристики.

- Орієнтація та кут нахилу: Визначте оптимальну орієнтацію та кут нахилу бані, щоб максимально використовувати сонячне освітлення протягом дня. Це залежить від розташування будівлі та кліматичних умов.

- Розрахунок яскравості та рівномірності світла: Використовуйте програмне забезпечення для моделювання освітлення, щоб визначити, як світло буде розподілятися всередині приміщення. Розрахуйте рівні яскравості та рівномірність світла у різних частинах приміщення.

- Захист від погодних умов: Зверніть увагу, що світловий купол також повинен забезпечувати захист від атмосферних впливів, таких як дощ, сніг та вітер. Це важливо для запобігання протіканню та пошкодженню.

- Енергоефективність: Подумайте про те, як зробити купол максимально енергоефективним, наприклад, шляхом додавання теплоізоляції або автоматичного керування освітленням.

- Дотримання будівельних норм і стандартів: При проектуванні та розрахунку світлових куполів необхідно дотримуватися місцевих будівельних норм та стандартів, щоб забезпечити безпеку та надійність конструкції.

Для точного розрахунку світлових куполів рекомендується звернутися до кваліфікованих архітекторів та інженерів, які мають досвід у цій галузі.

Вони матимуть змогу розробити індивідуальне рішення, що враховує всі особливості конкретного проекту.

### **3.2.1 Розрахунок економії при встановленні світлових куполів**

Розрахунок економії при встановленні світлових куполів залежить від кількох факторів, включаючи розміри та характеристики куполів, тип використовуваних матеріалів, регіональні ціни на електроенергію та дизайн конкретної будівлі. Ось загальний методологічний підхід до оцінки економії:

#### **1. Оцінка початкових витрат:**

- Визначте вартість придбання та встановлення світлових куполів, включаючи матеріали, працю та обладнання.
- Врахуйте будь-які додаткові витрати, такі як проектування та розробка, дозвільні документи та будівельний нагляд.

#### **2. Розрахунок економії на електроенергії:**

- Визначте поточні витрати на штучне освітлення у приміщенні (вати, години роботи, вартість електроенергії).
- Оцініть рівень зниження споживання електроенергії, який можна досягти за допомогою світлових куполів. Це залежить від інтенсивності денного світла та дизайну бані.
- Розрахуйте економію на електроенергії як різницю між поточними витратами та витратами після встановлення куполів.

#### **3. Розрахунок амортизації:**

- Оцініть термін служби світлових куполів.
- Розрахуйте середньорічну економію на електроенергії та помножьте на термін служби, щоб визначити загальну економію за весь термін експлуатації.

#### 4. Облік обслуговування:

- Врахуйте витрати на обслуговування та догляд за світловими банями. Це може включати чистку і регулярну технічну підтримку.

#### 5. Розгляд варіантів фінансування:

- Розгляньте різні варіанти фінансування, такі як кредити чи субсидії, які можуть знизити початкові витрати.

#### 6. Розрахунок терміну окупності:

- Оцініть термін окупності інвестиції, розділивши початкові витрати на річну економію електроенергії.

#### 7. Облік зовнішніх факторів:

- Врахуйте зовнішні чинники, такі як інфляція, зміни тарифів на електроенергію та потенційні зміни у витратах на електроенергію.

Економія при встановленні світлових куполів може бути значною, особливо у великих комерційних та офісних будинках, де споживання електроенергії для освітлення високо. Однак точні результати залежать від багатьох факторів, і проведення аналізу економічної доцільності проекту є важливим етапом у процесі прийняття рішення про встановлення світлових куполів.

Розрахунок світлових куполів - це складний процес, який залежить від безлічі факторів, включаючи географічне розташування, розміри та форму куполів, тип матеріалів і інші параметри. Нижче наведено приклад простого розрахунку для оцінки потенційної економії при встановленні світлових куполів:

Припустимо, у вас є комерційна будівля з площею 500 квадратних метрів і ви хочете встановити світлові куполи для збільшення природного освітлення.

#### 1. Оцінка поточних витрат на штучне висвітлення:

- Припустимо, що будівля використовує 1000 Вт штучного освітлення, і це освітлення працює 10 годин на день.

- Середня вартість електроенергії складає 0,15 долара за кіловат-годину.

- Витрати на штучне освітлення на день:

$1000 \text{ ватт} * 10 \text{ годин} * 0,15 \text{ долара/кВт-годину} = 150 \text{ доларів на день.}$

2. Розрахуйте річні витрати на штучне висвітлення:

$150 \text{ доларів на день} * 365 \text{ днів} = 54750 \text{ доларів на рік.}$

3. Оцініть потенційну економію після встановлення світлових куполів:

- Припустимо, що після встановлення світлових куполів ви зможете знизити споживання штучного освітлення на 30% (ефективність світлових куполів).

Річна економія на висвітленні:

$54750 \text{ доларів} * 0,30 = 16425 \text{ доларів на рік.}$

4. Розрахуйте термін окупності:

- Припустимо, що встановлення світлових куполів коштує 30 000 доларів.

Термін окупності:

$30\,000 \text{ доларів} / 16\,425 \text{ доларів на рік} = \text{приблизно } 1,83 \text{ року.}$

Таким чином, при поданих припущеннях встановлення світлових куполів окупиться приблизно через 1,83 роки. Це дуже спрощений розрахунок, і для більш точної оцінки варто врахувати додаткові фактори, такі як зміни тарифів на електроенергію, обслуговування світлових куполів та інші економічні та технічні параметри.

### **3.3 Проектування верхнього природного освітлення**

Розрахунок природного освітлення може бути попереднім (приблизним) або перевірочним (більш точним).

Перший метод застосовується на ранніх етапах проектування, а другий - на етапі детальної розробки проекту.

Проектування природного освітлення повинно базуватися на вивченні функціонального призначення будівлі та трудових процесів, які виконуються у приміщеннях, а також на світокліматичних особливостях району будівництва. Крім того, необхідно визначити:

- характеристику та розряд зорових робіт;
- групу адміністративного району будівництва будівлі;
- нормоване значення коефіцієнта естетичного освітлення (КЕО) з урахуванням характеру зорових робіт та світокліматичних особливостей місця розташування будівель;
- потрібну рівномірність природного освітлення приміщень;
- тривалість використання природного освітлення протягом доби для різних місяців року з урахуванням функціонального призначення приміщення, режиму роботи та світового клімату місцевості;
- необхідність захисту приміщення від сліпучої дії сонячного світла.

Проектування природного освітлення приміщень виконується поетапно в такій послідовності:

- На першому етапі встановлюються вимоги до природного освітлення приміщень, здійснюється вибір систем освітлення, обираються світлові отвори та матеріали для них, враховується орієнтація будівлі та світлових отворів відносно сторін горизонту, і, за необхідності, визначаються засоби для обмеження сліпучої дії прямого сонячного світла;
- На другому етапі здійснюється попередній розрахунок природного освітлення приміщень з визначенням необхідної площі світлових отворів і уточнення їхніх параметрів;
- На третьому етапі проводиться перевірочний розрахунок природного освітлення приміщень, встановлюються зони та ділянки з

недостатнім згідно нормам природним освітленням; за необхідності вирішується питання додаткового штучного освітлення приміщень, зон та ділянок з недостатнім природним освітленням;

- На четвертому етапі вносяться відповідні корективи в проект природного освітлення і за необхідності здійснюється повторний перевірочний розрахунок.

Попередній розрахунок природного освітлення сводиться до визначення необхідних розмірів і розташування світлових отворів, а також забезпечення вимог нормованих значень КЕО в розрахункових точках приміщень.

Остаточні розміри отворів приймаються після проведення перевірочного розрахунку. Вони можуть відрізнятись від необхідних за розрахунком на 5-10%.

### **3.3.1 Визначення площі верхніх світлових прорізів житлових та громадських будівель**

Розрахунок площі світлових отворів для верхнього освітлення в житлових та громадських будівлях виконується з використанням графіків, поданих на рис. 3.22 та 3.23.

Кроки розрахунку площі верхнього (ліхтарного) скління наступні:

1) Визначення нормованого значення Коефіцієнта Природного Освітлення (ля розглянутого приміщення).

2) Вибір від КЕО) відповідного графіка на рисунку 3.10 або 3.11 залежно від параметрів приміщення.

3) На ординаті графіка визначення точки, що відповідає нормованому значенню КЕО; проведення горизонтальної лінії до перетину з відповідною



прямою графіка проектованого ліхтаря.

4) За абсцисою точки перетину визначення відсоткового співвідношення площі ліхтарного скління до площі підлоги ( $A_{\text{л}}$ ).

5) Визначення площі світлових отворів ( $m^2$ ) шляхом ділення отриманого значення на  $A_{\text{л}}$ , множення на 100 та множення на площу підлоги ( $A_{\text{п}}$ ).

Загальна площа ліхтарів не повинна перевищувати 20% освітленої площі підлоги приміщення, над яким встановлюються ліхтарі.

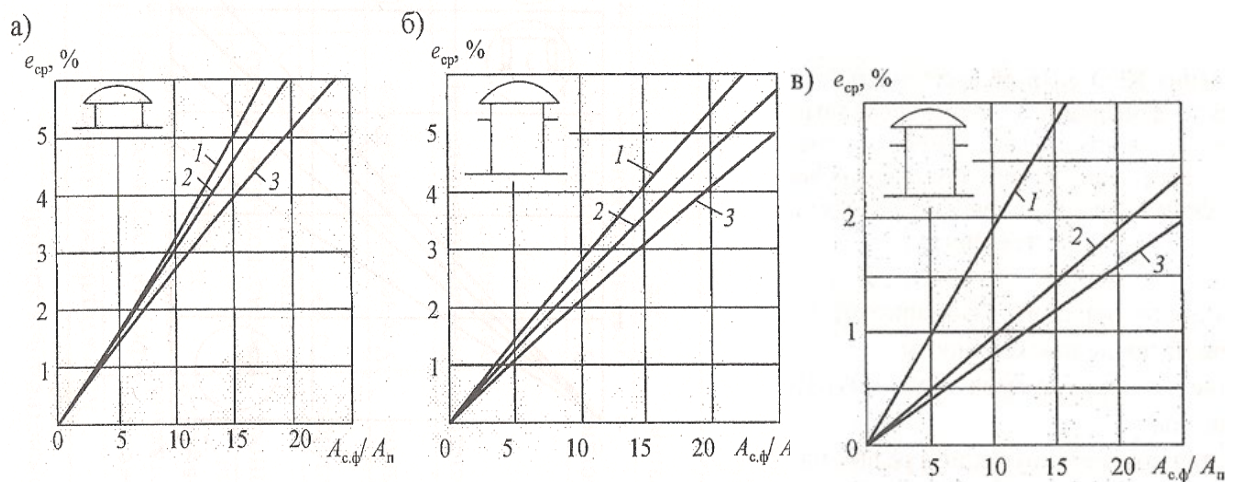


Рисунок 3.10 - Графіки для визначення середнього значення

- а) - у приміщеннях із zenітними ліхтарями із глибиною проєсму 0,7 м;
- б) - у громадських приміщеннях із шахтними ліхтарями із глибиною світлопроводу 3,5 м;
- в) - теж саме, із шахтними ліхтарями дифузного світла із глибиною світлопроводу 3,5 м;

Коефіцієнта природного освітлення (КЕО) для zenітних та шахтних ліхтарів із розмірами в плані, м: 1-2,9×5,9; 2-2,7×2,7; 2,9×2,9; 1,5×5,9; 3-1,5×1,7:

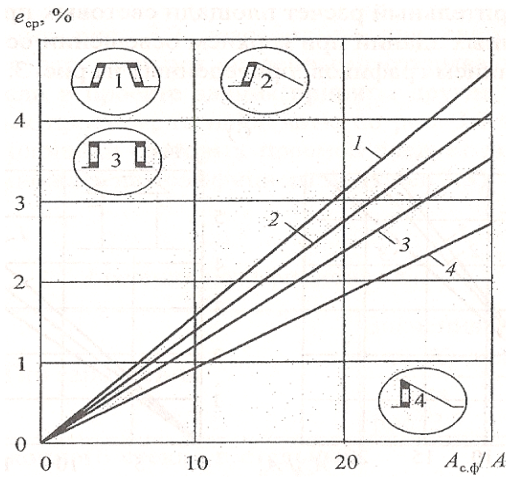


Рисунок 3.11 - Графік для визначення середнього значення коефіцієнта естетичного освітлення (КЕО) у громадських приміщеннях з ліхтарями має такий вигляд:

- 1 - трапецієвидний ліхтар;
- 2 - ліхтар типу "шед" з нахиленим склінням;
- 3 - прямокутний ліхтар;
- 4 - ліхтар типу "шед" з вертикальним склінням.

Рекомендується розташовувати ліхтарі між фермами або балками покрівлі на вільній площі від інженерних комунікацій та обладнання. Для забезпечення рівномірного освітлення розміри вихідних отворів ліхтарів повинні становити не більше 0,25-0,50 висоти приміщення, а відстань між крайнім рядом ліхтарів та стіною не повинна перевищувати 0,50 відстані між середніми рядами ліхтарів.

Вибір ліхтарів здійснюється в залежності від типу будівель згідно з таблицею 3.1.

Таблиця 3.1 Типи ліхтарів для освітлення громадських будівель

Тип будівлі	Тип ліхтаря	Характеристика ліхтаря		
		Вид відображення опорної склянки та світлопровідної шахти	Форма опорної склянки та світлопровідної шахти	Розміри вхідного отвору в плані, м
Інженерно-адміністративне без підвісних стель	зенітний	дифузне	прямокутний паралелепіпед	1,5 х,7; 2,7х2,7
Те саме, з підвісною світлопрозорою стелею	зенітний	спрямоване	те ж	те ж
Те саме, з підвісною непрозорою стелею	шахтний	дифузне	усічена піраміда	те ж
Громадське з тех.-поверхом	шахтний	спрямоване	прямокутний паралелепіпед циліндр	1,5х,7;2,7х2,7 діам.1,2;1,5
Громадське з підвісною світлопрозорою стелею	зенітний	спрямоване	усічена піраміда, усічений конус	те ж
Те саме, з підвісною непрозорою стелею	шахтний	дифузне	усічена піраміда усічений конус	те ж

## 4 АНАЛІЗ СИСТЕМ ПРИРОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТОРГІВЕЛЬНОГО ЦЕНТРУ

### 4.1 Аналіз природного світлового середовища приміщень

При реконструкції торговельного центру керівництво вирішило покращити верхнє освітлення а також зменшити споживання електроенергії за рахунок монтування світлових куполів в покрівлю.

Тому метою роботи є аналіз природного світлового середовища приміщень, що реконструюються, і визначення такої системи природного освітлення, яка відповідала б новим потребам.

Торговельний центр (див. рис. 4.1) є шести пролітною будівлею змішаної поверховості з розмірами в плані  $108 \times 72$  м (рис.1).

Висота одноповерхової частини від рівня чистої підлоги до низу несучих конструкцій 4,8 м.

Розмір прольоту становить 18 м, крок колон – 6 м. По осі Н розташований поздовжній деформаційний шов – 1 м. Між осями Н – Е, 6 – 8 та 16 - 18 розташовані двоповерхові вставки.

Розташування виробничих ділянок та технологічні параметри світлового середовища у будівлі такі. У прольотах між осями Т і Р протягом усього довжину будівлі розряд зорових робіт VIII. Між осями Р і П/2 з V розрядом зорових робіт. У середній частині будівлі знаходиться найбільша за площею ділянка V розряд. У осі 18 між осями П/2 та Н/3 розташована компресорна глибиною 9 м з IV розрядом. Поруч із компресорною знаходиться склад глибиною 12 м з VIII розрядом зорових робіт. Між осями Н та Е в одноповерховій частині розташовані приміщення з відповідними розрядами зорових робіт:– III; - VI;– IV;– VIII;– V розряд у кожному

відділенні.

На першому поверсі двоповерхової частини в осях 16 – 18 розташоване приміщення з V розрядом та склад з VIII розрядом зорових робіт. Перший поверх іншої вставки в осях 6 – 8 включає котельню з V розрядом та ділянку з IV розрядом зорових робіт.

На всіх виробничих ділянках згідно з п.3.1 б[1] приймається поєднане (природне + штучне) освітлення.

В кожній виробничій ділянці було проаналізовано кілька варіантів систем природного висвітлення. Проте, деякі з них не задовольняли нормативні вимоги, деякі – вимоги технології, а деякі – вимоги уніфікації та з конструктивних міркувань. У цій роботі представлені аналіз та розрахунки остаточних варіантів.

Торговий зал.

Він найбільший за площею, знаходиться в центральній частині виробничого корпусу та займає два прольоти. Один повний – 18 м, інший неповний – 12 м. Оскільки глибина ділянки більша (60 м), то тут використовується система верхнього природного освітлення та підвісна система штучного освітлення. З південної сторони є можливість влаштування бічного освітлення, але воно дає норму КЕО на незначну глибину (6 - 9 м) і тому не береться до уваги. Розміри бічних світлопроектів у разі приймаються з міркування психологічної взаємозв'язку із зовнішнім простором.



малому прольоті (між осями П/2 та П, див. рис. 4.1) розташовуються три розрахункові точки. Причому перша і остання точки віддалені від осей на відстані 1 м. У великому прольоті (між осями П і Н/1) розташовуються п'ять розрахункових точок. Відстань між проміжними точками у малому прольоті становить 5 м, у великому – 4 м, що не перевищує рекомендованого. Лінія характерного розрізу проходить посередині середнього ряду ліхтарів (біля осі 12).

В результаті приймається розмір світлового купола  $1,7 \times 1,7$  м, висота бортика разом із товщиною покриття 0,5 м. Розміщення ліхтарів здійснюється за схемою (див. рис. 4.1). Розрахунок провадиться за формулою 1.2 і результати представлені в табличній формі таблиця 4.1.

$$e_{pv} = [\varepsilon_v + \varepsilon_{cp}(r_2 K_{\phi} - 1)] \cdot \tau_{\phi} / K_{zv}, \quad 4.1$$

де  $\varepsilon_v$  – геометричний КЕО у розрахунковій точці при верхньому освітленні;

$\varepsilon_{cp}$  – середнє арифметичне значення геометричного КЕО при верхньому освітленні за всіма розрахунковими точками характерного розрізу. Визначається за такою формулою 4.2

$$\varepsilon_{cp} = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots + \varepsilon_n) / N, \quad 4.2$$

де N – кількість розрахункових точок;

n – порядковий номер розрахункової точки;

$r_2$  - коефіцієнт, що враховує підвищення КЕО при верхньому освітленні, завдяки світлу, відбитому від поверхонь приміщення ( -  $r_2 = 1,2$  при  $\rho_{cp} = 0,4$ );

$K_{\phi}$  - коефіцієнт, що враховує тип ліхтаря (табл.Л.9 [1] -  $K_{\phi} = 1,1$ );

$\tau_{\phi}$  – загальний коефіцієнт світлопропускання системи верхнього освітлення, який визначається за формулою 4.3:

$$\tau_{\phi} = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5 = 0,75 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,432, \quad 4.3$$

$\tau_1$ - Коефіцієнт світлопропускання матеріалу, що визначається за табл.Л.3 [1]: $\tau_1 = 0,75$  (приймається двошарове злегка замутнене зниження інтенсивності інсоляції органічне скло);

$\tau_2$ - Коефіцієнт, що враховує потри світла в палітурках світлопроему, визначається за табл.Л.3 [1]: $\tau_2 = 0,8$  (приймається металеві одинарні плетіння, що відкриваються);

$\tau_3$ - Коефіцієнт, що враховує потри світла в несучих конструкціях, визначаємо за таблицею . $\tau_3 = 0,8$ ;

$\tau_4$ - Коефіцієнт, що враховує потри світла в сонцезахисних пристроях, (сонцезахисні пристрої відсутні, $\tau_4 = 1$ );

$\tau_5$ - Коефіцієнт, що враховує потри світла в захисній сітці, що встановлюється під ліхтарями, що приймається рівним 0,9.

$K_{зв}$  - коефіцієнт запасу таблиця 4.3 -  $K_{зв} = 1,5$ ).

Геометричний КЕО при верхньому освітленні обчислюється за такою формулою 4.4:

$$\varepsilon_B = 0,01 \cdot n_3 \cdot n_2, \% \quad 4.4$$

де  $n_3$  і  $n_2$  визначаються при суміщенні поперечного розрізу приміщення з графіком III, а поздовжнього розрізу з графіком II;



Таблиця 4.1 Розрахунок параметрів верхнього природного освітлення приміщення (1)

№ точки.	εв, %	εрв, %
1	1,39	0,74
2	3,74	1,42
3	4,51	1,64
4	3,63	1,39
5	4,61	1,67
6	4,1	1,52
7	3,63	1,39
8	4,08	1,52
Середнє	3,71	1,45

Середнє значення КЕО від системи комбінованого природного освітлення визначається так

$$e_{рк}^{cp} = (e_1/2 + e_2 + \dots + e_n/2) / (N-1). \quad 4.5$$

Для оцінки отриманого результату визначається оціночний показник П[2]

$$П = \frac{e_{рк}^{cp} - e_{нв}}{e_{нв}} 100 = \frac{1,45 - 1,44}{1,44} 100 = 0,7\%,$$

що відповідає нормативним вимогам згідно з додатком Л[1] (значення П має входити до рекомендованого діапазону  $\square 10\%$ ).

Це свідчить, що знайдена система верхнього природного освітлення, виконана зенітними ліхтарями розміром  $1,7 \times 1,7$  м, задовольняє світлотехнічним нормам ділянки фасування.

Приміщення (16). Є вузьким (шириною 6 м) і довгим (на всю довжину

будівлі – 72 м) приміщенням. Оскільки в цьому приміщенні також виконуються зорові роботи V розряду, то нормативне значення КЕО буде таким самим, як і в попередньому випадку  $\epsilon_{\text{нв}} = 1,44\%$ .

Приймаються три розрахункові точки. Дві по метру від стін та одна точка посередині.

На підставі попереднього розрахунку приймається один ряд ліхтарів з таким самим кроком, як і на попередній ділянці (див. рис. 4.1).

Слід зазначити, що у цьому приміщенні дещо більше впливатиме відбита складова, ніж у попередньому випадку. Для визначення  $r_2$  підраховується відношення висоти приміщення від умовної робочої поверхні до низу ліхтаря (низ покриття) до величини прольоту:  $4,7/6 = 0,78$ . Тоді  $r_2 = 1,5$  при одному прольоті та  $\rho_{\text{ср}} = 0,5$ .

Розрахунок здійснюється за тією самою формулою, і результати зводяться до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Розрахунок параметрів верхнього природного освітлення приміщення (16)

№ точ	$n_3$	$N_0$	$n_2$	$\epsilon_{\text{в}}, \%$	$\epsilon_{\text{рв}}, \%$
1	8	13	17,4	1,39	0,9
2	14,5	11	20,2	2,93	1,34
3	18	11	20,2	3,64	1,54
Середнє				2,65	1,28

Оціночний показник у разі дорівнює  $\Pi = -9,7 \%$ , що відповідає нормативним вимогам.

Слід зазначити при цьому, в даному приміщенні має бути виконане дуже світле оздоблення внутрішніх поверхонь.

Приміщення (13). Це відділення розташоване між осями Н – К та 9 – 10/1. Ширина приміщення 12,14 м, а довжина становить 9,55м. Тут можна прийняти тільки верхнє освітлення. Оскільки виконуються зорові роботи V розряду, то  $e_{нв} = 1,44\%$ .

У характерного розрізу, в якому розташовуються 5 розрахункових точок, проходить посередині ліхтаря паралельно цифровій осі.

Для покритті є квадратний отвір розміром  $2,7 \times 2,7$  м, який можна використовувати під зенітний ліхтар  $2,2 \times 2,2$  м у плані.

Площина цього приміщення параметри  $\tau_{\phi} = 0,432$ ,  $K_{\phi} = 1,1$ ,  $K_{зв} = 1,5$  залишилися такими ж, як на ділянці фасування, за винятком  $r_2$ . Відношення висоти приміщення від рівня умовної робочої поверхні до низу ліхтаря (низ покриття) величини прольоту:  $4,7/12,4 = 0,38$ . Тоді  $r_2 = 1,3$  при одному прольоті та  $\rho_{ср} = 0,4$ . Розрахунок здійснюється за тією ж формулою при верхньому освітленні, і результати зводяться до таблиці 4.3.

Оцінний показник  $\Pi = -7,6\%$ , що відповідає нормативним вимогам.

Отже, одного ліхтаря розміром  $2,2 \times 2,2$  м достатньо для природного освітлення в приміщенні

Приміщення (12). Це приміщення розташоване між осями Н – К та 10/1 – 13. Ширина приміщення 12,14 м, а довжина становить 14 м. Тут також виконуються зорові роботи V розряду,  $e_{нв} = 1,44\%$ .

Таблиця 4.3 Розрахунок параметрів верхнього природного освітлення приміщення (12)

№ точ.	$n_3$	$N_0$	$n_2$	$\epsilon_B, \%$	$\epsilon_{рв}, \%$
1	19	12	24,3	4,6	1,71
2	22,2	11	27,7	6,15	2,16
3	14,2	12	24,3	3,41	1,37
4	5,2	15,5	20,1	1,05	0,69
5	1,9	20	15,2	0,29	0,47
Середнє				3,1	1,33

У покритті є два квадратні отвори розміром  $2,7 \times 2,7$  м, які можна використовувати під зенітні ліхтарі  $2,2 \times 2,2$  м у плані.

Площина характерного розрізу, в якому розташовуються 5 розрахункових точок, проходить посередині приміщення між ліхтарями паралельно цифрової осі. Інші параметри ті самі, що й у попередньому випадку. Розрахунок здійснюється за тією ж методикою та результати зводяться до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 Розрахунок параметрів верхнього природного освітлення приміщення (13)

№ точ	$n_3$	$N_0$	$n_2$	$\epsilon_B, \%$	$\epsilon_{PB}, \%$
1	19	12	24	4,56	1,8
2	22,2	11	22,8	5,06	1,9
3	14,2	12	24	3,41	1,4
4	5,2	15,5	23,2	1,21	0,8
5	1,9	20	20,8	0,4	0,6
Середнє				2,93	1,325

Оцінний показник  $\Pi = -8\%$ , що відповідає нормативним вимогам.

Отже, двох ліхтарів розміром  $2,2 \times 2,2$  м достатньо для природного освітлення .

Приміщення (14). Є довгим і вузьким у плані приміщенням шириною 4 м довжиною 24 м, в якому здійснюються зорові роботи IV розряду.

$$\epsilon_{PB} = \epsilon_{N_{BO}} \cdot m = 2,4 \cdot 0,8 = 1,92\%.$$

Оскільки приміщення вузьке, приймаємо 3 розрахункові точки, відстань між якими 0,5 м, а крайні точки 6 і 8 відстоять від стін також на 1 м. Характерний розріз розташовується посередині довжини приміщення, тобто. по осі 11.

Відношення висоти приміщення від рівня умовної робочої поверхні до низу купола (низ покриття) до величини прольоту:  $4,7/4 = 1,18$ . Тоді  $r_2 = 1,5$  при одному прольоті та  $\rho_{CP} = 0,5$ . Інші параметри ті самі, що й у попередньому прикладі.

Варіант освітлення базується на основі пробивання чотирьох отворів під Світлові куполи розміром 1,7×1,7 м (див. рис. 4.1). Результати розрахунку зведено до таблиці 4.5.

Оцінний показник дорівнює  $\Pi = -9,9\%$ , що допустимо.

Таблиця 4.5 Розрахунок параметрів остаточного варіанту системи верхнього природного освітлення

№ то.	$n_3$	$N_0$	$n_2$	$\epsilon_{\text{в}}, \%$	$\epsilon_{\text{рв}}, \%$
6	14,5	11,2	21,1	3,06	1,55
7	17,7	10,8	22	3,89	1,79
8	17,3	10,8	22	3,81	1,77
Середнє				3,59	1,73

Результати розрахунку показали, що чотири ліхтарі розміром 1,7 × 1,7 м достатньо для природного освітлення приміщення (14).

Приміщення (15) Дане приміщення з розмірами у плані 16 × 24 м розташоване між осями К – Е та 9 – 13. Тут здійснюється загальне періодичне спостереження навколишнього простору і тому розряд зорової роботи VIII.

$$\epsilon_{\text{нв}} = \epsilon_{\text{нво}} \cdot m = 0,5 \cdot 0,8 = 0,4\%.$$

Відповідно до розрахунків, двох куполів по осях 10 та 12 розміром 2,2 × 2,2 м достатньо для природного освітлення приміщення.

В приміщенні (9) розряд зорових робіт V, можна зробити наступний висновок. Існуючі три отвори розміром 2,2 × 2,2 м достатні для забезпечення нормативних вимог природного освітлення,

Приміщення (7) та (8). Приміщення (7) шириною 6 м і довжиною 12 м. У цьому приміщенні виконуються зорові роботи високої точності (III розряд). Нормативне значення КЕО буде:

$$\epsilon_{\text{нв}} = \epsilon_{\text{нво}} \cdot m = 3 \cdot 0,8 = 2,4\%.$$

Приймаються три розрахункові точки. Дві крайні по метру від стін та одна точка посередині. Схема розташування куполів така. У поперечному напрямку розташовується один купол, а в поздовжньому – 2 розміром  $2,2 \times 2,2$  м у плані з відстанню між ними 6 м (рис.1).

Для визначення  $r_2$  підраховується відношення висоти приміщення від умовної робочої поверхні до низу купола (низ покриття) до величини прольоту:  $4,7/6 = 0,78$ . Тоді  $r_2 = 1,5$  при одному прольоті та  $\rho_{cp} = 0,5$ .

Розрахунок здійснюється за тією ж формулою для верхнього освітлення, і результати зводяться до таблиці 4.6.

Оцінний показник дорівнює  $\Pi = -6\%$ , що цілком допустимо.

Оскільки в приміщенні (8) такий самий розряд зорових робіт, як і в (7), але площа дещо менша, то розрахована система підійде і для (7).

Результати розрахунку показали, що двох ліхтарів розміром  $2,2 \times 2,2$  м достатньо для природного освітлення приміщень (7) та (8).

Таблиця 4.6 Розрахунок параметрів остаточного варіанта системи верхнього природного освітлення приміщення (7)

№ точ	$n^3$	$N_0$	$n_2$	$\epsilon_B, \%$	$\epsilon_{pB}, \%$
1	10,9	13	25	2,73	1,66
2	20	11,2	25,2	5,04	2,33
3	24	10,8	26	6,24	2,67
Середнє				4,67	2,25

Висновок. Метод диференційованого підходу при аналізі природного освітлення в приміщеннях торговельного центру, що реконструюється, дозволив визначити найбільш раціональну систему природного освітлення, оптимізувавши при цьому світлове середовище і забезпечивши мінімальні експлуатаційні енерговитрати.

## ВИСНОВОК

Світлові куполи та зенітні ліхтарі представляють собою архітектурні рішення, спрямовані на використання природного світла для освітлення внутрішніх приміщень будівель. Вони виглядають подібно, але можуть мати різні технічні та функціональні характеристики. Давайте розглянемо основні відмінності між світловими куполами та зенітними ліхтарями:

### 1. Схожість у функції:

- Світлові куполи: Це вікна або куполоподібні конструкції, розташовані на даху будівлі, що дозволяють природньому світлу проникати усередину.
- Зенітні ліхтарі: Вони також розташовані на даху та мають за мету пропускати світло в приміщення. Ліхтарі можуть мати різні форми, такі як прямокутні, круглі чи інші.

### 2. Форма та конструкція:

- Світлові куполи: Зазвичай круглі чи овальні, і виглядають як куполи або півкулі на даху.
- Зенітні ліхтарі: Можуть мати різні форми, включаючи геометричні конфігурації, такі як квадрати, прямокутники або інші.

### 3. Технічні особливості:

- Світлові куполи: Можуть мати структуру з прозорого скла або інших матеріалів, призначених для максимального пропускання світла.
- Зенітні ліхтарі: Також зазвичай виготовлені з прозорих матеріалів, але можуть використовувати технології, які розсіюють або розсіюють світло для зменшення сліпучості.

### 4. Можливості регулювання:

- Світлові куполи: Деякі моделі можуть мати механізми регулювання, які дозволяють контролювати кількість світла, розсуванням



штор або використанням оптичних елементів.

- Зенітні ліхтарі: Також можуть мати системи регулювання для керування інтенсивністю та напрямком світла.

Як правило, обидві конструкції використовуються з метою ефективного використання природного світла, але вибір між світловими куполами та зенітними ліхтарями може залежати від архітектурних, функціональних та енергозберігаючих вимог конкретного проекту.

Світлові куполи, як архітектурний елемент, виявляються ефективним та функціональним рішенням для поліпшення освітлення в приміщеннях.

Позитивні аспекти включають не лише забезпечення денного світла, а й створення враження простору, архітектурної естетики та індивідуальності. Крім того, світлові куполи можуть виконувати роль елемента дизайну, додаючи унікальний характер будівлі.

Однак при використанні світлових куполів важливо розглядати інженерні та екологічні аспекти. Деякі виклики можуть включати ефективність ізоляції, регулювання тепла та пристосування до різних погодних умов.

У великому і поглибленому висновку, світлові куполи можуть істотно підвищити якість освітлення в будівлі, сприяти збереженню енергії та додавати архітектурну привабливість.

Переваги будівництва світлових куполів:

1. Природне освітлення: Світлові куполи дозволяють використовувати природне світло, що поліпшує освітлення в приміщенні та сприяє зменшенню використання штучного освітлення.

2. Енергоефективність: Зменшення залежності від штучного освітлення допомагає знижувати витрати на електроенергію, що сприяє сталому розвитку та зменшенню енергетичного відбитку будівлі.

3. Архітектурна естетика: Світлові куполи можуть служити не лише функціональною, але і декоративною роллю, надаючи будівлі унікальний

індивідуальний стиль.

4. Створення враження простору: Дизайн з використанням світлових куполів може зробити приміщення виглядати більш просторим та відкритим.

Недоліки будівництва світлових куполів:

1. Тепловтрати: Неправильне утеплення або конструкція купола може призводити до тепловтрат, особливо в холодний період.

2. Проблеми з витоком тепла: Куполи можуть бути місцем, де відбуваються витоки тепла, особливо якщо вони не належним чином утеплені чи вентилязовані.

3. Системи вентиляції: Необхідність врахування вентиляційних систем для уникнення перегріву влітку та забезпечення нормального обміну повітрям.

4. Витрати на будівництво: Створення та утримання світлових куполів може бути вартісним процесом, що вимагає додаткових витрат на матеріали та інженерно-технічні рішення.

5. Можливість конденсації: У випадку неправильного утеплення чи вентиляції, може виникнути проблема з конденсацією водяної пари, що може впливати на стан конструкції та комфорт усередині приміщення.

У реалізації світлових куполів важливо уважно враховувати ці переваги та недоліки, враховуючи конкретні умови будівництва та вимоги користувачів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1 ДБН В.1.2-8:2021 Основні вимоги до будівель і споруд. Гігієна, здоров'я та захист довкілля [Чинний від 2022-09-01]. Вид офіц. Київ, Міністерство регіонального розвитку та будівництва України 2022. 2с.

2 ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення [Чинний від 2019-03-01]. Вид офіц. Київ, Міністерство регіонального розвитку та будівництва України 2018. 24с.

3 Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Покрівлі (Збірник 12) [Чинний від 2023-02-22]. Вид офіц. Київ, Міністерства розвитку громад та територій України 2021. 6с.

4 Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Роботи при реконструкції будівель та споруд (Збірник 46) [Чинний від 2023-02-22]. Вид офіц. Київ, Міністерства розвитку громад та територій України 2021. 9с.

5 ДСТУ 8980:2020 Легкоскидні огорожувальні віконні конструкції, легкоскидні zenітні ліхтарі та вибухорозрядні стінові панелі для пожежовибухонебезпечних виробництв. Технічні вимоги [Чинний від 2020-05-15]. Вид офіц. Київ, Технічний комітет стандартизації «Вибухозахищене обладнання» (ТК 187) 2020. 11с.

6 ДБН В.1.2-2:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зміна № 1 [Чинний від 2007-01-01]. Вид офіц. Київ, Міністерство регіонального розвитку та будівництва України 2007. 14с.

7 А. Н. Шихов, Д. А. Шихов Архитектурная и строительная физика. Учебное пособие 2013. 233с

8 Айзенберг Ю.Б. Системы автоматизированного управления освещением общественных зданий. – М.: Дом света, 1998. – 158 с. 2.

- 9 Петров В.И. Энергосберегающие системы освещения зданий. – М.: Энергия, 1999. – 204 с.
- 10 ДБН В.1.2-11:2021 Основні вимоги до будівель і споруд, енергозбереження та енергоефективність. [Чинний від 2017-01-01]. Вид офіц. Київ, Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 2017. 21 с.
- 11 ДБН А.3.1-5-2016 Організація будівельного виробництва. [Чинний від 2016-08-01]. Вид офіц. Київ, Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 2016. 51 с.
- 12 ДБН В. 1.1 -7-2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2022-09-01]. Вид офіц. Київ, Міністерство розвитку громад на території України 2022. 39 с.
- 13 Nick Baker, Koen Steemers "Daylighting in Architecture: A European Reference Book" 1993. 256 с
- 14 Gregg D. Ander, Olga Popovic Larsen "Daylighting Design: Planning Strategies and Best Practice Solutions" 2014. 224 с
- 15 Marc Fontoynt "The Daylight Site: Evaluating the Daylighting Performance of New and Existing Buildings" 2012. 304 с