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

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота/проєкт

другий магістерський рівень
(рівень вищої освіти)

на тему: **«Технології використання звукоізоляції світлопрозорих конструкцій при будівництві цивільних споруд»**

Виконав: студент 2 курсу, групи: 8.1923– пцб –1

спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)

освітньої програми промислове і цивільне будівництво

Григор`єв Денис Олександрович
(прізвище та ініціали)

Науковий керівник проф., д.т.н. Радкевич А. В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент проф., д.е.н. Анін В.І.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя – 2024 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра Промислового та цивільного будівництва
Рівень вищої освіти другий магістрський рівень
(другий (магістерський) рівень)
Спеціальність 192 "Будівництво та цивільна інженерія"
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма "Промислове і цивільне будівництво"
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ПЦБ
проф. Арутюнян І.А.
«____» _____ 20___ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Григор`єв Денис Олександрович
(прізвище, ім`я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкту): Технології використання звукоізоляції світлопрозорих конструкцій при будівництві цивільних споруд
Науковий керівник Радкевич А.В., професор, д.т.н
(прізвище, ім`я по батькові, науковий ступень, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від "30" 09 2024 року № 1486 – с
2. Строк подання студентом роботи 01 грудня 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи Технології використання звукоізоляції світлопрозорих конструкцій при будівництві цивільних споруд
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
1. Розробка наукових та проєктних рішень звукоізоляції з використанням скляних стін; 2. Розробка пропозицій зі створення ефективної системи природнього освітлення та звукоізоляції цивільних будівель; 3. Розробка технологічних параметрів використання скляних стін цивільних будівель.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов`язкових креслень)
8 листів формату А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	проф., д.т.н. Радкевич А.В.		
Розділ 2	проф., д.т.н. Радкевич А.В.		
Розділ 3	проф., д.т.н. Радкевич А.В.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфкаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка наукових та проєктних рішень звукоізоляції з використанням скляних стін;		
2.	Розробка пропозицій зі створення ефективної системи природнього освітлення та звукоізоляції цивільних будівель;		
3.	Розробка технологічних параметрів використання скляних стін цивільних будівель.		

Студент _____ (підпис) Григор`єв Д.О. (прізвище та ініціали)

Керівник роботи/проєкту _____ (підпис) Радкевич А.В. (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено _____ (підпис) Данкевич Н.О. (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Григор`єв Денис Олександрович. Технологія використання звукоізоляції світлопрозорих конструкцій при будівництві цивільних споруд.

Науковий керівник - професор кафедри промислового та цивільного будівництва А.В. Радкевич. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2024 р.

Розглянуто розрахунок теплонадходжень та тепловтрат через склопакети при застосуванні стекол з низькоемісійним покриттям для міст України. Визначено умову, за якої заміна склопакетів на енергозберігаючі не призводить до втрат теплоти більших, ніж скорочення теплонадходжень від сонячної радіації. Проведено розрахунок щодо виконання цієї умови та показано, що для деяких міст недоцільна заміна склопакетів на енергозберігаючі з сонцезахисними функціями. Запропоновано показник співвідношення тепловтрат і теплонадходжень, за яким проведено оцінку ряду склопакетів.

Розроблено методику вибору склопакетів за величиною їх світлопропускання, для забезпечення нормованої величини коефіцієнта природного освітлення.

Ключові слова: звукоізоляції світлопрозорих конструкцій, скло, склопакети, світлопропускання, коефіцієнт природного освітлення (КЕО).

ANNOTATION

Lesnov Mykola Oleksandrovych. The Technology of Using Sound Insulation of Translucent Structures while Constructing Civil Structures.

Scientific supervisor - Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering A.V. Radkevych. Zaporizhzhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebny, Department of Industrial and Civil Engineering, 2024

The calculation of heat gains and heat losses through double-glazed windows when using low-emission glass for cities in Ukraine is considered. The condition is determined under which the replacement of double-glazed windows with energy-saving ones does not lead to heat losses greater than the reduction of heat gains from solar radiation. The calculation is carried out to fulfill this condition and it is shown that for some cities it is inappropriate to replace double-glazed windows with energy-saving ones with sun-shielding functions. The indicator of the ratio of heat losses and heat gains is proposed, according to which a number of double-glazed windows are evaluated.

A method for selecting double-glazed windows by the value of their light transmission is developed to ensure the normalized value of the coefficient of natural lighting.

Keywords: sound insulation of translucent structures, glass, double-glazed windows, light transmission, daylight coefficient (KEO).

ЗМІСТ

стр.

ВСТУП.....8

1. ЗВУКОІЗОЛЯЦІЯ ФАСАДНИХ СВІТЛОПРОЗОРИХ КОНСТРУКЦІЙ.…….....9

1.1 Правильна звукоізоляція фасадних світлопрозорих конструкцій... 9

1.2 Яким чином можна збільшити звукоізоляцію світлопрозорої конструкції……..…….....11

1.3 Фасадне скління – його звукоізоляційні властивості 13

1.4 Звукоізоляційні характеристики скління 16

1.5 Звукоізоляція та шумоізоляція у власній квартирі 27

1.6 Як зробити шумоізоляцію світлопрозорих в квартирі 28

1.6.1 Звукоізоляція світлопрозорих нежитлових приміщень 30

1.6.2 Звукоізоляція світлопрозорих виробничих приміщень 31

2 ТЕХНОЛОГІЯ МОНТАЖУ ЗВУКОІЗОЛЯЦІЇНИХ СВІТЛОПРОЗОРИХ ФАСАДІВ …….....…...33

2.1 Монтаж фасадних конструкцій. Фасадні системи кріпляться на опорні конструкції ……..……33

3 ТЕПЛОВТРАТИ ТА ТЕПЛОНАДХОДЖЕННЯ ЧЕРЕЗ СКЛОПАКЕТИ З ПІДВИЩЕНИМИ ТЕПЛОЗАХИСНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ.....40

3.1 Оцінка ефективності заміни склопакетів за величиною тепловтрат та теплонадходжень 40

3.1.1 Оцінка ефективності заміни склопакетів за величиною тепловтрат та теплонадходжень 41

3.1.2 Порівняльний аналіз характеристики склопакетів 44

3.1.3 Результати порівняння енергозберігаючого ефекту при заміні склопакетів для різних регіонів 45

3.2 Аналіз тепловтер приміщень через системи природного освітлення 48

3.3 Оцінки застосування склопакетів для забезпечення нормованого природного освітлення у приміщеннях 57

ВИСНОВКИ ……..65

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ……...67

ВСТУП

Мета роботи: Метою магістерської роботи є пошук шляхів використання конструктивних та об'ємно-планувальних рішень в технологіях використання скляних огороджуючих конструкцій при будівництві цивільних споруд.

Для досягнення поставленої мети сформовано наступні задачі:

– розробка наукових та проєктних рішень звукоізоляції з використанням скляних стін;

– розробка пропозицій зі створення ефективної системи природнього освітлення та звукоізоляції цивільних будівель;

– розробка технологічних параметрів використання скляних стін цивільних будівель.

Об'єктом дослідження є багатоповерхові цивільні будівлі, конструктивні та об'ємно-планувальні рішення звукоізоляції з використанням скляних стін.

Предметом дослідження технологія використання конструктивних та об'ємно-планувальних рішень звукоізоляції скляних стін та перегородок в цивільному будівництві.

Наукова новизна узагальнено основні теоретичні та практичні положення проєктування та зведення багатоповерхових будівель зі скляними стінам.

Структура і об'єм магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, висновку, списку використаних джерел. Повний об'єм магістерської роботи складає 73 сторінок тексту, у тому числі 25 рисунків, 8 таблиць. Список використаних джерел містить 42 найменувань.

1 ЗВУКОІЗОЛЯЦІЯ ФАСАДНИХ СВІТЛОПРОЗОРИХ КОНСТРУКЦІЙ

1.1 Правильна звукоізоляція фасадних світлопрозорих конструкцій

Нові будівлі все частіше будуються на ділянках, що зазнають потужного акустичного впливу інтенсивних транспортних потоків. Для житлових і громадських будівель найбільш несприятливими зовнішніми джерелами шуму є автомагістралі, аеропорти, залізничні та трамвайні колії, а також зовнішнє інженерне обладнання. Тому все більшого значення набувають питання звукоізоляції фасадних світлопрозорих конструкцій.

Скло є одним з основних матеріалів, що застосовуються у будівництві для влаштування фасадів. До його переваг можна віднести високу прозорість, що не змінюється з часом, хімічну інертність, а також високі естетичні якості скляної поверхні.

Фасадні світлопрозорі конструкції повинні мати необхідну міцність, герметичність, теплозахисні, світлотехнічні та звукоізоляційні якості.

У питаннях захисту будівель від зовнішніх джерел шуму першорядне значення має забезпечення необхідної звукоізоляції віконних конструкцій, так як звукоізоляційні властивості глухої частини зовнішнього огородження мають свідомо вищі значення, ніж засклений віконний отвір. Якщо конструкція зовнішньої огорожі сучасної будівлі з цегли або бетону забезпечує індекс ізоляції повітряного шуму (R_w) не нижче 52-54 дБ, то для вікон досягнення такого рівня звукоізоляції неможливе.

Через низьку масу віконної конструкції кількість звукової енергії, що передається через нього, більша, ніж у масивної частини глухої стіни. Будь-яке світлопрозоре огородження є коливальну систему, тому її звукоізоляція

значною мірою визначається різного роду резонансними явищами, що виникають в області діапазону частот, що нормується. У будівельній акустиці цей діапазон встановлено у межах від 100 до 3150 Гц. Вимоги до звукоізоляції віконних конструкцій викладено у низці нормативних документів, розроблених нині в Україні. При цьому як нормовані параметри прийняті такі інтегральні характеристики, як індекс ізоляції повітряного шуму закритих вікон (R_w, дБ), ізоляція зовнішнього шуму, що виробляється потоком міського транспорту ($R_{Атранс}$, дБА) і клас звукоізоляції, що визначається за величиною $R_{транс}$. Рівні зовнішнього шуму, що проникає у приміщення через засклені огорожі, не повинні перевищувати значень, встановлених главою ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будівель та споруд від шуму». У світовій практиці раніше використовували у стандартах різні індекси звукоізоляції. В даний час вони замінені єдиним числовим індексом Rw (C; C_{tr}), встановленим у стандарті EN ISO 717-1.

Уніфікований індекс, встановлений стандартом EN ISO 717-1, в дійсності поєднує три різні показники і визначається таким чином за формулою1.1:

$$R_w\ (C;\ C_{tr}) \qquad (1.1)$$

де R_w показник, званий зваженим індексом звукоізоляції

C поправочне значення для рожевого шуму (високі частоти)

C_{tr} - поправочне значення для транспортного шуму (низькі частоти).

Два поправочні коефіцієнти були введені для того, щоб враховувати тип шуму, від якого вимагається захист. Поправка C відноситься до шуму, в якому переважають високі та середні частоти. Виправлення C_{tr} відноситься до шуму з переважанням низьких і середніх частот (транспортний шум). Ці виправні значення, вибір яких залежить від джерела шуму, додаються до

уніфікованого показником. Отже, в залежності від необхідності значення звукоізоляції скління може оцінюватися за індексом (R_w + C) або (R_w + C_{tr}).

Из конструктивных факторов, формирующих звукоизоляционные свойства оконных конструкций, значение имеют:

– толщина и количество стекол в стеклопакете (поверхностная масса ограждения);

– величина воздушного промежутка между стеклами;

– плотность притворов створки в оконной раме.

1.2 Яким чином можна збільшити звукоізоляцію світлопрозорої конструкції

З акустичної точки зору більш доцільним є збільшення товщини скла у склопакеті та повітряного проміжку між ними.

Як показують дослідження, кількість камер у склопакеті має далеко не головне значення і збільшення кількості скла не завжди призводить до бажаного результату.

Якщо розглядати два склопакети (однокамерний і двокамерний) однакової товщини і з однаковою сумарною товщиною скла, виявиться, що однокамерний склопакет матиме більш високе значення індексу ізоляції повітряного шуму R_w в порівнянні з двокамерним.

Наприклад, однокамерний склопакет з формулою 6-20-6 має більш високу звукоізоляцію, в порівнянні з двокамерним склопакетом з формулою 4-10-4-10-4, де 6 і 4 - це товщина скла, а 20 і 10-ширина повітряних проміжків між склом. І це незважаючи на те, що в обох випадках загальна товщина склопакетів та сумарна товщина скла однакова.

Звукоізоляцію вікна з потрійним склінням можна підвищити, якщо середнє скло наблизити до одного з крайніх стекол (так званий асиметричний

склопакет). Найбільш ефективною конструкцією, з точки зору звукоізоляції, є роздільно-спарене вікно з двома стулками, в одну з яких, як правило, у внутрішню, встановлюється однокамерний склопакет з двома стеклами по 6-8 міліметрів, а у зовнішню раму ставиться одинарне скло завтовшки 8 -10 мм. При загальній товщині такого віконного блоку 120-150 мм можна забезпечити індекс звукоізоляції повітряного шуму 44-46 дБ.

Подальше поліпшення показників звукоізоляції склопакетів (на величину 2-3 дБ) може бути досягнуто застосуванням багатошарового скла (триплексів), склеєних за допомогою прозорої в'язкоеластичної плівки PVB. Всупереч поширеній думці закачування в міжскляне простір інертних газів (аргон, криптон) не істотно впливає на звукоізоляцію склопакета. Різниця може становити трохи більше 1 дБ, що можна порівняти з похибкою вимірів. Винятком є лише шестифториста сірка (SF6), застосування якої може збільшити звукоізоляцію склопакета на величину 2-4 дБ. Але шестифториста сірка є пальним газом і робота з ним потребує обережності та особливої уваги.

Великий вплив на звукоізоляцію вікна робить герметичність притворів. Високу звукоізоляцію неможливо забезпечити без застосування як мінімум двох повноцінних контурів ущільнення стулки у віконній рамі.

При вирішенні питання підвищення звукоізоляції вікон доводиться стикатися з проблемою забезпечення припливу повітря до приміщення при закритих вікнах. Очевидно, що коли для вентиляції відкриваються кватирки, немає сенсу посилювати звукоізоляцію вікна. Установка шумозахисних вікон має сенс, якщо використовувати пасивну або механічну систему припливно-витяжної вентиляції.

Наприклад, можна застосувати шумозахищені вентиляційні клапани, які вбудовуються у віконні блоки або зовнішні стіни і забезпечують приплив свіжого повітря і необхідне зниження шуму в режимі вентиляції (рис.1.1).



Рисунок 1.1 – Шумозахищений вентиляційний клапан

Необхідно відзначити, що допустимі рівні шуму від зовнішніх джерел у приміщеннях встановлюються за умови забезпечення нормативної вентиляції приміщень (для житлових приміщень, лікарняних палат, навчальних класів – при відкритих кватирках, фрамугах, вузьких стулках вікон).

1.3 Фасадне скління – його звукоізоляційні властивості

Окремо слід зупинитися на звукоізоляційних властивостях популярного нині суцільного скління фасадів житлових та громадських будівель.

Фасади з суцільним склінням є безперервною в горизонтальному і вертикальному напрямку зовнішню скляну оболонку. Зсередини скління виконується від підлоги до стелі, від стіни до стіни. Конструкції такого фасаду кріпляться шляхом їхнього підвішування до торців (передніх кромок) міжповерхових перекриттів за допомогою консольних кронштейнів.

Вибір архітектурного рішення світлопрозорого фасаду не може бути випадковим або ґрунтуватися лише на естетичних уподобаннях. Для різних типів будівель існують свої критерії використання скління фасадів, з яких найбільш важливими слід вважати функціональні.

Архітектура бізнес-центрів, банків, торгових, спортивних та розважальних центрів має тенденцію до значного збільшення площ скляних фасадів. Для таких будівель підходять фасадні системи зі стрічковим або суцільним склінням. Скління всієї зовнішньої стіни доречне та затребуване в престижних громадських будинках та спорудах.

Але в житлових будинках, в силу особливості планувальних рішень і більш жорстких вимог щодо звукоізоляції, суцільне скління можна застосовувати лише для огородження балконів, нижніх поверхів із громадськими приміщеннями та зимових садів на дахах. Іноді воно може використовуватися для віталень представницьких квартир та апартаментів.

Якщо архітектор планує оснастити багатоповерховий житловий будинок суцільним скляним фасадом, то в цьому випадку практично неможливо забезпечити нормативні вимоги щодо звукоізоляції огороджувальних конструкцій між квартирами. Це пов'язано з високою непрямою передачею шуму каркасом світлопрозорої фасадної конструкції.

Кілька років тому компанія SCHÜCO International KG спільно з Інститутом віконних технологій Розенхайм (Німеччина) провела масштабні випробування звукоізоляційних властивостей фасадних систем скління щодо оцінки непрямих шляхів поширення звуку.

Виявилося, що суцільні фасадні світлопрозорі конструкції обмежують рівень звукоізоляції бетонних міжповерхових перекриттів та міжквартирних стін завбільшки не більше 44-46 дБ.

У той час, як згідно з вимогами ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будівель та споруд від шуму» стіни, підлоги та стелі, що захищають конструкції, що відокремлюють суміжні квартири в житлових будинках повинні забезпечувати індекс ізоляції повітряного шуму R_w не менше 52 дБ .

Проблему небажаного поширення шуму фасадної конструкції можна конструктивно вирішити, наприклад, використанням т.д. н. подвійних фасадів (рис 1.2).



Рисунок 1.2 – Подвійні фасадне скління

Подвійні фасади припускають суцільне фасадне скління, але відрізняються тим, що мають основний - внутрішній і додатковий - зовнішній шари. Внутрішній та зовнішній шари фасаду влаштовуються на різній відстані одна від одної, яка може становити від кількох десятків сантиметрів до 2-х метрів. При цьому додатковий зовнішній шар, як правило, має одинарне скління та виконує функції захисту від поривів вітру, опадів та сонця. Він може мати рами, що відкриваються, і сонцезахисні жалюзі. Основний внутрішній шар містить одинарні або подвійні склопакети і монтується між перекриттями та міжквартирними стінами.

Такий підхід дозволяє забезпечити відповідність фасадної поверхні єдиній архітектурній ідеї та одночасно виконати нормативні вимоги щодо звукоізоляції огороджувальних конструкцій.

Підсумовуючи, слід зазначити, що використання в архітектурному проекті світлопрозорих фасадних конструкцій вимагає розгляду низки питань. Необхідно враховувати позитивні та негативні властивості

конструкцій, що розглядаються, і доцільність їх застосування в будинках різного призначення.

Одним з інструментів, покликаних допомогти архітектору в прийнятті рішення, є розробка проекту «Захист від шуму», що передбачає проведення попередніх акустичних розрахунків, інструментальну оцінку впливу на будівлю транспортного шуму, побудову локальних та територіальних карт шуму, вибір оптимальної конструкції фасадного скління та складу застосовуваних склопакетів. з погляду будівельної акустики.

Такий підхід дозволить розробляти архітектурно-мистецький вигляд сучасних будівель, враховуючи містобудівне оточення та архітектурно-планувальні рішення, а також ув'язати функціональні, конструктивні та технологічні вимоги до проектованих об'єктів.

1. 4 Звукоізоляційні характеристики скління

Середні величини індексів звукоізоляції, що наводяться у більшості джерел по вікнах, далеко не завжди відображають дійсні звукозахисні якості скління. Для об'єктивної оцінки необхідне уявлення про роботу як окремих стекол, так і конструкції загалом у різних частотних діапазонах.

За своєю основою основна частка шумових впливів на вікна посідає так званий повітряний шум, що виникає при випромінюванні звуку в повітряний простір. Випромінений звук досягає будь-якої огорожі і викликає його коливання. Огорожа, що коливається, у свою чергу, випромінює звук у суміжне приміщення, і таким чином повітряний шум досягає людини, що сприймає його.

Кожне окреме скло, що піддається впливу звукових хвиль, що падають, слід розглядати як тонку пластину, що отримує під зовнішнім впливом деформації вигину. Рис. 1 показані частотні характеристики ізоляції

повітряного шуму одиночним склом різної товщини, розраховані за програмою ZVUK1. В основу алгоритму програми покладено методику ДБН В.1.2-10:2021 «Захист шуму та вібрації». Побудова розрахункової кривої здійснюється, виходячи з експериментально встановленої залежності, що визначає наявність двох частотних діапазонів звукоізоляції розділених граничною частотою fгр. На цій частоті швидкість згинальних хвиль у конструкції збігається зі швидкістю звуку у повітрі. На частотах вище граничної довжина згинальної хвилі L і дорівнюватиме сліду довжини хвилі L падаючого звуку. Це явище отримало назву хвильовий збіг або просторово-частотний резонанс. При хвильовому збігу розподіл тиску поверхні конструкції точно відповідає розподілу амплітуд її власних коливань, що призводить до різкого збільшення інтенсивності згинальних коливань і, відповідно, до різкого зниження звукоізоляції.



Рисунок 1.3 – Частотні характеристики ізоляції повітряного шуму поодиноким склом різної товщини h:

1 – h = 3 мм, m = 7.5 кг/м^2;

2 – h = 4 мм, m = 10 кг/м^2;

3 – h = 6 мм, m = 15 кг/м^2;

4 – h = 8 мм, m = 20 кг/м^2,

5 – нормативна крива ізоляції повітряного шуму,

6 – цегляна кладка r = 1900 кг/м^3, h = 250 мм, m = 475 кг/м^2

При цьому на ділянках до граничної частоти та після неї звукоізоляція змінюється відповідно до закону маси, який може бути записаний у вигляді за формулами 1.2; 1.3.:

для частот $f < f_{гр}$ як:

$$R_i = 20 \lg m_{fi} – 42 – 6 \quad (1.2)$$

для частот $f > f_{гр}$ як:

$$R_i = 20 I_g m_{fi} – 42 – 16 \quad (1.3)$$

де R_i - звукоізоляція конструкції на і-ій частоті, [дБ]

f_i – частота, [Гц];

m = r/h – поверхнева щільність (маса одиниці площі конструкції), [кг/м^2];

r – об'ємна вага матеріалу конструкції, [кг/м^3], для скла r = 2500 кг/м^3;

h – товщина конструкції, [м].

Всі відхилення вниз від нормативної кривої слід розглядати як невідповідність конструкції вимогам, що висуваються в даній точці частотного діапазону.

При цьому відповідно до табл. 1 відчутною величиною слід вважати негативне відхилення понад 10-15 Дб.

Таблиця 1.1 Нормативні криви

Рівень звукового тиску, дБ	Джерело шуму	Примітки
0	Повна тиша	Пригнічує
10	Шелесті листя	Стан звукового комфорту
35-40	Тиха розмова, тиха музика	
60-70	Гучне мовлення	
75-80	Гучна музика, жвава транспортна магістраль	
100-120	Реактивний двигун літака	
130-140	Больовий поріг	

Крапка, що відповідає граничній частоті, є критичною. Досягнення необхідного значення звукоізоляції на цій частоті є досить важким без додаткових витрат на конструкцію. Тому основною метою акустичного проектування конструкцій, що захищають, є згладжування різких падінь звукоізоляції, викликаних хвильовим збігом, або максимально можливе виведення граничної частоти за межі слухового діапазону.

У тонких стекол (рис. 1.3) $f_{гр}$ посідає область високих частот. При цьому неважко помітити, що ніяке розумне збільшення маси (збільшення товщини) скла не зможе наблизити звукоізоляційні характеристики його до непрозорих ділянок стін (для порівняння наведена крива 6). В цьому випадку скоріше можливий зворотний результат - зміщення граничної частоти в найчутніші середні частоти з невеликим виграшем за рахунок деякого приросту звукоізоляції на менш значних низьких.

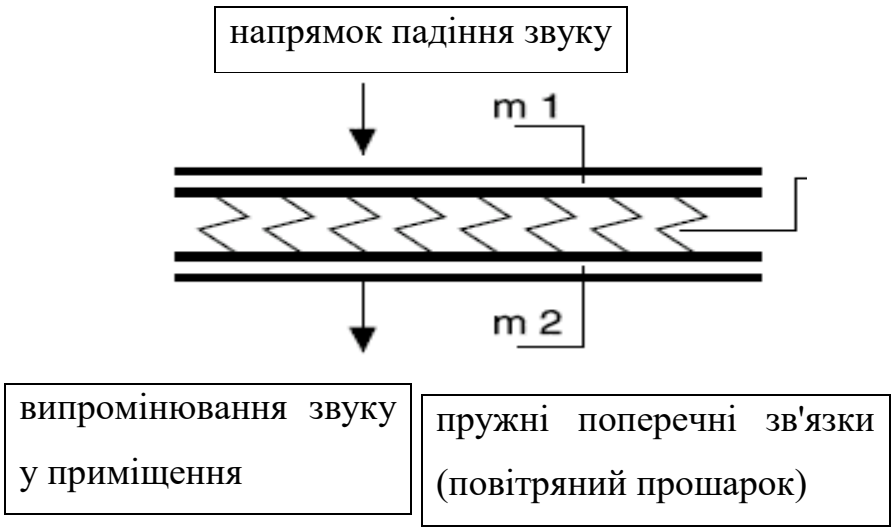


Рисунок 1. 4 – Проходження звуку через конструкцію скління

Додатковий приріст звукоізоляції скління можна отримати за рахунок встановлення двох (і більше) стекол, розділених повітряним проміжком. У будівельній акустиці такі конструкції прийнято представляти як систему двох мас з пружними поперечними зв'язками (рис. 1.4).

Передача звуку через таку конструкцію здійснюється в такий спосіб. Звукові хвилі, що падають на зовнішнє скло з поверхневою щільністю m_1, викликають у ньому згинальні коливання. Повітря, що знаходиться в прошарку, виконує роль амортизатора, в якому ці коливання згасають. Таким чином, на внутрішнє скло з поверхневою щільністю m_2, приходить вже ослаблена звукова дія, яка, у свою чергу, збуджує згинальні коливання в цьому склі. Внутрішнє скло, що коливається, випромінює звук у приміщення.

Таким чином, якщо порівняти дві конструкції - одношарову з масою 1м^2 $m = m_1 + m_2$ і двошарову m_1 + повітря + m_2, в останній порівняно з першою спостерігатиметься додаткова звукоізоляція DR, одержувана за рахунок пружної роботи повітря в прошарку.

При цьому сумарна звукоізоляція подвійного огородження R_2 визначатиметься за формулою (1.4)

$$R_2 = R_1 + DR \qquad (1.4)$$

де R_1 – ізоляція одного шару (найбільш масивного) з урахуванням хвильового збігу, [дБ]

DR – додаткова ізоляція, що розраховується за схемою коливальної системи "маса - пружність - маса", [дБ], що визначається як

$$DR = 20 \times \lg \times \{ 1 - (f / f_0) \times 2 \} \quad (1.5)$$

де f – поточна звукова частота, [Гц]

f_0 – частота своїх коливань системи "маса - гнучкість - маса", [Гц]

$f_0 = 60$

При заповненні проміжку між масивними шарами повітрям частота f_0 визначається за формулою 1.6:

$$(m_1 + m_2) / a \times m_1 \times m_2 \quad (1.6)$$

де a – товщина повітряного проміжку, [м]

Теоретично та експериментально встановлено, що система двох мас з пружними поперечними зв'язками має низку резонансів. Рисунок 1.5 принципово показана частотна характеристика подвійного скління. Характерною для цієї кривої є наявність декількох частотних діапазонів, що визначають звукоізоляцію конструкції.

На ділянці I у діапазоні частот до 100 Гц подвійна конструкція, згідно з теоретичними положеннями, поводиться як акустично однорідна конструкція, що має масу 1 $м^2$, рівну сумарній масі 1 $м^2$ двох стекол подвійної конструкції ($m = m_1 + m_2$).

Перший резонанс (ділянка II) має місце при збігу частоти звукових хвиль f, що падають, з власною частотою коливання скління f_0. На цій частоті

скла починають здійснювати ритмічні коливання, що підсилюють один одного, підвищуючи тим самим проходження звуку через скло. Значення додаткової ізоляції DR у формулі (1.6) у цей момент стає близьким до нуля, а ізоляція скління згідно (1.5) визначається ізоляцією одного, найбільш масивного скла. Як правило, резонансна частота конструкції з двома стеклами лежить у діапазоні частот від 100 до 400 Гц. Цей діапазон називатимемо резонансним.

На ділянці III діапазоні частот від 400 до 800 Гц спостерігається збільшення звукоізоляції відповідно до "законом маси", тобто. ізоляція зростає пропорційно до збільшення маси скла.

На ділянці IV, що називається діапазоном збігу, від 800 до 3000 Гц звукоізоляція конструкції погіршується за рахунок виникнення хвильового збігу в кожному зі стекол.

На ділянці V в діапазоні частот вище 3000 Гц спостерігається послідовний приріст ізоляції, проте ця ділянка, близька до межі діапазону, що нормується, практично не представляє інтересу для проектувальників.

Маса кожного зі стекол (m_1 і m_2), пружність повітряного прошарку, що залежить від її товщини a, і відношення частоти звуку, що впливає до своєї частоти коливань конструкції f/f_0 є факторами, що визначають передачу звукової енергії через конструкцію подвійного скління.

Як приклад, наведемо частотні характеристики деяких видів скління, розраховані за методикою ДБН В.1.2-10:2021 «Захист шуму та вібрації».

Аналізуючи разом (рис. 1.5 та рис. 1.6) можна простежити залежність впливу різних факторів на звукоізоляцію скління. При однаковій товщині скла, отже, і за однакової поверхневої щільності, частоти хвильового збіги обох стекол збігаються, тобто. $f\ гр_1 = f\ гр_2$. При цьому переваги, що отримуються за рахунок збільшення маси скла, значною мірою губляться через зміщення f гр у бік середніх частот.

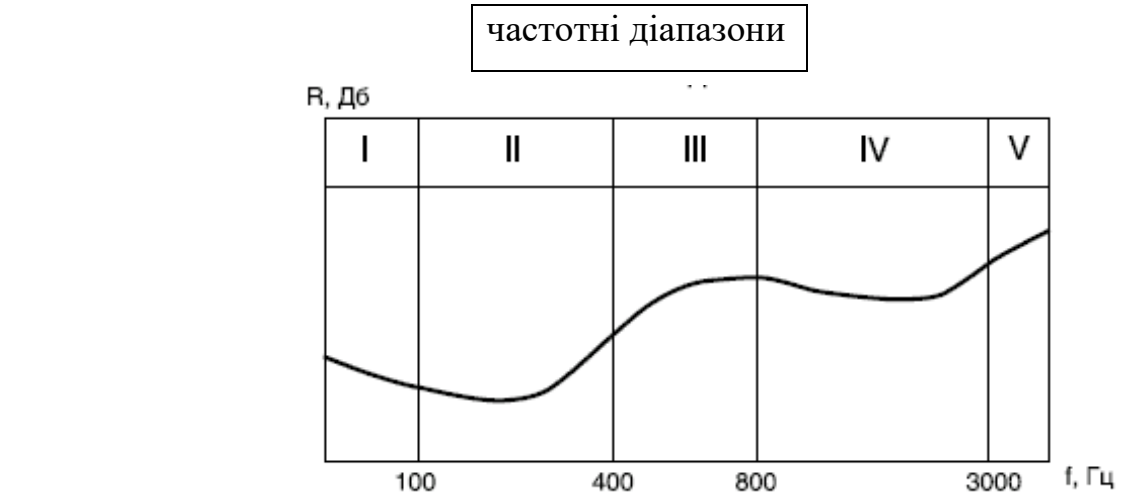


Рисунок 1. 5 – Принципова частотна характеристика ізоляції повітряного шуму подвійним склінням

Збільшення товщини повітряного прошарку призводить до усунення частоти f0 у бік низьких частот, даючи загальну тенденцію до підвищення звукоізоляції на середніх, проте не вирішує проблем, пов'язаних з хвильовим збігом.

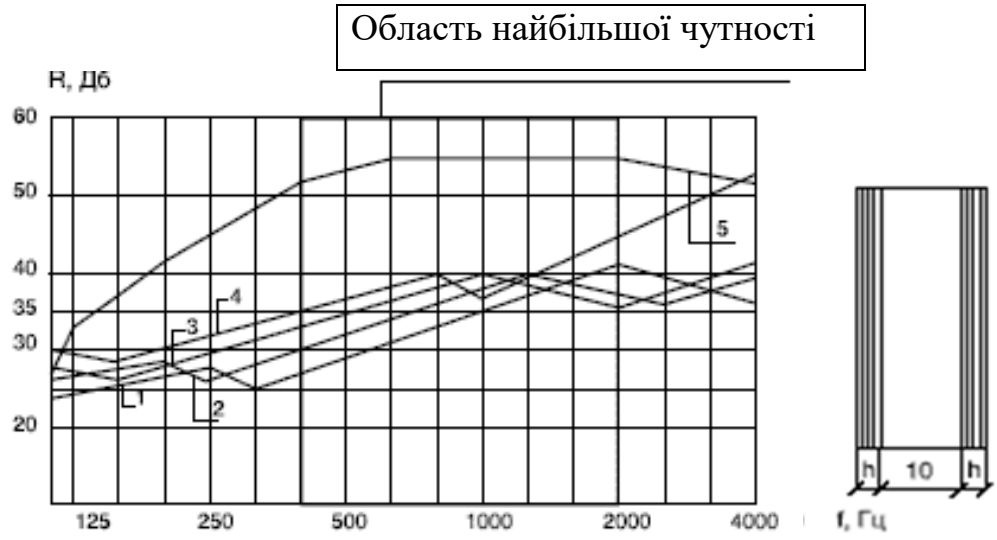


Рисунок 1.6 а –.Частотні характеристики ізоляції повітряного шуму подвійним склінням з однаковим склом, товщиною h.

Товщина повітряного проміжку d = 10 мм;

1 – h = 3 мм;

2 – h = 4 мм;

3 –h = 6 мм;

4 – h = 8 мм;

5 – нормативна крива ізоляції повітряного шуму



Рисунок 1.6 б –.Частотні характеристики ізоляції повітряного шуму подвійним склінням з однаковим склом, товщиною h.

Товщина повітряного проміжку d = 20 мм;

1 – h = 3 мм;

2 – h = 4 мм;

3 – h = 6 мм;

4 – h = 8 мм;

5–нормативна крива ізоляції повітряного шуму

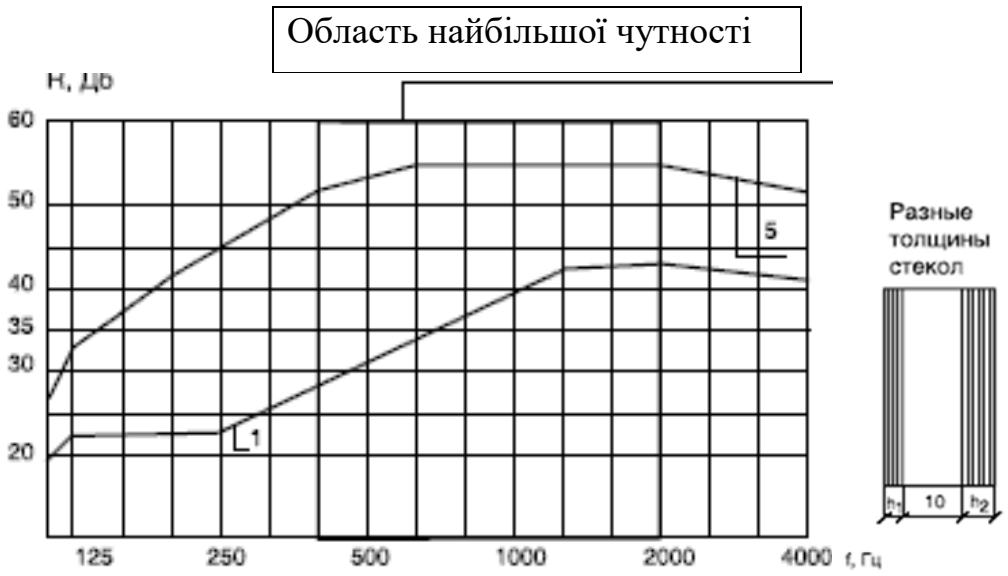


Рисунок 1.7– Частотна характеристика ізоляції повітряного шуму подвійним склінням зі склом різної товщини h_1 і h_2.

Товщина повітряного проміжку d = 10 мм:

1 – h_1 = 4 мм (m = 10 кг/м^2), h^2 = 6 мм (m = 15 кг/м^2);

5 – нормативна крива ізоляції повітряного шуму

Оптимальними характеристиками має система зі склом різної товщини (рис. 1.5). І тут частоти f $гр_1$ і f $гр_2$ не збігаються, частотна характеристика згладжується не має провалів.

Індекс ізоляції повітряного шуму

Частотна характеристика скління найповніше дозволяє судити про його звукозахисні якості, проте практично ніколи не наводиться виробниками вікон та склопакетів у супровідній технічній документації. Як зазначалося, для наближеної оцінки звукоізоляції може бути використана величина індексу ізоляції повітряного шуму R_w (у більшості вітчизняних джерел $I_в$).

Індекс ізоляції повітряного шуму визначають для конструкції з відомою частотною характеристикою (побудованою на підставі розрахунків

чи експериментальних даних). У цьому його обчислення застосовується формула (1.7).

$$I_в = 50 \pm Dв, [дБ] \quad (1.7)$$

де $D_в$ - поправка, що визначається за сумою несприятливих відхилень частотної характеристики вниз від нормативної кривої.

Наведемо у табличному вигляді співвідношення індексу звукоізоляції R_w (а також індексу Ra, приблизно розрахованого за формулою (1.8)), з реальними звукоізоляційними якостями скління.

$$R_a = 0.6 \times R_w + 6 \quad (1.8)$$

Таблиця 1.2 – Індекси ізоляції повітряного шуму заскленням

№ п/п	Конструкція скління	Індекси ізоляції	
		Rw, [дБ]	Ra, [дБА]
Одинарне скло			
1	3 мм	24	20.4
2	4 мм	26	21.6
3	6 мм	28	22.8
4	8 мм	30	24
Подвійне скління (склопакети)			
5	3-10-3	30.5	24.3
6	4-10-4	33	25.8
7	6-10-6	34.5	26.7
8	3-20-3	33	25.8
9	4-20-4	34	26.4
10	6-20-6	36	27.6
11	4-10-6	36	27.6

Методика розрахунку індексу звукоізоляції однакова всім конструкцій і докладно викладена у багатьох літературних джерелах. Слід, однак, відзначити, що індекс ізоляції є величиною, яка визначається чисто арифметичними обчисленнями, і не дає можливості судити про будь-які фізичні закономірності.

1.5 Звукоізоляція та шумоізоляція у власній квартирі

Усі ми інколи хочемо усамітнитися у власній квартирі, «відчути тишу». Але порушити спокій і завадити довгоочікуваному відпочинку в будь-яку мить можуть галасливі сусіди чи грюкіт з кухні, а про постійні ремонти та сусіда з перфоратором уже ходять анекдоти.

Очевидно, що ніхто з нас не хоче бути настільки близько до сусідів, як це дозволяють тонкі стіни багатоквартирних будинків. Нам не потрібно знати про всі їх радісні та печальні події. А самим інколи теж так хочеться пошуміти: зібрати друзів, поговорити, посміятися, увімкнути музику голосніше, ніж дозволяють ввечері сусіди. Тому так важливо зробити звукоізоляцію квартири. Нові забудовники не приділяють цьому питанню належної уваги. Що ж казати про квартири в «хрущовках» і старих панельних будинках, де можна слухати телевізор сусіда.

Звукопоглинання - це зниження енергії відбитої звукової хвилі при взаємодії з перепоною.

Розрізняють такі види шуму:

– Повітряний. Це будь-які звукові коливання, що передаються через повітря. Розмова людини, крик, шум від машин або тварин за вікном. Усі ці звуки потрапляють до нас через щілини, двері і вікна.

– Ударний. Це шум, який потрапляє до наших квартир по стінах і перекриттях. Часто ми дуже гарно чуємо ремонт сусідів та всі будівельні

інструменти, які при цьому використовуються. Такий шум є, напевно, найбільш дратівливим.

– Структурний. Так називають вібраційний шум. Часто його приймають за ударний. Він так само передається по стінах від роботи будівельних інструментів.

Найперші й головні перепони на шляху стороннього шуму в багатоквартирному будинку - це стіни та перекриття. І якщо вони не мають хороших звукоізоляційних властивостей, то жителі можуть чути ударний шум від ремонту будь-якої квартири, навіть у сусідньому під'їзді. Саме тому важливо вибирати правильні конструкційні рішення для захисту не тільки від повітряного шуму, але і від структурного і ударного шумів.

Які допустимі рівні шуму для людського слуху

Рівень гучності вимірюють у децибелах. Людський організм має обмеження: ми чуємо звук у середньому в діапазоні частот від 20 до 20000 Гц, за рівнем ж нас починає сильно дратувати звук в 110 дБ, а при 120 дБ настає больовий поріг, тобто людина вже не сприймає звуки такої гучності, а тільки відчуває біль у вухах.

Існують допустимі норми рівня шуму в квартирах і на підприємствах.

У багатоквартирному будинку з 7 ранку до 11 вечора допустимий рівень шуму становить 40 дБ, що можна порівняти з неголосною розмовою. Але вночі і рано вранці рівень шуму не повинен перевищувати 30 дБ, тобто це не голосніше, ніж шепіт людини. Щоб захистити себе від зайвих звуків у власній квартирі, необхідно облаштовувати якісну звукоізоляцію.

1.6 Як зробити шумоізоляцію світлопрозорих в квартирі

Врахуйте, що зайві децибели проникають у квартиру не тільки крізь стіни, але і через:

– підлогу, стелю;
– монтажні коробки та розетки;
– стояки опалення, водопроводу;
– вентиляцію;
– двері та вікна.

Тому необхідно підібрати комплекс матеріалів, які ізолюють усі перераховані вище джерела сторонніх звуків.

Кількісно звукоізоляцію огорожі оцінюють індексами R_w і L_{nw}. Показник R_w характеризує рівень ізоляції повітряного шуму. Це може бути розмова людей, музика або гавкіт собаки в сусідів. Відповідно до діючих в Україні норм для міжквартирних перегородок R_w повинен бути не менше 52 дБ, а для міжкімнатних 43 дБ. Індекс L_{nw} характеризує захист від ударного шуму. Чим менше Lnw, тим краще перекриття буде ізолювати ударний шум.

Для додаткової звукоізоляції квартири в панельному будинку застосовуються різні матеріали, а саме:

– гіпсокартон;
– стельові панелі;
– звукоізоляційні панельні системи;
– рулонні звукоізоляційні матеріали в конструкціях підвісних стель.

Прикладом рулонного матеріалу для облаштування додаткової звукоізоляції перекриття від ударного шуму в квартирі, приватному будинку або на виробництві є Тераформ. Терафом - це хімічно зшитий спінений поліетилен на гідроізоляційній поліетиленовій плівці. У більшості випадків застосовується з метою звуко- і гідроізоляції перекриттів, у суднобудуванні та промисловості, а також для шумоізоляції трубопроводів.

Тераформ - це нове слово в звукоізоляції. Продукт абсолютно екологічно безпечний і має високі звукоізоляційні та теплоізоляційні властивості. Має відмінну хімічну стійкість. Витримує широкий температурний діапазон, від -60 до +125 градусів, зберігаючи свою

еластичність, пружність та всі основні експлуатаційні властивості. Ширина рулону становить 1500 мм, довжина варіюється від 10 до 50 м, а товщина - від 2 до 100 мм.

Тераформ добре сумісний практично з усіма будівельними матеріалами, має високі показники нафто-, та бензіностойкості, мікробіологічної стійкості.

1.6.1 Звукоізоляція світлопрозорих нежитлових приміщень

Звукоізоляція необхідна не тільки для житлових приміщень. Це питання дуже актуальне для комерційних і некомерційних організацій. У питанні звукоізоляції нежитлових приміщень різного призначення необхідно забезпечити комплексний підхід, виходячи з індивідуальних особливостей об'єкта.

Для яких некомерційних організацій актуальна звукоізоляція:

– класи музичних шкіл;
– концертні зали в школах та університетах;
– навчальні аудиторії, лекційні;
– бібліотеки, читальні зали;
– робочі зони підприємств.

У сфері бізнесу шумоізоляція потрібна для:

– ресторанів, караоке барів, банкетних залів;
– нічних клубів;
– студії звукозапису;
– театрів, кінотеатрів;
– репетиційних баз.



Рисунок 1.7 – Звукоізоляція та шумоізоляція світлопрозорих нежитлових приміщень

Робота або навчання найбільш ефективні в приміщеннях, які надійно захищені від сторонніх зовнішніх звуків. Шум знижує концентрацію уваги, відповідно, і продуктивність, результативність. Помічено, що в класах із поганою звукоізоляцією частіше порушується дисципліна. Звуки, що доносяться з вулиці або коридору, дуже відволікають увагу й стають справжньою перешкодою в організації навчального процесу. Крім цього, окремою проблемою може бути неправильна акустика в приміщенні, що є причиною таких дефектів як «відлуння» і «деренчання» звуку. Але правильна звукоізоляція допомагає створити правильну акустику в приміщенні й захистити від зовнішніх шумів.

1.6.2 Звукоізоляція світлопрозорих виробничих приміщень

Постійний шум у виробничих приміщеннях впливає на здоров'я людини. Тривале перебування працівника в таких умовах негативно позначається на продуктивності, психологічному стані і, у наслідок цього, на фізичному здоров'ї. Але все технологічне, інженерне й санітарно-технічне обладнання створює шуми. Ударний шум відчувається найгостріше, оскільки

може передаватися не тільки від джерела по елементах конструкції даного будинку, а й навіть до сусідніх будівель.



Рисунок 1.8 – Звукоізоляція та шумоізоляція світлопрозорих виробничих приміщень

На підприємствах норма шуму практично в 2 рази вища, ніж у квартирах і в деяких випадках досягає 80 дБ. Але при цьому працівники організації повинні мати не більше, ніж 8-ми годинний робочий день, адже тривалий вплив такого рівня шуму негативно позначається на психічному здоров'ї людини. Якщо працівник більш ніж 8 годин перебуває на підприємстві, де рівень шуму досягає або перевищує 80 дБ, обов'язковим є використання індивідуальних засобів захисту (беруші, навушники тощо).

До питання звукоізоляції на виробництві підходять комплексно. Ізолюють не тільки елементи агрегату, який дуже шумно працює, але й огороджувальні конструкції в приміщенні. Таким чином рівень шуму вдасться істотно знизити.

2 ТЕХНОЛОГІЯ МОНТАЖУ ЗВУКОІЗОЛЯЦІЇННИХ СВІТЛОПРОЗОРИХ ФАСАДІВ

2.1 Монтаж фасадних конструкцій. Фасадні системи кріпляться на опорні конструкції

Вид фасадного скління вибирають, виходячи з особливостей будівлі та її призначення. Технологія монтажу для кожного типу відрізняється, але включає наступні основні етапи:

– Проектування, складання графічної документації. Кожен будівельний об'єкт має свої особливості у конструкції, розмірах, експлуатаційних параметрах. Під час створення висотного проекту враховуються вітрові навантаження конкретному ділянці території.

– Монтаж вертикальних стояків, горизонтальних ригелів. Вузли з'єднання зварюються або з'єднуються шурупами.

– Наклеювання гумової прокладки. На поверхню металевих елементів, які безпосередньо контактуватимуть зі склом, наклеюють смугу матеріалу, який служитиме захистом від подряпин.

– Гідроізоляція та утеплення фасаду. Теплоізоляція укладається між металевими елементами поверх гідроізоляційної плівки. На утеплювачі розміщують паробар'єрний матеріал.

– Кріплення скляних панелей. Роботи виконують відповідно до технології, розробленої для застосовуваного виду обробки.

– Герметизація фасадного скління. Одна з основних робіт, яка забезпечує непродувність та відсутність протягів.

Після закінчення робіт виконується контроль якості, при необхідності проводиться експертиза, що підтверджує надійність та безпеку світлопрозорої конструкції.

Кожен із варіантів фасадного скління має свої переваги, особливості застосування, можливості при реалізації проекту. Він дозволяє архітекторам відійти від стандартних рішень, у яких засклені були лише вікна.

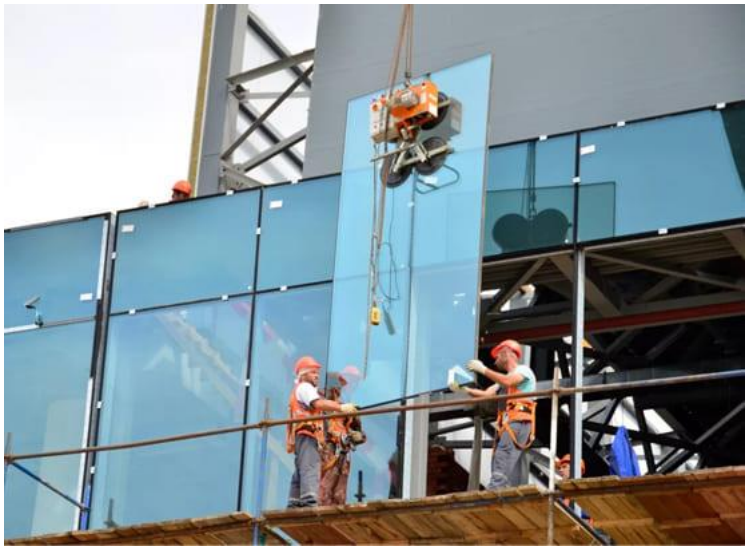


Рисунок 2.1 – Монтаж фасадних конструкцій

Технології сучасного скління будівель та споруд мають на увазі використання міцного, але легкого каркасу. Фасадні системи кріпляться на опорні конструкції, потім заповнюються склопакетами. Часто використовується крупноблочний монтаж.

Він передбачає збирання модульних елементів на будівельного майданчику.

Етапи роботи зі скління:

– створення проекту, застосування 3D-візуалізації та геодезичної зйомки;

– узгодження проекту із замовником;

– постачання готових комплектуючих на об'єкт;

– монтажні роботи;

– здавання-приймання.

1. Класична технологія (стійковий ригель) за допомогою алюмінієвих кріплень.

Монтується міцний алюмінієвий каркас, який складається з вертикальних стійок і горизонтально прикріплених до них ригелів.

Це скління фасадів за допомогою алюмінієвих кріплень. Спочатку монтується міцний алюмінієвий каркас, який складається з вертикальних стійок і горизонтально прикріплених до них ригелів, – звідси і назва технології. На змонтовану конструкцію встановлюються скляні панелі, притискаючи алюмінієвим профілем. Ця технологія популярна унаслідок низьких витрат на реалізацію проекту, а також можливості створити як прямі, вертикальні, так і похилі



Рисунок 2.2 – Класична технологія (стійковий ригель) за допомогою алюмінієвих кріплень

2. Модульна технологія скління розроблена для багатоповерхових будівель - від 10 до 100 поверхів. Процес монтажу виглядає таким чином: блоки виготовляються завчасно і привозять на об'єкт готовими до монтажу.

Такий вид скління розроблений для багатоповерхових будівель – від 10 до 100 поверхів. Процес монтажу виглядає таким чином: блоки виготовляються завчасно і привозять на об’єкт готовими до монтажу. Ці

вітражі піднімають на потрібний поверх, встановлюють на кронштейни і герметизують шви. Перевага блокової технології – в швидких термінах виконання робіт в порівнянні з класичною схемою, адже окремий каркас споруджувати не треба. На виході – надійна і довговічна



Рисунок 2.3 – Модульна технологія скління

3. Спайдерная технологія в спеціальних кріпленнях з міцної нержавіючої сталі, тому що на вигляд нагадують павука.

Процес монтажу розпочинається з установки металевих несних конструкцій, також базою можуть бути колони, що несуть труби, плити перекриття.

Особливість цього виду скління – в спеціальних кріпленнях з міцної нержавіючої сталі, які називаються спайдерами, тому що на вигляд нагадують павука. Процес монтажу розпочинається з установки металевих несних конструкцій, також базою можуть бути колони, що несуть, труби, плити перекриття. Далі прикріплюють склопакети до каркаса за допомогою “павукоподібних” кріплень. Кожен “павук” скріплює чотири кути чотирьох склопакетів за схемою: одна “лапка” – один кут. Насправді цей коннектор має хрестоподібну форму, але архітектори – креативні люди. Перевага спайдерной схеми скління фасаду в тому, що це дуже надійна і безпечна

технологія, за допомогою цієї системи можна використати максимальну кількість склопакетів і склити максимально великі площі, а також відтворити складні архітектурні форми.



Рисунок 2.4 – Спайдерная технологія в спеціальних кріпленнях

4. Вантова (планарная) технологія відносять до різновиду спайдерной техніки, але є істотна відмінність в способі кріплення секцій до будівлі.

Таку систему кріплення відносять до різновиду спайдерной техніки, але є істотна відмінність в способі кріплення секцій до будівлі. Жорсткого металевого каркаса до стін не прикріплюють, немає ніяких рам або перегородок.

Уся конструкція кріпиться на міцних натянутих тросах, а сполучні кріплення виглядають як суміш вантуза з “спайдером”. Якщо подивитися на вантову систему кріплень зсередини, це виглядатиме як павутина.

За допомогою такого скління можна реалізувати будь-який проект, навіть найскладніший, але ця технологія не дуже.



Рисунок 2.5 – Вантова (планарная) технологія

5. Структурна і напівструктурна технологія. В якості основи монтують металевий каркас із стійок і ригелів.

В якості основи монтують металевий каркас із стійок і ригелів. Відмінність в тому, як виглядає “парадна” сторона з вулиці – суцільне скло, ніяких профілів, притисків, рамок, інших масивних накладок не використовують, склопакети скріплюються клеєм і герметиками. Для структурного скління фасадів виготовляють склопакети особливої форми – внутрішнє скло розміром менше за зовнішній. В деяких випадках для зовнішньої окантовки склопакета по периметру використовують тоненькі лицьові штапики, які виглядають як малопомітний шов – це напівструктурна технологія. Такий фасад стійкий до холодів і вологості, шумоизолирует будівля, довго служить і виглядає респектабельно.

Для деяких проектів скло необхідно зігнути, щоб відтворити круглий і овальний фасад.

Наступна необхідна умова для монтажних робіт – створення внутрішнього каркаса, на якій кріпляться склопакети.

І третя необхідна умова – елементи кріплення. На цих “трьох слонах” тримається система фасадного скління будівель.

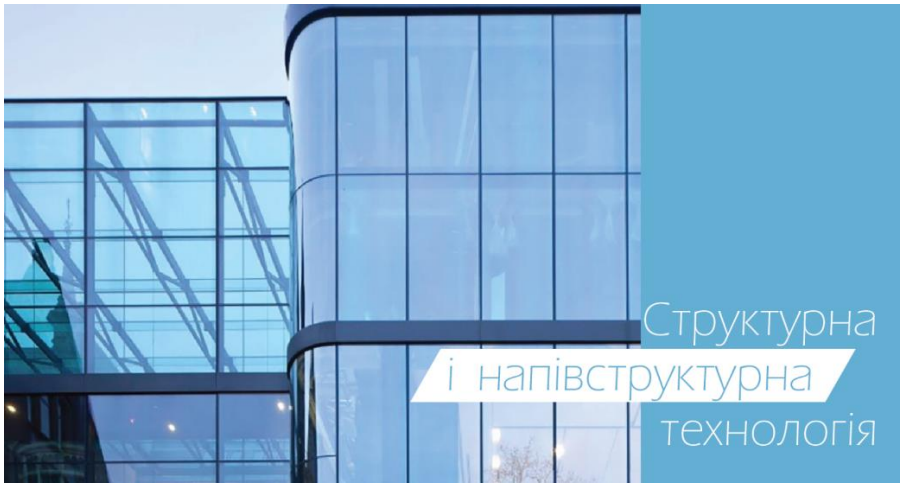


Рисунок 2.6 – Структурна і напівструктурна технологія

Кожна з цих технологій має свої переваги та використовується в різних ситуаціях в залежності від дизайну, функціональних вимог та естетичних уподобань.

3 ТЕПЛОВТРАТИ ТА ТЕПЛОНАДХОДЖЕННЯ ЧЕРЕЗ СКЛОПАКЕТИ З ПІДВИЩЕНИМИ ТЕПЛОЗАХИСНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

3.1 Оцінка ефективності заміни склопакетів за величиною тепловтрат та теплонадходжень

В останні десятиліття велика увага приділяється застосуванню віконних блоків, у яких використовуються шибки зі спеціальними покриттями. Такі скла з низькоемісійними покриттями мають низьку випромінювальну здатність, що забезпечує високі теплозахисні властивості склопакетів з їх застосуванням [1; 2]. Застосовуються також скла, що мають покриття, які мають відразу дві властивості - низькоемісійні та сонцезахисні. Таке скло називається мультифункціональним [3]. У даній роботі склопакети, що містять скло з низькоемісійними та/або сонцезахисними покриттями, називаються енергозберігаючими.

Вплив зниження світлопропускання енергозберігаючим склом на природне освітлення будівель розглянуто в [4; 5]. Стекла з покриттям, що застосовуються в енергозберігаючих склопакетах, забезпечують зниження тепловтрат, але можуть також знижувати теплонадходження в приміщення від сонячної радіації [6-8]. Цей факт має враховуватися на етапі вибору заповнень світлопройомів при проектуванні будівель. Також пропонується підхід, що ґрунтується на порівнянні тепловтрат та теплопоступінь у приміщення при заміні склопакетів із звичайним склом на енергозберігаючі.

3.1.1 Оцінка ефективності заміни склопакетів за величиною тепловтрат та теплонадходжень

Для визначення тепловтрат та теплонадходжень через склопакет використовуються відомі методики розрахунку [9] з деякою їх модернізацією. Для наступних викладок розглянемо в даній роботі тепловтрати $Q_{тр}$ (МДж/рік) через склопакет з коефіцієнтом теплопередачі по центру склопакета і Вт/м^2×°С за формулою 3.1:

$$Q_{тр} = 0{,}0864 \times ДСОП \times А \times U_0 \qquad (3.1)$$

де ДСОП - значення градусо-доба опалювального періоду для району будівництва, ° С на добу/рік;

А – площа скло-пакета, приймемо А = 1 м^2.

При заміні склопакетів зі склом без покриттів на склопакети з енергозберігаючими властивостями зниження тепловтрат за опалювальний період розраховується як різниця трансмісійнихтепловтрат через склопакет зі склом без покриттів $Q_{тр}^{бп}$ і через склопакет зі склом з енергозберігаючими покриттями $Q_{тр}^{сп}$.

$$Q_{тр}^{бп} – Q_{тр}^{сп} = 0{,}0864 \times ДСОП \times А \times (U_{в}^{бп} – U_{в}^{сп}) \qquad (3.2)$$

Для розрахунку теплонадходжень до будівлі від сонячної радіації необхідно враховувати її інтенсивність, що визначається за довідковими даними, а також характеристики скління [10]. Відповідно до [9], теплонадходження через вікна за опалювальний період (МДж/рік) становлять:

$$Q_{ряд}^{рік} = g \times \tau_{2ок} \times (A_{jok} I_j^{вер} + A_{jok} I_2^{вер} + A_{jok} I_3^{вер} + A_{jok} I_4^{вер}) \ldots\ldots (3.3)$$

де $I_j^{вер}$ – сумарна радіація за опалювальний період для вертикальної поверхні, орієнтованої за напрямом j, МДж/год-м^2;

A_{jok} – площа вікон, орієнтованих за напрямком j, м^2;

$\tau_{2ок}$ – коефіцієнти, що враховують затінення світлового отвору вікон непрозорими елементами заповнення, отн. од., визначення яких розглянуто у роботі [4];

g – коефіцієнт загального пропускання сонячної енергії, або сонячний фактор для вікон, орієнтованих за напрямом j, який визначається як сума коефіцієнта прямого пропускання сонячної енергії τ_e і коефіцієнта вторинної теплопередачі всередину приміщення g_i отн. од.;

$$g = \tau_e + g_i \qquad (3.4)$$

Коефіцієнт вторинної теплопередачі всередину приміщення обумовлений поглинанням склом сонячної радіації та подальшим випромінюванням їх у приміщення. Тому коефіцієнти g_i і g повинні враховуватися при розрахунку теплонадходжень у приміщення через вікна.

Тоді теплонадходження за опалювальний період по одному з румбів через A = 1 м^2 склопакета без урахування обкладин розраховуються за формулою 3.5:

$$Q_{рад}^{оп} = I_j^{вер} \times g \times A \qquad (3.5)$$

При заміні склопакета зі склом без покриттів на склопакет зі склом з енергозберігаючими покриттями різниця в теплонадходженнях за опалювальний період розраховується як за формулою 3.6:

$$Q_{тр}^{бп} - Q_{тр}^{сп} = A \times I_j^{вер} \times (g^{бп} \times g^{бсп}) \qquad (3.6)$$

Для оцінки вигоди при заміні склопакетів різниця в тепловтратах повинна перевищувати різницю в теплонадходженнях, оскільки склопакет зі склом з покриттям повинен забезпечувати підвищений теплозахист, але мінімально знижувати надходження сонячної радіації. Тоді з урахуванням формул (3.2) і (3.6) запишемо нерівність за формулою 3.7:

$$0{,}0864 \times ДСОП \times (U_{в}^{бп} - U_{в}^{сп}) > (g^{бп} - g^{бсп}) \qquad (3.7)$$

Ця нерівність перетворюється так, щоб у лівій частині стояли характеристики клімату, а в правій - характеристики склопакета за формулою 3.8:

$$I_j^{вер} / 0{,}0864 \times ДСОП < (U_{в}^{бп} - U_{в}^{сп}) / (g^{бп} - g^{бсп}) \qquad (3.8)$$

Як видно, розмірності правої та лівої частин нерівності збігаються при перекладі [МДж/сут] у [Вт] і мають таке значення:

$$[МДж/сут / рік\ м^2 \times {}^0C \times доб] = [\ Вт/\ м^2 \times {}^0C \times 0{,}0864]$$

Фізичний зміст цієї нерівності такий: кількість теплоти від сонячної радіації, що надходить для обігріву за опалювальний період у даному кліматі, не перевищує різниці в кількості теплоти, що втрачається при заміні на склопакет, що має знижене пропускання сонячної радіації. Якщо нерівність виконується, заміна склопакетів на енергозберігаючі доцільна. Праву частину нерівності (3.8) позначимо $К_{тпп}$:

$$К_{тпп} = (U_{в}^{бп} - U_{в}^{сп}) / (g^{бп} - g^{бсп}) \times [\ Вт/\ м^2 \times {}^0C] \qquad (3.9)$$

Таким чином, кожен склопакет має фіксований показник $К_{тпп}$, який можна використовувати для визначення доцільності застосування в даному

кліматі. Чим вище ця характеристика, тим краще склопакет утримує теплоту і пропускає сонячну радіацію, потрібну для обігріву приміщення.

Введемо також характеристику клімату для оцінки світло-прозорої конструкції, рівну відношенню сонячної радіації, що надходить на конструкцію, до ДСОП за формулою 3.10:

$$L_{тпп} = I_j^{вер} /0{,}0864 \times ДСОП \qquad (3.10)$$

Таким чином, умова ефективності заміни склопакета для енергозбереження теплової енергії має вигляд за формулою 3.11:

$$L_{тпп} < К_{тпп} \qquad (3.11)$$

3.1.2 Порівняльний аналіз характеристики склопакетів

Розглянемо доцільність заміни склопакетів на енергозберігаючі у містах України з різними характеристиками клімату, використовуючи нерівність (3.8) та запропонований показник $К_{тпп}$. Вплив показників клімату застосування будівельних матеріалів неодноразово розглядалося різними дослідниками [7; 8; 11].

Як відомо, сонячна радіація має різний розподіл на пори року для областей, розташованих на різних північних широтах, що пов'язано з висотою стояння сонця [10; 12]. У [13] запропоновано районування території Росії за природним сонячним потенціалом на основі кліматичних показників та геліоенергетичних характеристик: найбільш перспективні (3.1), перспективні (3.2), менш перспективні (3.3), неперспективні (3.4) регіони. У цій роботі підібрано міста з цих областей (див. таблицю 3.1).

У стовпці 4 таблиці 3.1 наведено розподіл сонячної радіації на горизонтальну поверхню $I^{гор}$ у грудні у різних містах згідно з даними [14]. У 5 стовпці наведено значення сумарної сонячної радіації за опалювальний період на вертикальну поверхню південної орієнтації $I_{ю}^{гор}$ [9]. У 6 стовпці таблиці наведено дані щодо ДСОП для кожного з розглянутих міст, розраховані відповідно до [15].

Для порівняльного аналізу візьмемо характеристики склопакетів, представлені в стовпцях 1– 4 таблиці 3.2. Дані розрахунків відповідно до виразу (3.9) наведені у стовпцях 7 та 5 таблиць 3.1 та 3.2 відповідно.

Аналізуючи характеристики склопакетів, можна сказати, що склопакети № 2, 4 мають високе значення характеристики $К_{тпп}$, отже, вони забезпечать найкраще енергозбереження із розглянутих варіантів клімату.

3.1.3 Результати порівняння енергозберігаючого ефекту при заміні склопакетів для різних регіонів

На рисунках 3.1 та 3.2 наведено результати розрахунку для Києва та Запоріжжя за формулами (3.2) та (3.6) тепловтрат (червоний стовпець) і теплонадходжень за чотирма основними румбами через 1м^2 скління. Аналогічні розрахунки було проведено всім міст із таблиці 3.1.

Як відомо, теплонадходження за опалювальний період при південній орієнтації світлопройому перевищують такі для інших орієнтацій, що видно з діаграм. Тож подальшого аналізу оцінки ефективності заміни склопакетів розглядається південна орієнтація светопроема (див. табл. 3.1).

Для наочності нерівність (3.8) та (3.11) вирішуються графічно (див. рис. 3.3). Горизонтальні лінії відповідають значенням $L_{тпп}$, вони показують співвідношення теплонадходжень і тепловтрат для клімату міст, що

розглядаються, стовпці відповідають значенням коефіцієнта $К_{тпп}$ енергозберігаючих склопакетів за таблицею 3.2.

Таблиця 3.1 – Інтенсивність сонячної радіації у різних кліматичних зонах

Місто	Перспективність за сонячним потенціалом [13]	С.ш.	Г, МДж/мг за місяць	$І_{зо}^{вер}$ МДж/рік-м^2	ДС0П, °С добу/рік	$L_{тпп}$ Вт/(м^2 × °С) за формулою (10)
Київ	3 56°	3 60°	14	895	4796	2,16
Запоріжжя	1	43°	131	682	1251	6,30

Таблиця 3.2 – Характеристики склопакетів

№	Формула склопакета за ДОСТ 24866-2014	g, отн.ед	U_O,Вт/м^2 ^{0}С	$К_{тпп}$, Вт/м^2 ^{o}С
1	4М1-1бАг-4М1	0,76	2,6	-
2	4М1-16Аг-К4	0,73	1,5	36,67
3	4МГ16АГ-І4	0,64	1,1	12,50
4		0,74	1,3	65,00
5	4М1-1бАг-І6	0,63	1,2	10,77
6	4М1-16Аг-4МГ16Аг-4Ма	0,68	1,7	11,25
7	4К-16Аг-4М1-1бАг-К4	0,58	0,8	10,00
8	4М1-1бАг-4М1-1бАг-І4	0,59	0,86	10,24
9	4І-16Аг-4$М_1$-16Аг-І4	0,50	0,6	7,69
10		0,63	0,7	14,62
11	4СІ-1бАг-4$М_1$	0,42	1,0	4,71
12	6СК-16Аг-4$М_1$	0,55	1,6	4,76

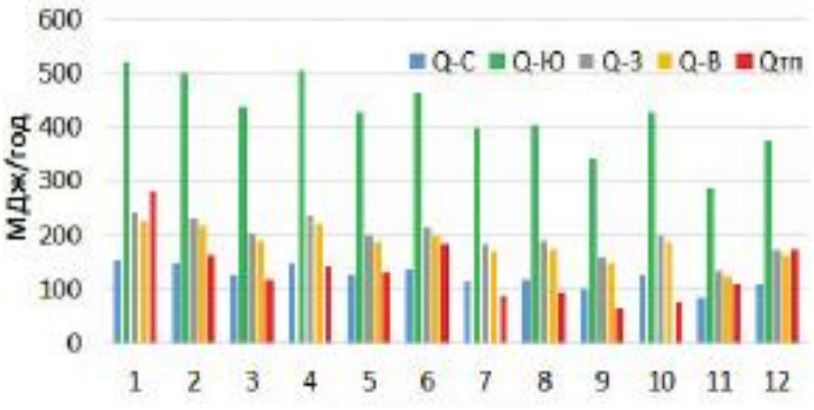


Рисунок 3.1 – Теплонадходження та тепловтрати через 1 м^2 склопакета в місті Запоріжжя (друга зона)

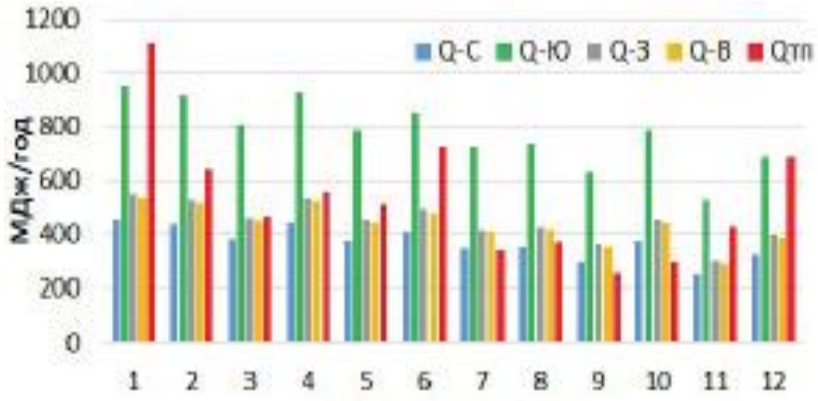
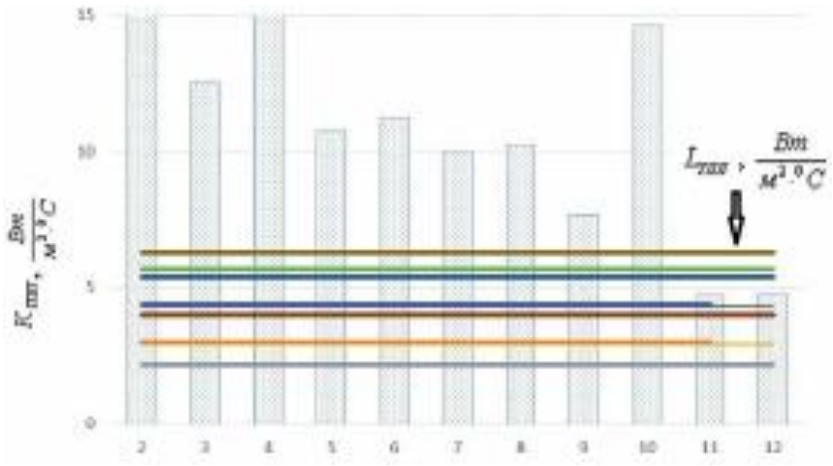


Рисунок 3.2 – Теплонадходження та тепловтрати через 1 м^2 склопакета в місті Київ (перша зона)



Номер склопакета

– жовтий Київ

– коричневий Запоріжжя

Рисунок 3.3 – Показник теплонадходжень і тепловтрат ряду склопакетів при різних характеристиках клімату (стовпці показників тепловтрат склопакетів № 2, 4 обмежені за висотою для наочності відображення інших даних)

При послідовному порівнянні видно, що для міст Київ і Запоріжжя, заміна склопакетів на низькоемісійні і мультифункціональні допустима.

Таким чином, запропоновано підхід до оцінки теплонадходжень та тепловтрат через склопакет при врахуванні характеристик клімату. Показано, що є регіони, де заміна склопакетів на мультифункціональні є неефективною, оскільки вони значно обмежують теплонадходження в даному кліматі. Розглянутий підхід може бути використаний для підбору склопакетів під час їх заміни з метою енергозбереження.

3.2 Аналіз тепловтер приміщень через системи природного освітлення

Природне освітлення через традиційні світлові отвори

Раціональне використання природного світла – це один із способів економії електроенергії на штучне освітлення. Основним джерелом природного освітлення приміщень є світлові отвори - вікна різної геометрії, конструкції, розміщення. Незважаючи на те, що сучасні матеріали дозволяють створювати світлопрозорі конструкції з підвищеним опором теплопередачі, вони залишаються основними джерелами теплових втрат (до 40...45 %) у будівлі, а також мають високі будівельну вартість та

експлуатаційні витрати. Тому при будівництві та реконструкції споруд з метою ефективного використання енергоресурсів параметри світлового отвору слід обирати з урахуванням економії електроенергії на штучне освітлення та скорочення витрат енергії на поповнення тепловтрат через світлові отвори взимку та кондиціювання/вентиляцію для компенсації надлишкового теплонадходження через них влітку.

Важливим завданням є пошук таких рішень, при яких тепловтрати через віконні отвори будуть мінімальними та не збільшать витрати на теплопостачання, а освітленість буде достатньою і не збільшить витрати на штучне освітлення.

Баланс компонентів сумарних енергетичних витрат дозволяє встановити для кожного конкретного випадку оптимальний за площею віконний отвір, при якому енергетичні витрати на природне та штучне освітлення будуть мінімальними.

Основні втрати теплоти Q_o, Вт, через огороджувальні конструкції залежать від різниці температури зовнішнього та внутрішнього повітря та визначаються за формулою [3.12] за формулою 3.12:

$$Q_o = Ak \times (t_в - t_н) \times n \qquad (3.12)$$

де – коефіцієнт теплопередачі огородження, Вт/(м^2×°С);

А – розрахункова поверхня огороджувальної конструкції, м^2;

$t_в$ – розрахункова температура повітря приміщення, ° С [3];

$t_н$ – розрахункова температура зовнішнього повітря, ° С [3];

n – коефіцієнт, що залежить від положення зовнішньої поверхні по відношенню до зовнішнього повітря [4].

Коефіцієнт теплопередачі огородження обернено пропорційний наведеному опору теплопередачі R_o^r:

$$k = 1/ R_o^r \quad (3.13)$$

Показник k характеризує кількість тепла, яке проходить через один квадратний метр конструкції при різниці температур по обидві сторони в один градус за 1 годину.

Відповідно до [2], показник «градусо-доби опалювального періоду» (ДСОП) дорівнює:

ДСОП = $Z_{ht} \times (t_{int}^h – t_{вхt}) = 6938$ ˚С × добу.

Наведений опір теплопередачі світлопрозорих конструкцій R_o, що огороджують, має бути не менш допустимого R_{oreq}:

$$R_o^r \geq R_o^{req} \quad (3.14)$$

Для Київської області, відповідно до [3], наведений опір теплопередачі світлопрозорих конструкцій, що захищають, приймається рівним $R_o^{req} = 0,647$ м^{2}˚С/Вт, тому для Києва переважно застосовувати склопакети двох типів: однокамерні (два скла) з і – склом і аргоном ($R_o = 0,66$ м^{2}˚С/Вт) та двокамерні склопакети (три скла) з і – склом ($R_o = 0,72$ м^{2}˚С/Вт). Для порівняння, дерев'яне вікно застарілого зразка з подвійним склінням має опір теплопередачі $R_o = 0,28$ м^{2}˚С/Вт. На рис. 3.4 показана залежність тепловтрат з приміщення від площі заскленої поверхні для різних типів вікон (при побудові графіка був введений параметр а – відношення площі вікна до огороджувальної конструкції, та розглянуті крайні випадки: 0 % – у приміщенні відсутня віконний отвір та 100 % – віконний отвір займає всю площу зовнішнього огородження).

Основним показником для нормування рівня природного освітлення є коефіцієнт природного освітлення (КЕО), %. Чим вище показник КЕО, тим вищий рівень природного освітлення і, відповідно, комфортніші умови роботи та перебування у приміщенні. Розмір віконного отвору не може бути

меншим за мінімально встановлений, виходячи з рівня природного освітлення, що задається КЕО.

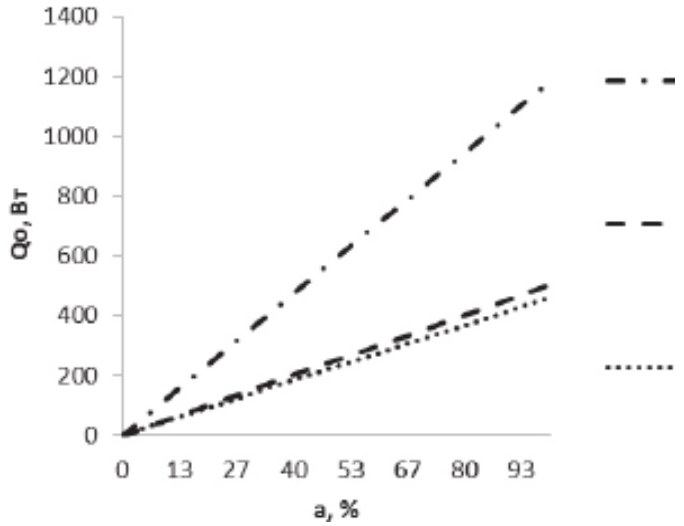


Рисунок 3.4 – Вплив площі віконного отвору та матеріалів на втрати тепла приміщення

Визначимо залежність КЕО від площі вікна та порівняємо з відповідною залежністю для тепловтрат.

Коефіцієнт природного освітлення ($e_н$) при бічному освітленні можна обчислити відповідно до [4]:

$$e_н = \frac{100 S_o \tau_o r_o}{S_п K_з K_{зд} \eta_o}, \qquad (3.15)$$

де S_o – площа бічних світлопройомів;

$S_п$ – площа підлоги приміщення;

τ_o – загальний коефіцієнт світлопропускання отвору;

r_o – коефіцієнт, що враховує підвищення КЕО при бічному освітленні, внаслідок відбиття світла від поверхонь приміщення;

$К_З$ – коефіцієнт запасу на забруднення;

$К_{ЗД}$ - коефіцієнт, що враховує затінення вікон протистоящими будинками;

η_o – світлова характеристика вікон.

Під час розрахунку залежностей на рис. 3.5 значення наведених вище коефіцієнтів прийнято відповідно до [4].

З рис.3.5 видно, що зміна розміру віконних прорізів по вертикалі дає найбільший ефект збільшення КЕО при тих же тепловтратах. Так, збільшення площі вікна на 10% рахунок зміни його вертикальних розмірів супроводжується збільшенням КЕО загалом на 12% проти зміною площі рахунок ширини.

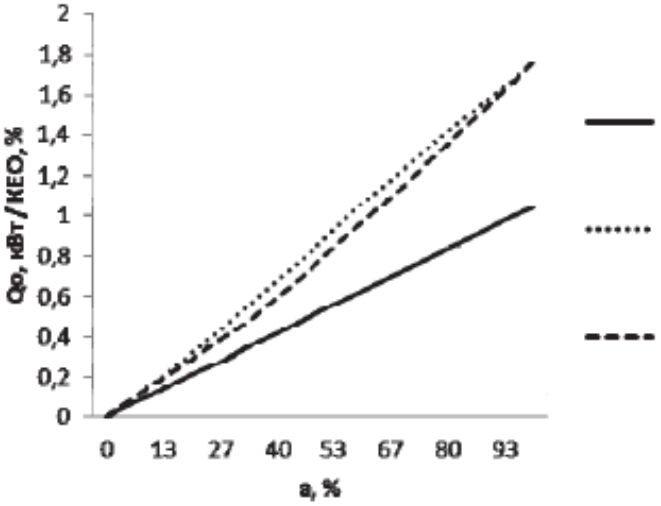


Рисунок 3.5 – Вплив площі віконного отвору на КЕО та втрати тепла з приміщення

Традиційні вертикальні вікна забезпечують нормований рівень природного освітлення у приміщенні з відривом приблизно 6 м від вікна, але за високої неоднорідності.

Так, якщо глибина приміщення дорівнює його висоті L_1=H (рис. 3.6, а), то приміщення характеризується як дрібне, світле, при H L_2 < 2H – як типове, середньої глибини та освітленості, при $L_3 \geq 2H$ – як глибоке з недостатньою природною освітленістю. Розподіл освітленості вікна має асимптотичний характер, різко зменшуючись у міру віддалення вікна; для її

збільшення у глибині приміщення необхідно значно збільшувати розміри віконного отвору.

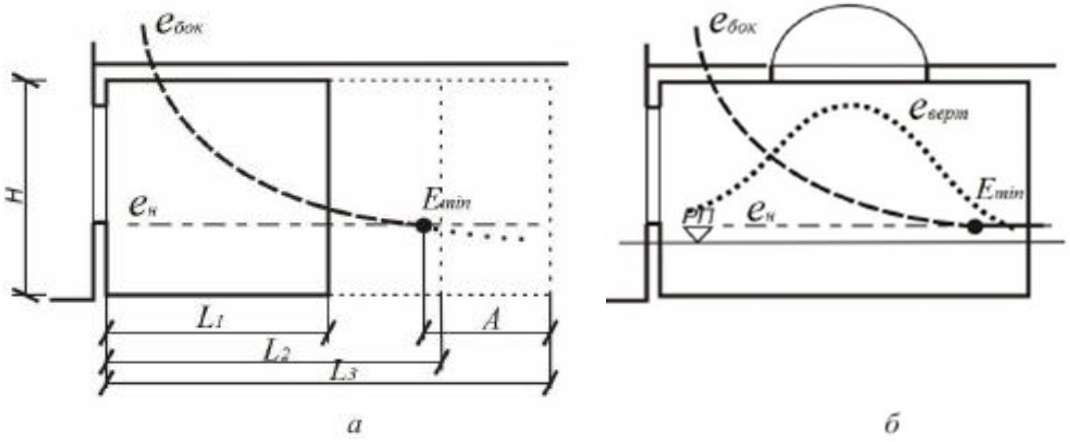


Рисунок 3.6 – Вплив на ЕО розмірів приміщення (а) та положення світлового отвору (б)

Таким чином, при виборі конструктивних параметрів бічних світлових прорізів повинні враховуватися тепловтрати та світлорозподіл у приміщенні.

Природне освітлення через порожнисті трубчасті світловоди

Розглянемо розв'язання задачі мінімізації енерговитрат та підвищення однорідності світлового середовища (ширше – покращення світлового комфорту) з використанням порожнистих трубчастих світловодів (ПТС) (рис. 3.6, б, рис. 3.7).

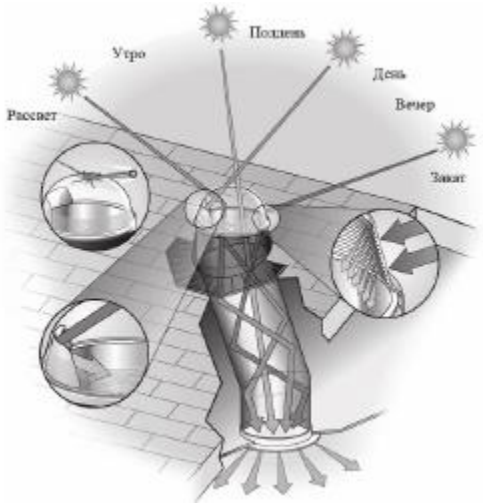


Рисунок 3.7 – Принцип роботи Solatube Daylighting systems

ПТС дозволяють приймати природне світло на даху або стінах будівлі і проводити його всередину за рахунок колінчастих ділянок труб, внутрішня поверхня яких покрита плівкою з високим коефіцієнтом відображення (до 99,7%). На даху або стіні будівлі розташовується приймальний пристрій у вигляді бані, що використовує за основу лінзу Френеля, що дозволяє направляти дифузне світло піднебіння ближче до осі труби для зменшення кількості відбитків світла всередині неї.

Природне світло має такі позитивні якості: суцільний спектр, динаміка освітлення (день-ніч), що відповідає «біологічному годиннику» людини, візуальний зв'язок з навколишнім середовищем, що сприятливо впливає на психіку людини.

Розглянемо ефективність використання світловодів з позиції енергобалансу та ефективності світлопропускання порівняно з традиційними вертикальними вікнами.

Середній опір теплопередачі світловодів (R_o) дорівнює 0,28 м^2°С/Вт [6], що відповідає значенню для дерев'яного вікна з подвійним склінням. Тепловтрати, згідно (1), для порожнистих трубчастих світловодів діаметрів 250, 350 і 530 мм становлять 5,2, 10,1та 23,2 Вт, відповідно.

Загальна ефективність світлопропускання η_o порожнистого трубчастого світловода згідно [7, 8]:

$$\eta_g = \tau_c \times \tau_a \times K_m \times TTE, \qquad (3.16)$$

де τ_c – загальний коефіцієнт пропускання купола ПТС. Для Solatube Daylighting systems $\tau_c = 0,92$ [5];

τ_d – коефіцієнт пропускання дифузора ($\tau_d = 0,8$);

K_m – коефіцієнт запасу (облік забруднення під час експлуатації), K_m=0,77 [7]);

ТТЕ – ефективність світлопропускання світловоду, яка залежить від коефіцієнта відображення дзеркального покриття світловодної труби ρ, від відношення довжини ПТС L до його діаметра D.

ТТЕ може визначатися за спрощеною версією математичного рівняння багаторазових відбиття і залежить від коефіцієнта відбиття дзеркального покриття світлової труби (для Sola-tube Daylighting systems ρ = 0,997), від відношення довжини ПТС L до його діаметру D:

$$\text{ТТЕ} = \frac{e^{\frac{L}{D} tg\theta \ln \rho}}{\left(1 - \frac{L}{D} tg\theta \ln \rho\right)^{\frac{1}{2}}}, \quad (3.17)$$

де θ – кут між віссю ПТС і світловим променем (θ =30°).

Так, для порожнього світловода діаметром 530 мм, довжиною 2,3 м, що має 4 коліна, загальна ефективність п становитиме 0,56.

Зробимо розрахунок бічного та верхнього освітлення на прикладі приміщення площею 48 м^2 (6×8 м) та висотою 3 м, використовуючи методику [4, 7].

При бічному освітленні нормативне КЕО = 0,7 % забезпечується при площі бокового скління не менше 9,7 м^2 розмірами вікна 5,1 × 1,9 м, що становить 54 % від бічної огороджувальної конструкції. Тепловтрати через цей віконний отвір за опалювальний період для склопакетів з R_o =0,66 м^2-°С/Вт у даному приміщенні становитимуть 1835,3 кВт-год.

При верхньому освітленні КЕ0 = 0,7% досягається при 6 світловодах D = 530 мм, із загальною площею 1,32 м^2. Тепловтрати через ПТС за опалювальний період становитимуть 802 кВт-год, що в 2,3 рази нижче порівняно з віконними отворами за тієї ж кількості природного освітлення.

Оскільки світлопрозорі конструкції є не лише каналом теплових втрат, а й джерелом теплонадходжень у приміщення від сонячної радіації,

при оптимізації системи освітлення необхідно враховувати цей фактор. Величину теплонадходжень можна визначити за рівнянням [9, 10]:

$$Q_s = \sum_j^J \times \tau_{Fj} \times k_{Fj} \times (A_{Fj} \times Q_{Fj}) \qquad (3.18)$$

де j – орієнтація світлопрозорих конструкцій приміщення з боків світла;

τ_{Fj} – коефіцієнт обліку затінення вікна або світловода непрозорими елементами;

k_{Fj} – коефіцієнт проникнення сонячної радіації через елементи вікна чи ПТС;

A_{Fj} – площа світлопрозорої конструкції;

Q_{Fj} – потік сумарної сонячної радіації, що за опалювальний період приходить на світлопрозору поверхню, Вт-ч/м^2.

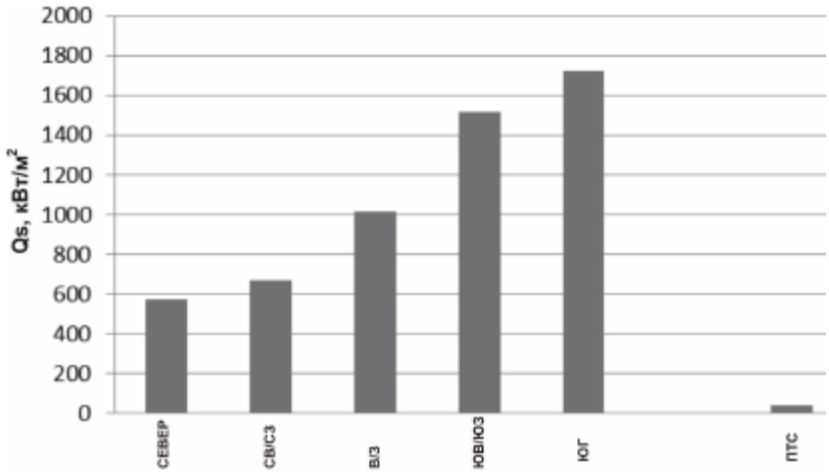


Рисунок 3.8 – Порівняння сумарних теплонадходжень від сонячної радіації за опалювальний сезон через порожнистий світловод і бічний світлопроєм (при орієнтуванні його з різних боків світла)

На рис. 3.8 видно, що теплонадходження через ПТС істотно нижче, ніж через бічні вікна, оскільки порожнисті світловоди мають малу світлопрозору площу і малий коефіцієнт сонячних теплонадходжень. Можна

вважати, що загальний тепловий баланс приміщення не змінюється за рахунок теплопритоку від сонячної радіації через ПТС, що забезпечує зниження енерговитрат на кондиціювання у літню пору року.

Розроблено методику вибору склопакетів за величиною їх світлопропускання, для забезпечення нормованої величини коефіцієнта природного освітлення.

3.3 Оцінки застосування склопакетів для забезпечення нормованого природного освітлення у приміщеннях

Світлопрозорі конструкції будівель, що захищають, отримали в останні роки широке використання в архітектурно-будівельній практиці. час доби, рис.3.9.



Рисунок 3.9– Проект Комплекс будівель Федерації Футбола України у м. Київ



Рисунок 3.10 – Проект Офісні центри Київстар у м. Одеса

Основним елементом світлопрозорих конструкцій, що захищають, є склопакети, які являють собою вироби, що складаються з двох або трьох шарів листового скла, розташованих на деякій відстані один від одного, і герметично з'єднані між собою по периметру. , що мають різні покриття для надання склам нових властивостей [1-3].

При розробці та виробництві склопакетів основна увага приділяється підвищенню їх теплозахисних якостей. Ці продукти пов'язані з використанням газів Аргон та Криптон при заповненні міжскляних камер та використанням спеціальних стекол з покриттями металевими та оксидно-металевими плівками (К-скло та І-скло) [4]. забезпечення нормативних значень природного висвітлення приміщень.

Однак, використання в склопакетах кольорового скла призводить до проникнення в приміщення окремих діапазонів сонячного спектру, що знижує екологічність освітлення, оскільки око людини за багато тисячоліть адаптоване до повного сонячного спектру. організму [5-7]. Діапазон довжин хвиль, що проникає в приміщення залежно від кольору скла, наведені в табл.

В даний час немає медичного обґрунтування про можливість (або неможливості) використовувати для висвітлення приміщень того чи іншого діапазону довжин хвиль та їхнього впливу на здоров'я людини [7].

Таблиця 3.3 – Розкладання сонячного спектру на складові (в веселці)

Колір	Діапазон довжин хвиль, нм
Червоний	760-620
Помаранчевий	620-586
Жовтий	586-550
Зелений	550-510
Блакитний	510-480
Синій	480-450
Фіолетовий	450-380

Для зимових садів, оранжерів або ботанічних садів з метою розвитку рослин є рекомендації щодо впливу різних ділянок спектру. значення для розвитку рослин у спектральних діапазонах сонячного світла (за даними компанії ЛОС).

Таблиця 3.4 – Фізіологічні значення спектральних діапазонів сонячного світла

Спектральний діапазон, нм	Фізіологічні значення
400-500 (синій)	Фотосинтез та регуляція
500-600 (зелений)	Корисний для фотосинтезу густих посівів рослин за рахунок високої проникаючої здатності
600-700 (червоний)	Яскраво виражена дія на фотосинтез
700-750 (далекий червоний)	Яскраво виражена регуляторна дія
1200-1600	Поглинається внутрішньо- та міжклітинною

	водою, збільшує швидкість теплових біохімічних реакцій.

Подібний аналіз з точки зору впливу на зір та імунну систему людини різних спектральних діапазонів сонячного світла був би дуже корисним для встановлення нормування природного освітлення приміщень.

Видно також, що світлопропускання склопакетів у видимій частині сонячного спектру змінюється від 17 до 67 %. По всій номенклатурі склопакетів, що випускаються іншими фірмами – виробниками (AGC, Pilkington, Guar-dian, Saint-Gobain), світлопрозорість змінюється від 15 до 75%. Природно постає питання про таку мінімальну величину світлопрозорості склопакетів, нижче за яку склопакет не забезпечить нормативний рівень природного освітлення приміщень (нормативний КЕО).

У нормативній літературі з розрахунку природного висвітлення приміщень величина світлопропускання склопакетів визначається коефіцієнтом τ_1 (частки одиниці). У розрахункових формулах вплив τ_1 на забезпечення нормованої освітленості приміщень не проявляється в явному вигляді через велику кількість коефіцієнтів, які враховують геометричні параметри приміщень, втрати світла в палітурках, кількість чисток скла на рік, вплив протистояння, вплив внутрішньої обробки і т.д. і т.п.

Вплив τ_1 на забезпечення освітленості, що нормується, проаналізуємо на умовному приміщенні, схема якого представлена на рис. 3.11

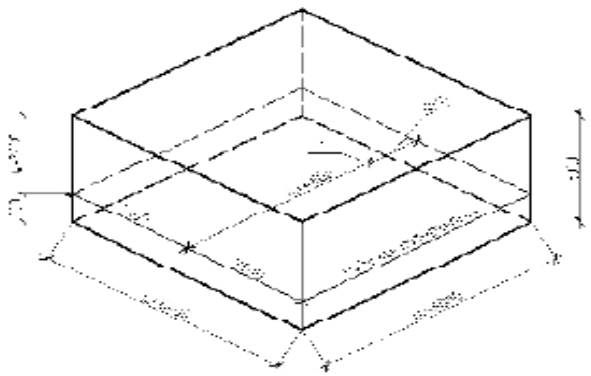


Рисунок 3.11 – Схема умовного приміщення. РТ – розрахункова точка

Відповідно до рисунка, максимально можлива площа світлових прорізів S_0 визначається добутком $h_{01} \times 1_П = 2,2 \times 6,0 = 13,2$ м^2. Ця величина є граничною умовою при попередньому розрахунку площі світлових прорізів S_0 за формулою 3.19:

$$S_0 \quad \frac{S_П * e_N * k_з * \eta_0 * k_{зд}}{* \ \tau_0 * z_1} \tag{3.19}$$

де $S_п$ – площа підлоги приміщення, м^2;

e_N – нормована величина КЕО;

коефіцієнти $k_з$, η_0, $k_{зд}$, z_1 – визначаються геометричними параметрами приміщення, кутом нахилу світлопропускаючого матеріалу до горизонту, кількості чисток скла на рік, розташуванням протистоящих будівель, характеру внутрішньої обробки приміщення.

Геометричні параметри приміщення:

$1_Т/d_П = 4,8/6 = 0,80$;

$d_П/h_{01} = 6 / 2,2 = 2,7$;

$1_П/d_П = 6/6 = 1$;

ступінь відображення внутрішніх поверхонь, що дорівнює 0,5, дозволила визначити коефіцієнти у формулі (3.19): $k_З = 1,2$; $\eta_0 = 1,8$; $k_{зд} = 1,2$; $z_1 = 3,1$. (З метою економії місця у статті докладний розрахунок коефіцієнтів не наводиться).

Загальний коефіцієнт світлопропускання τ_0 визначається за такою формулою 3.20:

$$\tau_0 = \tau_1 \times \tau_2 \times \tau_3 \times \tau_4 \times \tau_5, \tag{3.20}$$

де τ_1 – світлопропускання склопакета;

τ_2 – враховує втрати світла в палітурках;

τ_3 – втрати світла в несучих конструкціях;

τ_4 – втрати світла у сонцезахисних пристроях;

τ_5 – втрати світла в захисній сітці, що встановлюється під ліхтарями.

Для нашого випадку τ_3, τ_4 і τ_5 = 1,0 через відсутність зазначених конструкцій.

Коефіцієнт τ_2 приймемо рівним 0,8.

Формула (3.20) набуде вигляду:

$$\tau_0 = \tau_1 \times 0{,}8. \qquad (3.20)$$

Підставивши отримані коефіцієнти у формулу (3.19), отримаємо:

$$S_0 \frac{36 * e_N * 12 * 18 * 12}{100 * \tau_1 * 0{,}8 * 31} = \frac{933{,}12 * e_N}{248 * \tau_1} = 3.76 \frac{e_N}{\tau_1} \qquad (3.20)$$

Можна бачити, що площа світлових прорізів S_0 пропорційна нормованій величині КЕО – e_N і обернено пропорційна коефіцієнту світлопропускання склопакета – τ_1.

Числовий коефіцієнт у формулі (3.20) – 3,76 є узагальненими даними за геометричними параметрами розглянутого приміщення, розташування протистоящих будівель та їх коефіцієнтів відображення природного світла, що для конкретного приміщення є постійною величиною, а забезпечення нормованої величини КЕО (e_N) для даного приміщення визначається співвідношенням між ек та коефіцієнтом світлопропускання склопакета τ_1. через величину площі світлових прорізів S_0.

Для приміщення схема якого представлена на рис. 3.11 можна оцінити вплив e_N і τ_1 на необхідну величину площі світлових прорізів S_0. Результати аналізу наведено у табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Вплив КЕО (e_N) та світлопропускання склопакетів (τ_1) на величину площі склопроємів для умовного приміщення

Коефіцієнт світлопропускання, склопакета τ_1, частки е	Площа світлопройом, м^2 требуємна для забезпечення заданого КЕО (e_N)		
	e_N=1,0% (читальні зали)	e_N=1,5% (навчальні аудиторії)	e_N=2,0% (конструкторські кабінети)
0,9	4,18	6,27	8,34
0,7	5,37	8,01	10,74
0,57	6,60	9,89	13,20
0,5	7,52	11,28	15,04
0,42	8,95	17,90	13,20
0,3	12,50	18,80	25,00
0,28	13,20	20,14	26,86
0,1	37,6	56,40	75,20

З табл. 3.5 видно, що необхідна площа світлопройом So зростає зі збільшенням коефіцієнта світлопропускання склопакетів τ_1. Причому для кожного значення КЕО (e_N) існує граничне значення τ_1, нижче якого необхідний рівень природного освітлення приміщень не може бути досягнутий навіть якщо вся зовнішня стіна буде виконана зі світлопрозорого матеріалу. У умовному приміщенні ця площа становить S_0=13,2 м^2.

Для забезпечення освітленості при e_N=1,0 граничний коефіцієнт світлопропускання склопакета τ_1 =0,28;

для Ɛ_N =1,5;

величина τ_1 = 0,42;

для e_N = 2,0 величина τ_1 = 0,57.

Зі зіставлення критичних значень τ_1, з даними про світлопропускання склопакетів можна бачити, що для забезпечення в приміщенні e_N = 1

незастосовні склопакети за рядками 9 і 15, для забезпечення e_N = 1,5 незастосовні склопакети за рядками 2, 8, 9, 11, 12 і 15, для забезпечення e_N = 2,0 застосовні склопакети тільки за рядками 1,4 і 6.

Розроблено методику, що дозволяє оцінити застосування склопакетів за величиною їх світлопропускання (τ_1) для забезпечення необхідного рівня природного освітлення приміщень при заданій величині КЕО (e_N) через необхідну величину площі світлових прорізів S_0 .

ВИСНОВКИ

Далеко не всі види фасадного скління, для створення світлопрозорих конструкці потрібні спеціальні склопакети, виготовлені за особливою технологією : з армованого броньованого, загартованого стікла. Для деяких проектів скло необхідно зігнути, що відтворити круглий і овальний фасад.

Фасадне скління - це інноваційна технологія кріплення скляних блоків, що дозволяє оформляти цільну поверхню зі скла без видимих притискних складових. З таким сучасним способом облицювання будь-яка будівля виглядатиме стильно і дорого.

Завдяки склінню фасадів приміщення наповнюються максимальною кількістю природного освітлення. За експлуатаційними властивостями склофасад такого типу не поступається іншим технологіям фасадного оздоблення. Структурне скління має високі показники безпеки, воно стійке до ультрафіолетових променів, атмосферних опадів та механічних впливів. Експлуатація структурного фасаду проста та зручна.

Завдяки безшовному з'єднанню між склом не накопичується бруд і фасад завжди залишається чистим, а також висока стійкість до промерзання, екологічна безпека, високий ступінь пожежної безпеки, висока якість складання гарантує практично повну відсутність бракованих елементів, красивий зовнішній вигляд фасаду завдяки відсутності притискних планок, герметичність фасаду.

Порівняльні оцінки ефективності (з позиції теплового режиму та освітленості) бічних віконних отворів та порожнистих трубчастих світловодів дозволяють зробити висновок про те, що сьогоднішні скромні масштаби застосування ПТС не відповідають їхнім потенційним можливостям. Порожнисті трубчасті світловоди дозволяють забезпечувати природним світлом при потрібному рівні КЕО та рівномірності розподілу природного освітлення навіть ті приміщення, які не можуть освітлюватися

звичайними системами природного світла (наприклад, підвали, центральні приміщення широких будівель, що знаходяться на нижніх поверхах тощо). У таких приміщеннях протягом усього року економиться електроенергія, яка витрачається на штучне освітлення. У приміщеннях, що мають традиційні світлопройоми, скоординована експлуатація вікон та ПТС в опалювальний сезон дозволяє заощаджувати енергію на опалення, а в жарку пору року – на вентиляцію та кондиціювання.

Розроблено методику, що дозволяє оцінити застосування склопакетів за величиною їх світлопропускання (τ_1) для забезпечення необхідного рівня природного освітлення приміщень при заданій величині КЕО (e_N) через необхідну величину площі світлових прорізів S_0 .

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кицкай Л. І. Енергоефектнвність в Україні: аналіз, проблеми та шляхи підвищення. Інноваційна економіка. 2013. №3. С. 32-37.

2. Боровик Ю. Т.. Єлагін Ю.В. Стійке будівництво: сутність, принципи, тенденції розвитку. Вісник економіки транспорту і промисловості. 2021. №72-73. С. 47-56.

3. Іванова Л.С. Енергоефектнвні інновації у будівництві. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2018. №52. С. 302-306.

4. Кращі практики щодо енергозбереження у житлово-комунальному господарстві України. Київ : Центр громадської експертизи. 2011. 184 с.

5. Практика інноваційних розробок у сфері територіально-просторового розвитку міст і регіонів : монографія / за заг. ред. В. Т. Семенова. І. Е. Линник. Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. 2016. 286 с.

6. Кіотськнй протокол до Рамкової конвенції Організації Об`єднаних Націй про зміну клімату від 17.11.2006. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_801.

7. Про затвердження Стратегії енергетичної безпеки : Постанова Кабінету Міністрів України від 4 серп. 2021 р. № 907-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/907-2021-р.

8. Директива Європейського Парламенту та Ради 2010/31/ЄС від 19 травня 2010 року про енергетичні характеристики будівель. № L 153. Офіційний вісник Європейського Союзу. 2018. № L 156. С. 75.

9. World Energy Trilemma Index 2022: Monitoring the Sustainability of National Energy Systems. World Energy Council. 2022. URL: https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-trilemma-index-2022.

10. Досвід країн Євросоюзу з підвищення енергоефективносп. енергоаудиту та енергоменеджменту з енергоощадності в економіці країн.

Київ Відділ інформаційно- аналітичної роботи департаменту міжнародного співробітництва та євроінтеграції. 2017. 113 с.

11. Energy Performance of Buildings Directive (EPBD). URL: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings-directive- epbd_en.

12. Basics [Passipedia EN]. Passipedia - The Passive House Resource [Passipedia EN], URL: https://passipedia.org/basics (date of access: 13.03.2023).

13. Houses made of sip panels. ECOPAN. URL: https://ecopanua.com/ru/doma-iz- sip-panelej-sip-paneli-sip-paneli/.

14. Аспект плюс. Скло. Види скла. Обробка скла. URL: http://aspectplus.com.ua/content/view/105/lang.ua/.

15. Літинський та Літинський. Все. що треба знати про віконні конструкції. URL: http://litinskyandlitinsky.com/article_in.html.

16. ДСТУ Б В.2.7-107:2008. Будівельні матеріали. Склопакети клеєні будівельного призначення. [На заміну ДСТУ Б В.2.7-107-2001 (ТОСТ 24866-99); чинний від 01.01.2010]. Вид. офщ. Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. 2009. 32 с.

17. Кужель Л.М. Закономірності теплопередачі через віконні конструкції: дис. канд. техн, наук : 05.14.06 / Інститут технічної теплофізики НАН України. Київ, 2017. 190 с.

18. Фаренюк Є.Г. Тепловий режим світлопрозорих огороджувальних конструкцій сучасних багатоповерхових будівель : дис. канд. техн, наук : 05.23.01 / Національний університет водного господарства та природокористування. Рівне. 2015. 172 с.

19. Velux: Вікна спеціального призначення. URL: https://www.velux.ua/uk/products/mansardni_vikna/special-fimction.

20. Герасимчук З.В., Аверкина М.Ф. Зарубіжний досвід використання покрівлі типу «зелений дах» в контексті забезпечення стійкого розвитку міста. Збірник наукових праць Буковинського університету. Економічні науки. Чернівці: Книги XXI. 2013. С. 125 - 132.

21. Бородай С.П.. Бородай Д.С.. Бородай АС. , Бородай Я.О. Екологічні технології будівництва у сучасній народній архітектурі північно-східної України. Містобудування та територіальне планування : наук.-техн. зб. Київ : КНУБА. 2021. № 77. С. 85-99.

22. Дадіверіна Л.М., Комишня А.В. Інженерні, економічні, соціальні та екологічні переваги зеленої покрівлі. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. Дніпро. 2018. № 5. С. 60 - 65.

23. Салій Ю. Сад на даху: як озеленюють покрівлі в Україні та світі. Київський міський журнал «ХМАРОЧОС». URL: https://hmarochos.kiev.ua/2016/03/16/sad-na-dahu- yak-ozelenyuyut-pokrivli-v-ukrayini-ta-sviti/

24. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011-11-01]. Вид. офш. Київ : Мінрегіонбуд України. 2011. 130 с.

25. 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. офщ. Київ : Мінрегіонбуд України, 2007. 75 с.

26. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування і забудова територій. [Чинний від 2019-10- 01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України. 2019. 185 с.

27. ДБН Б. 1.1-15:2012 Склад та зміст генерального плану' населеного пункту. [Чинний від 2012-11-01]. Вид. офш. Київ : Мінрегіонбуд України. 2012. 37 с.

28. ДБН В. 1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-06-01]. Вид. офщ. Київ : Мінрегіонбуд України. 2017. 47 с.

29. ДБН Б. 1.1-14:2012 Склад та зміст детального плану' території. [Чинний від 2012-10-01]. Вид. офщ. Київ : Мінрегіонбуд України. 2012. 25 с.

30. ДБН В.2.2-40:2018 Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. Із Зміною № 1. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офщ. Київ : Мінрегіонбуд України. 2018. 70 с.

31. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офщ. Київ : Мінрегіонбуд України. 2022. 27 с.

32. ДСТУ ЕХ 14351-1:2020 Вікна та двері. Вимоги. Вікна та зовнішні двері. [Чинний від 2021-02-01]. Вид. офш. Київ : Мінрегіонбуд України, 2021. 81с.

33. ДСТУ Б А.3.1-22:2013. Визначення тривалості будівництва об`єктів [Чинний з 2014-01-01]. Вид. офщ. Київ : Мінрегіон України, 2013. 42 с.

34. ДБН А.3.2-2-2009 Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний з 2012-04-01]. Вид. офщ. Київ : Мінрегіон України. 2009. 117 с.

35. ДБН А.3.1-5:2016 Організація будівельного виробництва. [Чинний з 2017- 01-01]. Вид. офщ. Київ : Мінрегіон України. 2017. 54 с.

36. ДСТУ-Н Б В. 1.3-1:2009 Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Виконання вимірювань, розрахунок та контроль точності геометричних параметрів. [Чинний з 2010-10-01]. Вид. офщ. Київ : Мінрегіон України, 2010. 36 с.

37. ДСТУ 4179-2003 Рулетки вимірювальні металеві. Технічні умови. Зі зміною № 1. [Чинний з 2003-07-01]. Вид. офщ. Київ : Мінрегіон України. 2007. 16 с.

38. ДСТУ 9027:2020 Системи управління якістю. Настанови щодо вхідного контролю продукції. [Чинний з 2021-01-01]. Вид. офщ. Київ : Мінрегіон України, 2021. 20 с.

39. ДСТУ Б В.2.8-43:2011 Огородження інвентарні будівельних майданчиків та ділянок виконання будівельно-монтажних робіт. Технічні

умови. [Чинний з 2012-12-01]. Вид. офщ. Київ : Мінрегіон України, 2012. 12 с.

40. ДСТУ Б А.3.2-13:2011 Система стандартів безпеки праці. Будівництво. Електробезпечність. Загальні вимоги. [Чинний з 2012-12-01]. Вид. офщ. Київ : Мінрегіон України. 2012. 14 с.

41. ДСТУ Б А.3.2-1512011 Система стандартів безпеки праці. Норми освітлення будівельних майданчиків. [Чинніш з 2012-12-01]. Вид. офщ. Київ : Мінрегіон України. 2012. 31 с.

42. ДСТУ 4304:2004 Пояс запобіжний монтерський. Загальні технічні умови. [Чинний з 2005-07-01]. Вид. офщ. Київ : Мінрегіон України, 2005. 17 с.