

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Т. М. Апатенко, Т. В. Жидкова, Е. А. Шишкін

БУДІВЕЛЬНА ФІЗИКА

ПІДРУЧНИК

2-ге видання, виправлене і доповнене

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

УДК 624+53](075.8)

A76

Автори:

Апатенко Тетяна Миколаївна, старший викладач кафедри міського будівництва ХНУМГ ім. О. М. Бекетова;

Жидкова Тетяна Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри міського будівництва ХНУМГ ім. О. М. Бекетова;

Шишкін Едуард Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри міського будівництва ХНУМГ ім. О. М. Бекетова

Рецензенти:

Степанчук Олександр Васильович, доктор технічних наук, професор, академік Академії технічних наук України, член-кореспондент Інженерної академії України;

Линник Ірина Едуардівна, доктор технічних наук, професор, кафедри міського будівництва ХНУМГ ім. О. М. Бекетова

*Рекомендовано до друку
Вченою Радою ХНУМГ ім. О. М. Бекетова,
протокол № 2 від 29.09.2023*

Апатенко Т. М.

A76 Будівельна фізика : підручник / Т. М. Апатенко, Т. В. Жидкова, Е. А. Шишкін ; [за ред. Е. А. Шишкіна] ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – 2-ге вид., випр. і допов. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 415 с.

ISBN 978-966-695-597-8

У підручнику розглядаються теоретичні основи формування теплового, світло-кольорового і акустичного середовища, які є основою для раціонального проектування будинків, споруд та їхніх комплексів, створення комфортних умов життєдіяльності людини. Викладені методи нормування, розрахунку і проектування освітленості, акустики, звукоізоляції будівель та основи архітектурної кліматології і теплотехніки.

Для здобувачів закладів вищої освіти, які навчаються за спеціальністю «Архітектура» та «Цивільна інженерія».

УДК 624+53](075.8)

© Т. М. Апатенко, Т. В. Жидкова,
Е. А. Шишкін, 2024

ISBN 978-966-695-597-8

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	7
ВСТУП.....	9
ЧАСТИНА І КЛІМАТОЛОГІЯ.....	13
РОЗДІЛ 1 ПРЕДМЕТ КЛІМАТОЛОГІЇ. ЗАГАЛЬНА І ПРИКЛАДНА КЛІМАТОЛОГІЯ. АРХІТЕКТУРНА КЛІМАТОЛОГІЯ	13
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРИРОДНІ ФАКТОРИ Й ЕЛЕМЕНТИ КЛІМАТУ	16
2.1 Кліматотвірні фактори	16
2.2 Показники елементів клімату	26
РОЗДІЛ 3 ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНЕ РАЙОНУВАННЯ.....	40
3.1 Основи кліматичного районування Землі	40
3.2 Кліматичні особливості Євразії.....	48
3.3 Клімат Африки.....	50
3.4 Природно-кліматичне районування України.....	52
3.5 Агрокліматичне районування України.....	57
3.6 Дорожньо-кліматичне районування України.....	59
3.7 Кліматичне районування для будівництва.....	60
3.8 Районування території за світловим кліматом.....	64
3.9 Розподіл радіаційного тепла по території.....	65
РОЗДІЛ 4 ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНИЙ КОМПЛЕКС.....	68
4.1 Поняття природно-кліматичного комплексу.....	68
4.2 Поняття макро-, мега- і мікроклімату.....	69
4.3 Оцінка складових природно-кліматичного комплексу.....	71
4.4 Виявлення основних форм рельєфу і методів їхнього зображення на топографічній підоснові.....	77
4.5 Аналіз основних кліматичних факторів і їхнього сполучення.....	81
РОЗДІЛ 5 ФОРМУВАННЯ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА.....	85
5.1 Вплив кліматичних факторів на проєктні рішення.....	85
5.2 Кліматична типологія. Традиційне житло.....	92
5.3 Типи погоди і режими експлуатації житла.....	104
5.4 Кліматичний аналіз.....	108
5.5 Рекомендації щодо проєктування житлової забудови в різних погодних умовах.....	109

РОЗДІЛ 6 КЛІМАТ МІСТА	115
6.1 Розбіжності клімату у великих містах та прилеглої до них території.....	115
6.2 Вплив кліматичних факторів на формування міських територій...	118
6.3 Засоби поліпшення клімату міст.....	120
6.4 Негативні і позитивні приклади містобудування та архітектури...	122
ЧАСТИНА II ТЕПЛОФІЗИКА	127
РОЗДІЛ 7 ТЕПЛОФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ	127
7.1 Загальні теплофізичні основи проєктування.....	127
7.1.1 Предмет і методи архітектурної теплофізики.....	127
7.1.2 Основні теплофізичні поняття.....	128
7.2 Основи теплотехнічних розрахунків.....	129
7.2.1 Особливості теплотехнічного розрахунку неоднорідних огорожувальних конструкцій.....	129
7.2.2 Основні засоби із запобігання створення надлишкової вологості в зовнішніх огорожувальних конструкціях будівель.....	136
7.2.3 Теплопровідність будівельних матеріалів.....	138
7.2.4 Стаціонарні умови теплопередачі (одновимірний тепловий потік), теплопровідність будівельних матеріалів.....	141
РОЗДІЛ 8 ТЕПЛОВИЙ МІКРОКЛІМАТ ПРИМІЩЕНЬ	147
8.1 Критерії оцінки мікроклімату за ознакою тепловідчуття людини.....	147
8.1.1 Критерії визначення мікроклімату приміщень.....	147
8.1.2 Біокомфорт як синтез теплових і аераційних умов.....	149
8.1.3 Фактори й методи визначення комфортного середовища.....	153
ЧАСТИНА III СВІЛОТЕХНІКА Й ОСВІТЛЕННЯ	156
РОЗДІЛ 9 ОСНОВИ СВІЛОТЕХНІКИ	156
9.1 Основні поняття, величини, розмірності. Види та закони розповсюдження світлової енергії Сонця.....	156
9.1.1 Основні поняття та закони розповсюдження світлової енергії.....	156
9.1.2 Світлотехнічні закони Ламберта.....	160
9.1.3 Функції зору.....	162
9.1.4 Оптичні ілюзії.....	167

РОЗДІЛ 10	АРХІТЕКТУРНЕ ОСВІТЛЕННЯ.....	177
10.1	Природне освітлення, його функції, види, системи, кількісні і якісні одиниці.....	177
10.1.1	Природне освітлення, його функції, види, системи і якісні одиниці.....	177
10.1.2	Нормування та проектування природного освітлення.....	180
10.1.3	Шляхи досягнення оптимального світлового режиму.....	186
РОЗДІЛ 11	ІНСОЛЯЦІЯ.....	191
11.1	Інсоляція та сонцезахист в архітектурі.....	191
11.1.1	Загальні відомості щодо інсоляційних основ проектування.....	191
11.1.2	Основи інсоляційних розрахунків.....	195
11.2	Інсоляція будинків і територій.....	197
11.2.1	Методи визначення інсоляції будинків.....	197
11.2.2	Формування і проектування інсоляції забудови.....	208
11.2.3	Основні характеристики сонцезахисних засобів та методи їхнього проектування.....	209
РОЗДІЛ 12	АРХІТЕКТУРНЕ КОЛЬОРОЗНАВСТВО.....	223
12.1	Основи архітектурного кольорознавства.....	223
12.1.1	Єдність світла і кольору як найважливіший фактор середовища.....	223
12.1.2	Параметри кольору, спектральний склад світла. Фізичні засади кольорового відчуття.....	227
12.1.3	Властивості кольорів, що обумовлюють їхній психологічний вплив.....	230
12.2	Нормування і проектування кольорового рішення.....	238
12.2.1	Основні принципи нормування кольорів.....	238
12.2.2	Основні принципи кольорової організації міста.....	244
РОЗДІЛ 13	ШТУЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ.....	251
13.1	Штучне освітлення міських просторів і будинків. Кількісні і якісні характеристики.....	251
13.1.1	Кількісні і якісні характеристики штучного освітлення.....	251
13.1.2	Нормування та проектування штучного освітлення.....	259
13.2	Штучне освітлення міських просторів і будинків.....	266
13.2.1	Засоби архітектурного освітлення міських просторів.....	266
13.2.2	Світлова панорама міста, світлові ансамблі й доміанти.....	271
13.2.3	Нормування освітлення вулиць і доріг.....	276

ЧАСТИНА IV АКУСТИКА	280
РОЗДІЛ 14 ОСНОВИ АКУСТИКИ	280
14.1 Основні поняття та визначення акустики. Звукові коливання та хвилі.....	280
14.2 Об'єктивні та суб'єктивні характеристики звуку.....	287
14.3 Єдність архітектурних і акустичних рішень.....	297
РОЗДІЛ 15 АКУСТИКА ЗАКРИТИХ ТА ВІДКРИТИХ ПРОСТОРІВ ...	305
15.1 Основи акустичного проектування залів для глядачів.....	305
15.1.1 Основні архітектурно-будівельні заходи і засоби для збереження природності звучання.....	305
15.1.2 Основні принципи акустичного проектування концертних залів.....	313
15.1.3 Специфіка залів універсального (багатоцільового) призначення.....	318
15.2 Архітектурно-будівельні заходи із розміщення відкритих театрів та засоби для збереження у них природності звучання...	322
РОЗДІЛ 16 АРХІТЕКТУРНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ ЗАСОБИ БОРОТЬБИ З ШУМОМ	331
16.1 Захист від шуму в міських просторах і будинках.....	331
16.1.1 Екологічні наслідки впливу шуму на живі організми. Основні принципи оцінки шуму.....	332
16.1.2 Основні містобудівні методи шумозахисту.....	338
16.2 Звукоізоляційні й звуковбирні матеріали.....	346
16.2.1 Класифікація будівельних та опоряджувальних матеріалів за акустичною ознакою.....	346
16.2.2 Методологія використання звукоізоляційних та звуковбирних матеріалів.....	350
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	359
ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК	372
ДОДАТКИ	384

ПЕРЕДМОВА

Підручник «Будівельна фізика» за змістом відповідає програмі аналогічного курсу та розділу комплексної програми для закладів вищої освіти підготовки бакалавра в галузі знань 19 – Архітектура та будівництво спеціальності 191 – Архітектура та містобудування та 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

В основу матеріалу підручника покладено узагальнений прогресивний вітчизняний та закордонний досвід теоретичних досліджень завдань будівельної фізики і методів їхнього практичного втілення під час вирішення найважливіших проблем навколишнього середовища, які передбачені в процесі архітектурного проєктування будівель та містобудівельних утворень з урахуванням вимог техніко-економічного характеру.

Підручник поділяється на чотири розділи, які мають взаємний зв'язок за методологією викладення.

У першому розділі викладено основи кліматології, пов'язані із завданнями формування мікроклімату міського середовища, вирішення містобудівельних та архітектурних завдань.

Другий розділ вміщує основи теплофізики як однієї зі складових будівельної фізики та розглядає основи нормування та розрахунки теплозахисних властивостей конструкцій будинків у різних кліматичних районах землі з метою вирішення завдань щодо формування мікроклімату приміщень відповідно до вимог теплового комфорту.

Третій розділ розглядає основи архітектурної світлотехніки – науки про норми проєктування і методи розрахунків світлового середовища містобудівельних просторів та приміщень різного призначення з урахуванням взаємодії утилітарних, естетичних і санітарно-гігієнічних функцій світла; теоретичні основи проєктування світлової архітектури; розрахунок, проєктування та виробництво освітлювальних пристроїв та установок.

У четвертому розділі розглядаються основи архітектурної акустики та методи боротьби з шумом; наведено норми та методи розрахунку і проєктування акустично комфортних приміщень різного призначення, а також методи захисту містобудівельних просторів від негативної дії небажаних звуків.

У кожному розділі підручника наведено приклади вирішення архітектурного та містобудівного середовища у взаємозв'язку будівельної фізики з архітектурним проєктуванням.

Пропоноване друге видання підручника значно доповнено й уточнене, є змістовним і сучасним, яскраво ілюстрованим, доступним і зрозумілим для студентів, архітекторів та будівельників. У ньому наводиться велика кількість схем та ілюстрацій, що покращує сприйняття конкретного матеріалу, та контрольні запитання, які дозволяють перевірити його засвоєння. Особливістю підручника є системний підхід до вивчення кліматології та будівельної фізики.

Підручник містить глосарій та необхідний довідниковий матеріал для розв'язання задач із будівельної фізики для умов України відповідно до існуючих будівельних вимог. Він складений у такий спосіб, щоб студенти могли самостійно розв'язувати поставлені задачі.

ВСТУП

ПРИЗНАЧЕННЯ, МІСЦЕ ДИСЦИПЛІНИ «БУДІВЕЛЬНА ФІЗИКА» У ФАХОВІЙ ПІДГОТОВЦІ АРХІТЕКТОРІВ

Не можна розуміти під архітектурною наукою лише красу і витонченість форм, пропорцій і ліній, мистецтвознавчі дослідження про закономірності композиційних співвідношень, суперечки про тектонічну сутність форм та історію створення архітектурних шедеврів, які стали саме такими тому, що їхні творці розуміли: виразність архітектури залежить від природних параметрів середовища.

Н. В. Оболенський, канд. техн. наук, архітектор

Великі майстри архітектури (Вітрувій, Альберті, Ле Корбюзьє, П. М. Жолтовський, А. К. Буров, А. Аалто) визначали вплив кліматичних факторів та фізичних явищ на формування найважливіших категорій якості архітектури, а саме – композицію, стиль, образ, пластику. Отже, знання будівельної фізики і кліматології мають безпосередній й взаємопов'язаний зв'язок з архітектурним проектуванням, теорією архітектури, формують творчий метод архітектора та попереджують його від допущення грубих помилок в естетичному, екологічному, функціональному й техніко-економічному відношенні.

Компоненти природного та штучного середовища (сонячна радіація, повітря (його температура, вологість, швидкість та напрям вітру), опади, колір, і звук відіграють важливу роль у формуванні архітектурних рішень. Досягнення раціональних рішень можливо завдяки комплексному урахуванню фізичних параметрів середовища (світлотехнічних, теплотехнічних та акустичних) на початковій стадії архітектурного проектування.

Сучасна архітектура найтісніше пов'язана з природно-кліматичним середовищем і соціальними умовами життя. Композиційні прийоми та щільність забудови, орієнтація будівель за сторонами горизонту, розміри та заповнення світлових прорізів, пластика фасадів, а також теплоінерційність та звукоізоляція огорожень – фактори, від яких значною мірою залежать комфортність та виразність будівель, теплові витрати й кошторис енергетичної експлуатації, що є найактуальнішим питанням сьогодення, основою народногосподарської та соціально-

філософської проблем, яка диктується самим життям як для сучасної, так і для майбутньої архітектури. Вирішення цієї проблеми можливо тільки завдяки шляху синтезу мистецтва, техніки і науки, які довічно взаємопов'язані, взаємозбагаченні категоріями архітектури.

Будівельна фізика є сукупністю наукових дисциплін (розділів прикладної фізики), які розглядають фізичні явища і процеси, пов'язані з будівництвом та експлуатацією будівель і споруд, розтлумачують методи специфічних інженерних розрахунків. Основними і найбільш розвиненими розділами будівельної фізики є *будівельна й архітектурна кліматологія*, *будівельна теплофізика*, *будівельна й архітектурна акустика*, *світлотехніка* (рис. 1), які вивчають закономірності перенесення тепла, передачі звуку і світла (явищ, які безпосередньо сприймають органи відчуття людини) з метою забезпечення в житлових і громадських будівлях необхідних температурно-вологісних, акустичних і світлотехнічних умов. Дані будівельної фізики є основою для раціонального проектування архітектурних просторів, комплексів, будівель і споруд, створення комфортних умов життєдіяльності людини.

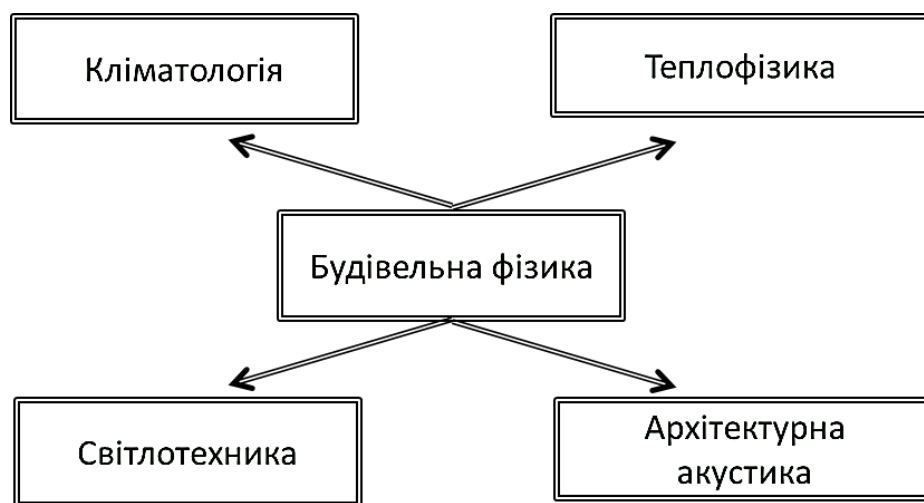


Рисунок 1 – Основні складові дисципліни «Будівельна фізика» [57]

Будівельна та архітектурна кліматологія вивчає кліматичні впливи на будівлі й споруди. Дані будівельної кліматології (розрахунки температури зовнішнього повітря, швидкість і напрямок вітрів, частоту та кількість опадів тощо) є підставою для створення в населених пунктах оптимального мікроклімату; забезпечення потрібної аерації та інсоляції забудови, будинків і окремих приміщень; розрахунку систем опалення і вентиляції; добору потрібних матеріалів і конструкцій.

Будівельна теплофізика вивчає процеси передачі тепла, вологи й повітря в будинках і спорудах та огорожувальних конструкціях, установлює методи розрахунку цих процесів.

Будівельна світлотехніка вивчає оптичні характеристики та закони розповсюдження і розподілу світлової енергії у відкритому або закритому просторі, практичні методи використання освітлення з утилітарною, естетичною і художньою метою, способами вимірювання та оцінки оптичних якостей будівельних і огорожувальних матеріалів. Світлотехніка як галузь будівельної фізики пов'язана з розрахунком, проектуванням та виробництвом освітлювальних пристроїв та установок.

Будівельна та архітектурна акустика вивчає закони поширення в будинках і містобудівних утвореннях звукових хвиль, акустичний режим приміщень різного призначення, акустичні характеристики будівельних матеріалів і виробів, несучих і захисних конструкцій, умови планування і забудови населених пунктів з метою захисту середовища життєдіяльності людини від негативних шумових впливів і створення оптимального акустичного режиму. Дані акустики є основою для планувальних містобудівельних, компонувальних і конструктивних заходів щодо зниження рівня шуму й забезпечення потрібного звукопоглинання і звукопідсилювання в забудові, окремих будинках і приміщеннях, містобудівельних просторах, особливо таких, де мають бути створені умови для сприймання музики, співу, мови (театри, концертні зали, зали засідань, відкриті театри тощо).

Будівельна фізика має велике значення не тільки як додаткова службова технічна дисципліна, яка дає можливість правильно вирішувати свої власні завдання, а також у разі розуміння її проблем, допомагає архітектору та інженеру знаходити правильні архітектурно-планувальні рішення в процесі проектування будинків та споруд, архітектурних комплексів та містобудівельних просторів.

Найпоширеніша помилка проектувальників полягає в тому, що в процесі проектування основні положення будівельної фізики не враховують, що призводить до непродуктивних втрат часу і праці, оскільки готовий проєкт додатково перевіряється на узгодженість вимогам будівельної фізики. Виявлені після такої перевірки зміни можуть докорінно змінити концепцію проєкту. Отже, раціональним має бути тільки спільне вирішення задач будівельної фізики і безпосередньо завдань проектування. За необхідності максимальної економії як конструктивних так й інших засобів, особливо під час здійснення великих проєктів, для

виробництва точних розрахунків необхідно залучати інженера-фахівця з будівельної фізики.

Методи досліджень та розрахунку, з якими пов'язана будівельна фізика, дозволяють оцінити якість будівництва (на всіх стадіях проектування та зведення будівель). Дані будівельної фізики необхідно враховувати під час розроблення проєктів районного планування, планування та забудови населених міст, обґрунтуванні під час вибору будівельного майданчика для всіх видів будівництва, проектування комплексів забудови, будівель та споруд.

Становлення будівельної фізики як повноправної науки розпочинається до початку ХХ ст. До цього часу питання будівельної фізики зазвичай вирішувалися інженерами та архітекторами на основі практичного досвіду. У Радянському Союзі перші наукові лабораторії цього профілю були організовані наприкінці 20-х – початку 30-х рр. ХХ ст. при Державному інституті споруд (ДІС) та Центральному науково-дослідному інституті промислових споруд (ЦНДПС). У наступні роки найважливіші науково-дослідні роботи з основних розділів будівельної фізики були зосереджені в Інституті будівельної техніки (нині – Науково-дослідний інститут будівельної фізики). Інтенсивний розвиток будівельна фізика набула у зв'язку зі значним збільшенням обсягів будівництва різних за призначенням будівель із застосуванням індустріальних полегшених конструкцій і нових матеріалів, що вимагають попередньої оцінки їхніх властивостей. Радянськими вченими вперше були розроблені теорії теплотривкості огороджувальних конструкцій будівель (О. Є. Власов), методи розрахунку стану вологості конструкцій (К. Ф. Фокін) та їхньої гігроскопічності, проведено низку інших фундаментальних досліджень із найважливіших проблем будівельної фізики, які мають велике значення для сучасного будівництва.

ЧАСТИНА I КЛІМАТОЛОГІЯ

РОЗДІЛ 1 ПРЕДМЕТ КЛІМАТОЛОГІЇ. ЗАГАЛЬНА І ПРИКЛАДНА КЛІМАТОЛОГІЯ. АРХІТЕКТУРНА КЛІМАТОЛОГІЯ

Кліматологією називається наука, що вивчає погодні умови, сукупність прояву яких у приземному шарі атмосфери утворюють клімат певної місцевості та кліматичний режим різних країн і районів земної кулі.

У своїх дослідженнях кліматологія базується на даних *метеорології*, предметом вивчення якої є атмосферні явища та процеси в атмосфері Землі.

Вивчення дисципліни починають із понять, основних визначень і показників клімату. Необхідно чітко розрізняти поняття «погода» й «клімат».

Погода – фізичний стан атмосфери над певною територією в певний час (відрізок часу).

Клімат – це сукупність і послідовна зміна всіх можливих у певній місцевості станів атмосфери (умов погоди), що формуються в результаті впливу різних кліматотвірних факторів. Клімат виражається в багаторічному режимі погоди, що спостерігається в певній місцевості.

Розрізняють загальну і прикладну кліматологію.

Загальна кліматологія займається вивченням закономірностей зміни клімату на Землі в просторі та часі.

Фізична кліматологія – наука про генезис клімату, його фізичні обумовленості, що спирається, насамперед, на уявлення про тепловий і водний баланси земної поверхні й атмосфери, а також і про їхній вплив на створення клімату.

Особливою галуззю фізичної кліматології є *динамічна кліматологія*, яка розглядає клімати та їхній розподіл по Землі залежно від процесів загальної циркуляції атмосфери.

Комплексна кліматологія вивчає вплив визначеного класу погоди на людину і середовище її існування. Разом із тим особливості клімату місцевості оцінюються розрахунком повторюваності класів погоди як комплексу взаємопов'язаних метеорологічних елементів і явищ. Закономірності географічного розподілу погоди аналізуються за допомогою складання карт повторюваності того або іншого класу погоди.

Питання вивчення клімату високих шарів атмосфери виділяються в *аерокліматологію*.

Клімат приземного шару повітря є предметом *мікрокліматології*.

Палеокліматологія – вчення про клімат геологічного та історичного минулого, тісно примикає до історичної геології.

Біокліматологія – наука про вплив клімату на живі організми. Екологія тісно взаємодіє з біокліматологією, особливо на екологічному рівні. Термін та основи біокліматології були розроблені на початку ХХ ст. А. Кеппеном.

Агрокліматологія – вивчає вплив клімату на землеробство, а медична кліматологія вивчає метеозалежність здоров'я людини.

Технічна кліматологія вивчає вплив кліматичних факторів на вирішення спеціальних проблем у транспорті, авіації, будівництві.

Для архітекторів важливими є розділи **прикладної технічної кліматології**, що вивчають вплив метеорологічних показників на будинки, спорудження і матеріали під час вирішення типологічних і містобудівних завдань.

Обґрунтування доцільності проєктних рішень планування населених місць, будівельних конструкцій, типів будинку з урахуванням особливостей клімату і мікроклімату території проєктування, є основним завданням вивчення **технічної кліматології: будівельної, архітектурної й містобудівної** (рис. 1.1).

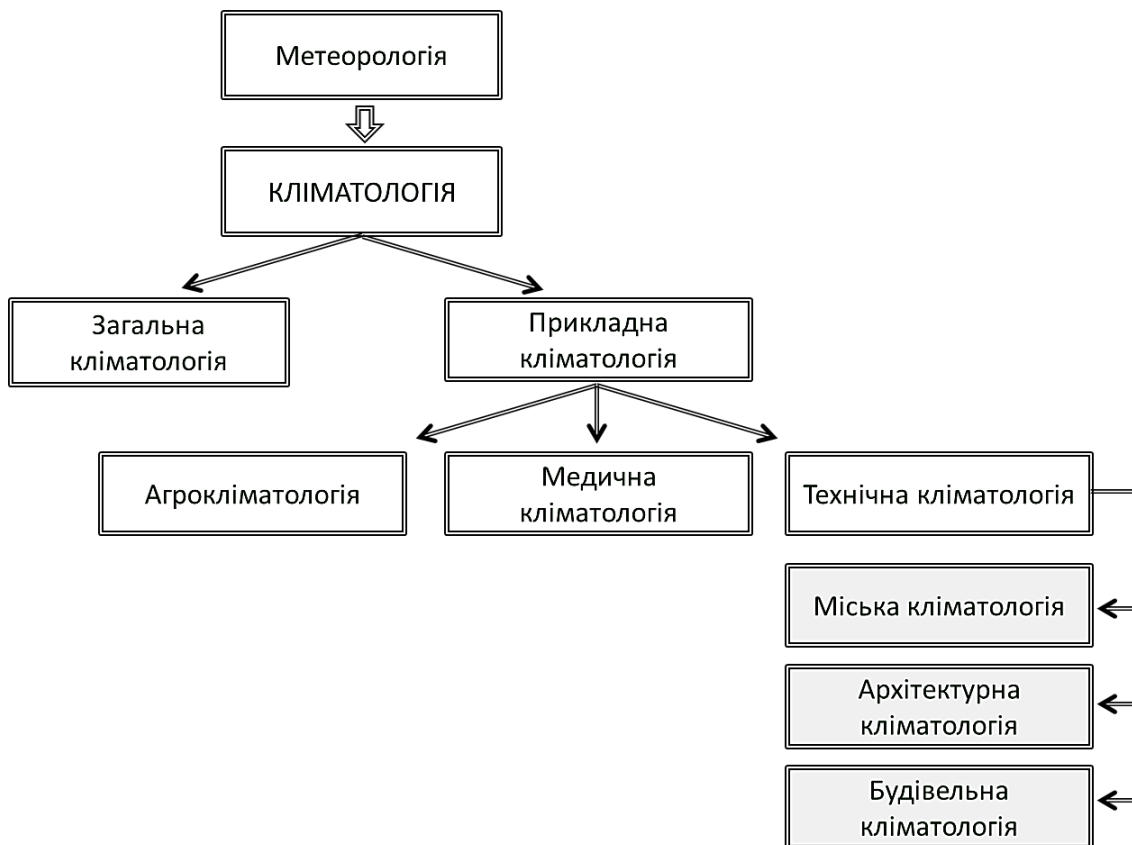


Рисунок 1.1 – Кліматологія. Основа і складові [57]

Архітектурна кліматологія – наука, яка розкриває зв'язки між кліматичними умовами та архітектурою будівель або містобудівних утворень. Оволодіння навичками кліматичного аналізу дозволяє архітектору правильно оцінити й врахувати дії кліматичних факторів місця будівництва, створити в штучному середовищі сприятливі мікрокліматичні умови, знайти виразну архітектурну форму, індивідуальний образ.

Предметом архітектурної кліматології є кліматичні особливості різних регіонів світу і, зокрема, України; природно-кліматичні умови навколишнього середовища, їхня зміна під впливом містобудівних факторів; методи оцінки й врахування кліматичних параметрів під час вирішення містобудівних завдань і розробки або вибору типології будинків для різних кліматичних зон.

Контрольні запитання

1. У чому різниця між поняттями «погода» і «клімат»?
2. Що вивчає архітектурна кліматологія?
3. У чому різниця між загальною і прикладною кліматологією?
4. Яке основне завдання вивчення дисципліни кліматологія?

РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРИРОДНІ ФАКТОРИ Й ЕЛЕМЕНТИ КЛІМАТУ

2.1 Кліматотвірні фактори

Формування клімату місцевості обумовлено взаємодією геофізичних процесів глобального масштабу з місцевими умовами й факторами географічного середовища (рис. 2.1).

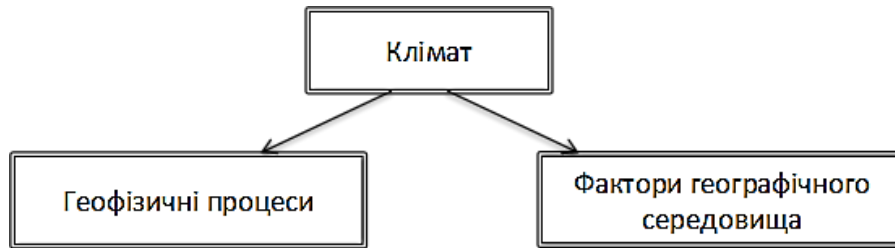


Рисунок 2.1 – Складові клімату [57]

Основними серед *геофізичних процесів*, що визначають клімат, є такі:

- сонячна радіація;
- теплообмін у земної поверхні;
- вологообмін в атмосфері;
- повітряна циркуляція.

Сонячною радіацією називають електромагнітне і корпускулярне (складається переважно з протонів) випромінювання Сонця.

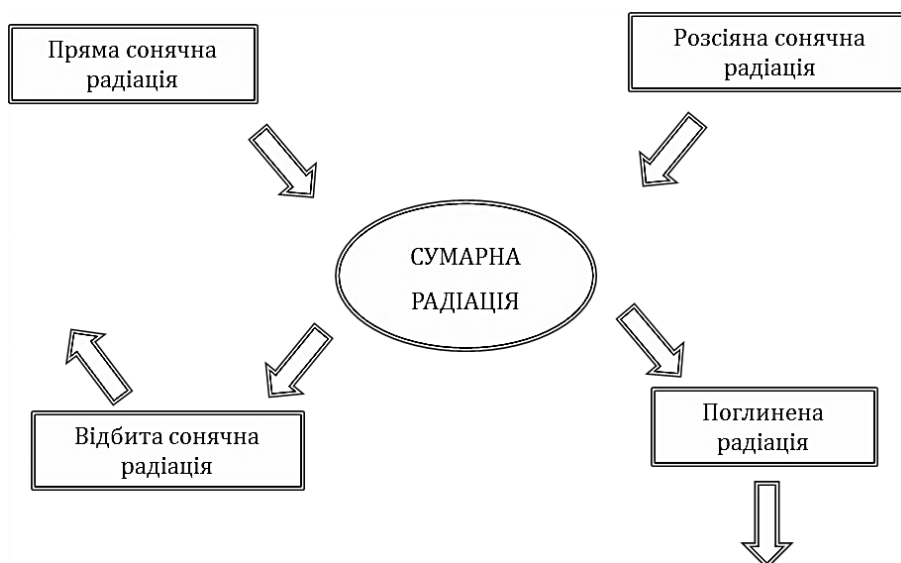


Рисунок 2.2 – Сонячна радіація [57]

Сонячна радіація – це кількість сонячної енергії, що надходить від сонця у вигляді прямої, розсіяної і відбитої радіації (рис. 2.2).

Пряма – промениста енергія, що надходить безпосередньо від Сонця на земну поверхню у вигляді рівнобіжних променів, що пройшли через атмосферу.

Розсіяна радіація – частина сонячної енергії, розсіяна земною атмосферою і хмарами, що надходить на землю від небосхилу. Значення розсіяної радіації зростає зі збільшенням хмарності й географічної широти.

Відбита радіація – утвориться в результаті відбивання прямої й розсіяної від природних і штучних елементів ландшафту.

Відношення потоку відбитого (розсіяного) поверхнею у всіх напрямках випромінювання до потоку, що надходить, зветься *альbedo*.

Електромагнітна частина спектра сонячної радіації містить 3 види випромінювання (рис. 2.3): інфрачервоне (тепло), світлове (світло) і ультрафіолетове (антибактерицидна дія).

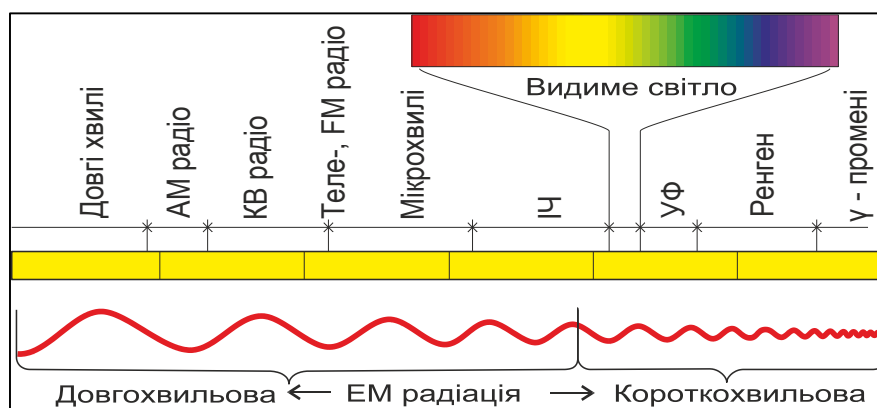


Рисунок 2.3 – Електромагнітна частина спектра сонячної радіації [57]

Сукупність світлової, ультрафіолетової й теплової дії прямої сонячної радіації називають *інсоляцією*.

Теплообмін у земної поверхні. Пряма радіація, що пройшла крізь атмосферу, і розсіяна радіація, потрапляючи на земну поверхню, частково від неї відбиваються, але здебільшого поглинаються нею і нагрівають верхні шари ґрунту і водойм.

Земна поверхня, зі свого боку, також впливає на атмосферу. Вона є основним джерелом тепла для нижніх шарів атмосфери. Удень сонячні промені нагрівають поверхню, а від неї нагрівається і повітря. Уночі земна поверхня втрачає тепло і стає холоднішою за повітря. А повітря віддає тепло земній поверхні й охолоджується.

Теплообмін між землею поверхнею та атмосферою відбувається різними шляхами:

- радіаційний теплообмін;
- молекулярна теплопровідність;
- турбулентне перемішування;
- теплова конвекція.

Турбулентний теплообмін між землею поверхнею й атмосферою є найінтенсивнішим з перелічених. У потоці повітря виникають вихори з вертикальною та горизонтальною віссю. Чим більша швидкість вітру та шорсткість або нерівність земної поверхні, тим більша турбулентність. Турбулентне перемішування повітря збільшує потік тепла від земної поверхні в атмосферу і навпаки. Коли повітря вихолоджується від земної поверхні, то турбулентні рухи переносять до поверхні тепле повітря з вищих шарів.

Крива фактичного розподілу температури з висотою в цей момент часу називається кривою стратифікації, або кривою розшарування.

Теплова конвекція – обмін теплом шляхом конвекційного перемішування повітря у вертикальному під впливом сильного перегрівання приземного шару повітря.

Випаровування вологи з поверхні землі відбувається з утратою значної кількості тепла. Водяна пара разом із повітрям шляхом турбулентності або теплової конвекції переноситься в атмосферу на значну висоту. Надалі водяна пара конденсується і виділяється тепло, що йде на нагрівання навколишнього повітря. Уночі водяна пара може конденсуватись на земній поверхні й в такий спосіб поверхня отримує звільнене тепло.

Усі перелічені процеси обміну теплом між діяльною поверхнею та атмосферою мають різний вплив на зміну температури. Переважна роль в обміні теплом належить турбулентності, тепловій конвекції та фазовим перетворенням води.

Зниження температури повітря з висотою – це нормальний стан тропосфери. Однак інколи температура повітря в якомусь шарі з висотою підвищується, що спостерігається доволі часто, то це є відхиленням від нормального стану і називається *інверсією температури*.

Радіаційний баланс атмосфери – алгебраїчна сума потоків радіації, що поглинається і випромінюваною атмосферою:

$$R_a = E_0 + I_a - E_w; \quad (2.1)$$

де E_0 – ефективне випромінювання земної поверхні;

I_a – сонячна радіація, пряма і розсіяна, поглинена атмосферою;

E_w – радіація земної поверхні й атмосфери, що іде в атмосферу.

Радіаційний баланс земної поверхні — різниця між поглиненою сумарною радіацією й ефективним випромінюванням земної поверхні:

$$R = (I + i)(1 - a) - (E_s - \delta E), \quad (2.2)$$

де I – пряма сонячна радіація;

i – розсіяна сонячна радіація;

a – альbedo поверхні;

E_0 – ефективне випромінювання земної поверхні;

E_s – власне випромінювання атмосфери;

δ – відносний коефіцієнт поглинання довгохвильової радіації земною поверхнею.

Радіаційний баланс земної поверхні виражається в кал/см² горизонтальної поверхні за 1 секунду (або за будь-який інший проміжок часу).

Вологообмін в атмосфері. Крім теплообміну, між земною поверхнею й атмосферою відбувається *постійний вологообмін*. Вода випаровується в атмосферу з поверхні водойм, із вологого ґрунту і рослинності. Цей процес супроводжується втратою великої кількості тепла з ґрунту і верхніх шарів води. Водяна пара є важливою складовою атмосферного повітря.

У верхніх шарах атмосфери водяна пара конденсується, віддаючи велику кількість прихованого тепла, унаслідок чого виникають хмари й тумани. Водяна пара перетворюється в крапельки води або кристалики льоду. На землю вода повертається у вигляді опадів, дощу, снігу.

Від розподілу і коливання кількості опадів залежать умови стоку, режим рік, рівень озер, стан рослинного покриву, висота сніжного покриву, глибина промерзання ґрунту тощо.

Повітряна циркуляція. Причиною появи вітрів є нерівномірний розподіл тиску на земній поверхні. Систему масштабних повітряних плинів на Землі називають загальною циркуляцією атмосфери. Основними елементами загальної циркуляції атмосфери є циклони й антициклони.

З повітряними плинами в системі загальної циркуляції атмосфери пов'язані основні зміни погоди – повітряні маси, під час переміщення з одних областей Землі в інші приносять із собою властиві їм характеристики. Системи повітряних плинів загальної циркуляції атмосфери, що визначають перевагу тих або інших повітряних мас у тому або іншому районі, є також найважливішим фактором кліматоутворення.

Значне кліматотвірне значення мають циркуляції значно меншого масштабу (бризи, гірничо-долинні вітри), що мають назву місцевих циркуляцій.

До **факторів географічного середовища**, що формує клімат певної місцевості, належать (рис. 2.4):

- географічна широта;
- топографічні чинники;
- взаємодія суші й моря;
- океанічні течії;
- напрям панівних вітрів;
- сніговий і льодовий покрив;
- газовий склад атмосфери.

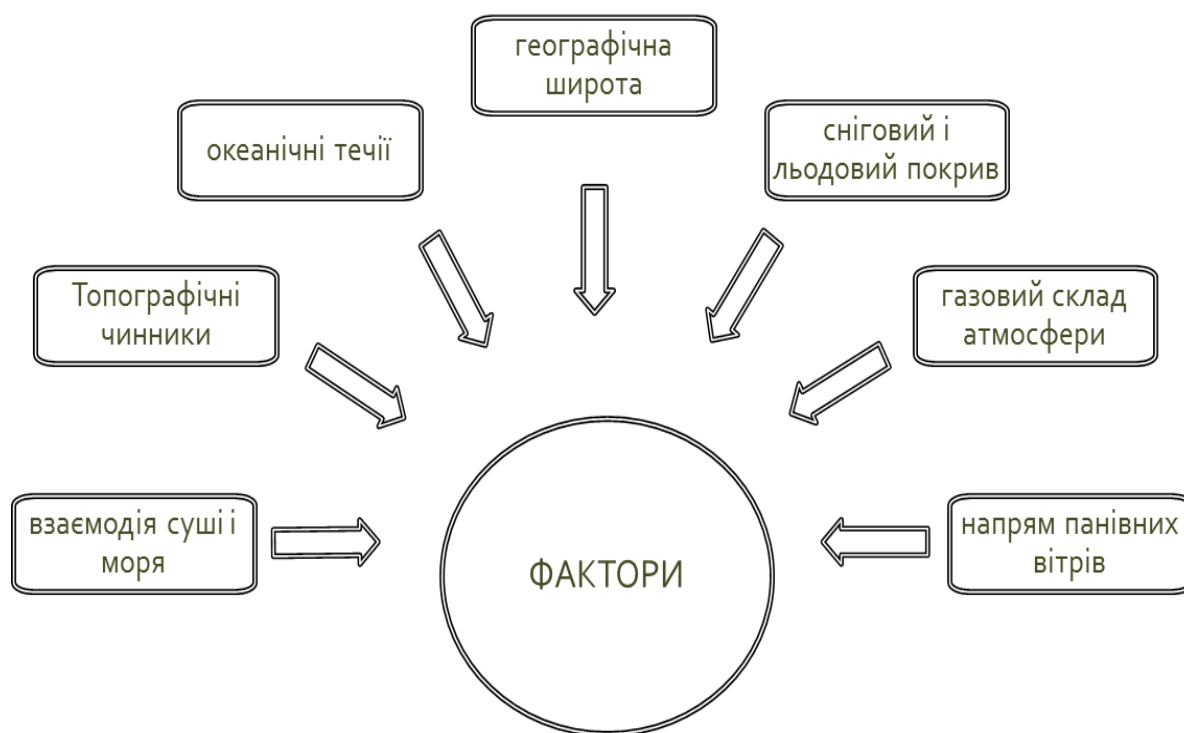


Рисунок 2.4 – Фактори географічного середовища [57]

Географічна широта визначає кут падіння сонячних променів. Різний кут падіння сонячних променів сприяє різному ступеню нагрівання поверхні землі й відповідно різним показникам температури повітря (рис. 2.5).

Як відомо, ще стародавні греки пов'язували кліматичні розбіжності безпосередньо з нахилом сонячних променів до земної поверхні. А термін «клімат» (Klima (klimatos)) позначає нахил. Зональність і сезонність у розподілі тепла, яке надходить до Землі внаслідок сонячної радіації, залежать від кута нахилу земної кулі.

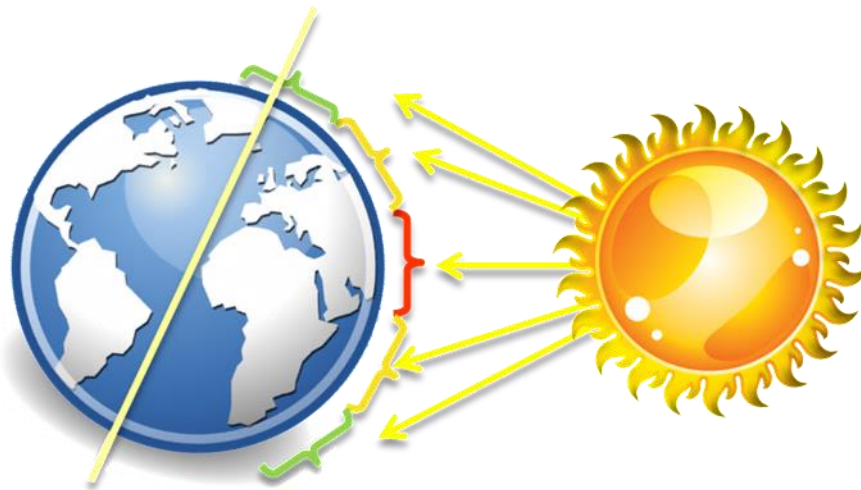


Рисунок 2.5 – Кут падіння сонячних променів [57]

Поняття «*топографічні чинники*» містить кілька параметрів:

- висота над рівнем моря – кліматичні умови у відкритій атмосфері і в горах змінюються залежно від висоти рельєфу місцевості, експозиція і крутість схилу впливає на перенесення, розсіювання або накопичення домішок в атмосферному повітрі, у розподілі повітряної течії, з висотою знижуються середні показники температури, збільшується добовий перепад температур, зростає кількість опадів, швидкість вітру та інтенсивність радіації, знижується тиск;
- гірські ланцюги – можуть слугувати кліматичними бар'єрами для холодних або жарких вітрів;
- вплив ґрунтово-рослинного покриву впливає на кількість радіації завдяки відбивній здатності поверхні;
- топографія місцевості впливає на інтенсивність і вертикальну потужність приземної інверсії¹.

На показники клімату суттєво впливає *взаємодія суші й моря*. Віддаленість від великих водних просторів – океанів впливає на ступінь континентальності клімату (рис. 2.6).

Унаслідок різних альbedo ґрунтового покриву, води й різних умов розповсюдження тепла у верхніх шарах створюється різниця між кліматами материків і океанів. Загальна циркуляція атмосфери стає причиною того, що умови морського клімату розповсюджуються з повітряними течіями в глибину материків, а умови континентального клімату – на сусідні узбережжя океанів.

¹ Приземна інверсія – інверсія температури, що починається безпосередньо від земної поверхні



Рисунок 2.6 – Взаємодія суші й моря [57]

Наприклад, якщо порівняти клімат декількох міст, які мають майже однакову географічну широту – Лондона, Харкова та Астани, але розташовані на різних відстанях відносно океанів, можна помітити, як змінюються кліматичні параметри (табл. 2.1). Як видно з таблиці, збільшення відстані від океану сприяє різкому зменшенню температури в зимовий період. Разом із тим помітно зростає амплітуда коливань між температурою найбільш спекотного місяця і найбільш холодного.

Клімат у Лондоні помірно морський, обумовлений впливом теплої океанічної течії Гольфстрім. Особливістю лондонського клімату є дуже невелика міжсезонна амплітуда коливань 13 °С. Клімат в Астані різкоконтинентальний, амплітуда річних коливань температури для Астани – 33,8 °С, майже втричі більше. Це пов'язано з тим, що взимку на клімат міста впливають сибірські морози, влітку – спекотні повітряні маси Середньої Азії.

Океанічні течії є значним кліматотвірним фактором (рис. 2.7), які проникають у високі широти, віддають тепло в атмосферу, що сприяє підвищенню температури повітря, відповідно збільшенню випаровування і, як результат, збільшенню кількості опадів. Наприклад, тепла течія Гольфстрім впливає на клімат східного узбережжя Північної Америки й західного узбережжя Європи. Завдяки їй країни Європи, прилеглі до Атлантичного океану, характеризуються більш м'яким кліматом, ніж інші

регіони на тій саме географічній широті. Відхилення температури повітря від середніх широтних величин в січні досягають у Норвегії 15–20 °С.

Таблиця 2.1 – Порівняння кліматичних параметрів міст

Місяці												Рік
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
СЕРЕДНЯ ТЕМПЕРАТУРА, °С												
Лондон (51°30' п. ш.). Клімат помірно морський												
5,1	5,1	7,1	9	12,7	15,8	18,1	17,9	15	11,4	7,8	5,9	10,9
Харків, Україна (50°00' п. ш.). Клімат помірно континентальний												
-5,7	-5	0,1	9,1	15,3	19,2	20,4	19,5	13,9	7,3	0,8	-3,3	7,6
Астана, Казахстан (51°11'п. ш.). Різкоконтинентальний клімат												
-12,9	-12,7	-6,2	5,6	13,3	18,9	20,4	18,6	12,2	4,4	-4,8	-11	3,8
НОРМА ОПАДІВ, мм												
Лондон (51°30' п. ш.). Клімат помірно морський												
52	34	42	45	47	53	38	47	57	62	52	54	583
Харків, Україна (50°00' п. ш.). Клімат помірно континентальний												
35	30	27	36	53	59	67	45	45	39	41	38	515
Астана, Казахстан (51°11'п. ш.). Різкоконтинентальний клімат												
16	15	18	21	35	37	50	29	22	27	28	22	320

Холодні течії охолоджують і підсушують повітря. Холодні течії – це одна з головних причин утворення прибережних тропічних пустель на заході Південної Америки (Атаками й Наміб). Перуанська течія сильно впливає на кліматичні умови прибережних районів Америки (рис. 2.7). Завдяки їй на величезній ділянці берега від Вальпараїсо майже до екватора клімат настільки сухий, що відчувається брак питної води. Опадів за рік випадає менше ніж 100 мм, а в деяких пунктах роками не випадає ні краплі дощу.

Лабрадорська течія, що починається на півдні півострова Лабрадор і далі рухається вздовж східного узбережжя, знижує температури повітря і кількість опадів на північному сході Північної Америки. Лабрадорською течією на південь виносяться айсберги, що становлять небезпеку для судноплавства в північній Атлантиці. Знаменитий «Титанік» затонув після зіткнення з айсбергом, принесеним саме Лабрадорською течією.

Біля Ньюфаундленду Лабрадорська течія стикається з теплим Гольфстрімом, відхиляючи його в бік Європи. У регіоні зіткнення обох течій часто виникають тумани, через потрапляння теплого повітря над Гольфстрімом у зону холодного повітря.



Рисунок 2.7 – Океанічні течії [57]

Сезонний *сніговий покрив*, морські льоди, постійний льодяний і сніговий покрив таких територій, як Гренландія й Антарктида, фірнові поля і льодовики в горах значно впливають на температурний режим, умови вітру, хмарності, зволоження.

Існування умов життєдіяльності на Землі забезпечує природний вміст газів в атмосфері. Постійний газовий склад нижніх шарів атмосфери змінюється завдяки водяній парі і домішкам, які забруднюють атмосферу.

Джерела забруднення атмосфери поділяють на природні й антропогенні, тобто привнесені людською діяльністю (рис. 2.8). У нормі такі природні джерела забруднення, як розпад живих організмів, вивітрювання гірських порід не спричиняють істотних змін повітря. Інші природні джерела (викиди попелу і газів вулканами, лісові й степові пожежі) є серйозною причиною забруднення атмосфери, що можуть вплинути на зміну кліматичних параметрів.



Рисунок 2.8 – Джерела забруднення атмосфери [57]

Пилова буря – сильний вітер, здатний переносити тони пилу на відстань до декількох тисяч кілометрів, виникає у пустелях, напівпустелях і степових районах, там, де є некритий трав'яним покривом ґрунт.

Під час виверження вулканів газу, попел викидаються на висоту 16–20 км. Діоксид сірки, що потрапив в атмосферу, перетворюється в сірчану кислоту (H_2SO_4), яка швидко конденсується, утворюючи сірчані аерозолі, завдяки яким збільшують альбедо Землі.

Відомо кілька випадків зміни кліматичних параметрів завдяки виверженню вулканів. Наприклад, у 1783–1784 рр. відбулось вулканічне виверження вулкана Лакі в Ісландії. У повітря були викинуті величезні клуби попелу й отруйних сірчаних сполук [23].

Хмари вулканічного попелу вулканічних газів засипали більшу частину Ісландії і досягли континентальної частини Європи. Це явище зумовило утворення світлонепроникного екрана навколо Землі й зміну її теплового балансу. Через забруднену атмосферу на землю не доходили сонячні промені, що вплинуло на температуру повітря.

У 1784 році в континентальній Європі середня температура повітря була на 1–2 °С нижча, ніж середня температура протягом другої половини XVIII століття. В Ісландії вона знизилась майже на 5 °С.

Густа хмара попелу та токсичних речовин, які осіли на траві, була смертоносною для людей, рослин і тварин. Такі природні джерела забруднення приносять багато лиха, але вони не тривалі. З часом склад атмосферного повітря відновлюється.

Значно більшої шкоди повітрю завдають антропогенні джерела забруднення, що видно на прикладі промислових районів, де в повітрі спостерігається підвищення вуглекислого газу від забруднення повітря газовими й аерозольними відходами виробництва і транспорту.

Вибір території для проєктування міста і взаєморозміщення основних функціональних зон – житлових, промислових і ландшафтно-рекреаційних територій починається з визначення кліматичних і геофізичних особливостей місцевості: кількісних показників сонячної радіації, розрахункової температури повітря й амплітуди її коливань (добові, помісячні, річні), показників швидкості та повторюваності напрямків вітру, відносної та абсолютної вологості повітря, кількості й характеру опадів.

Для виявлення особливостей клімату як типових, так і тих, що спостерігаються рідко, необхідні багаторічні метеорологічні спостереження. Тривалість досліджень відрізняється для різних кліматичних зон. Наприклад, у помірних широтах використовують 25–50-річні дослідження. Під час вивчення клімату океанів, крім спостережень на островах, використовують регулярні спостереження і випадкові дані, які були отримані в різний час на судах у тій чи іншій ділянці акваторії.

На підставі одержаних метеорологічних даних проводять кліматичний аналіз, визначають ступінь сприятливості ділянок міста з погляду вітрового й інсоляційного режимів, конфігурацію забудови, поверховість, форму плану та орієнтацію будинків.

2.2 Показники елементів клімату

Показники елементів клімату поділяють на дві групи: *загальні й спеціальні*.

До *загальних показників клімату* відносяться характеристики таких елементів, як сонячна радіація, температура, вітер, вологість, атмосферний тиск, хмарність, опади тощо. У XX ст. до кліматичних показників увійшли

характеристики елементів теплового балансу земної поверхні: сумарна сонячна радіація, радіаційний баланс, величини теплообміну між землею та атмосферою, витрати тепла на випаровування.

Спеціальні показники клімату: тривалість сонячної радіації, температура верхніх шарів ґрунту і водоймищ, глибина промерзання ґрунтів, кількість випаровування вологи із земної поверхні в атмосферу, висота і стан снігового покриву, прозорість атмосфери, атмосферні явища й опади (роса, ожеледиця, тумани, грози, завірюхи), призначені для вирішення вузьких завдань прикладної кліматології для окремих галузей діяльності людини (суми температур вегетаційного періоду в агрокліматології, ефективні температури в міській кліматології, глибина промерзання ґрунтів і зволоження стін будівель дощами в будівельній кліматології, градусо-дні в розрахунках опалювальних систем та ін.).

Основними характеристиками метеорологічних елементів є їхнє середнє і крайнє значення, амплітуди й повторюваність.

Середня максимальна (мінімальна) температура характеризує плюсову (мінусову) температури за певний період (добу, місяць, рік).

Середні значення показників (добові, місячні, річні), отримані за багаторічний ряд спостережень (30 років і більше), називають *кліматичною нормою*. На підставі середніх багаторічних величин проводять порівняння особливостей клімату різних районів.

Середні значення зазвичай застосовують для характеристики таких елементів клімату, як температура і вологість повітря, опади, атмосферний тиск та ін.

Для характеристики атмосферних явищ (гроза, туман, ожеледь та ін.) найчастіше використовують поняття «середня кількість днів» (годин) із тим чи іншим атмосферним явищем за визначений період (місяць, рік).

Крайні значення або абсолютні екстремуми – максимальні або мінімальні значення метеорологічного елемента, що відзначалися хоча б раз за тривалий період спостереження, *середні екстремуми* – середні з екстремальних величин за визначений період (місяць, рік, добу).

Повторюваність виражається кількістю днів з тим чи іншим атмосферним явищем за визначений відрізок чи часу у відсотках від загальної кількості днів у місяці чи в році.

Забезпеченість – інтегральна повторюваність значень кліматичного параметра. За такою методикою визначається забезпеченість вітрового режиму, утворення ожеледі на проводах вище визначеної товщини й характеристики деяких інших кліматичних елементів.

Кліматичні характеристики, що містять значення двох і більше метеорологічних елементів чи явищ, називаються *комплексними*.

Кліматичну характеристику території міста складають на основі таких показників: температура повітря, відносна вологість повітря, швидкість і напрям панівних вітрів.

Знання показників температурних змін повітряного середовища протягом року дозволяє під час проєктування здійснити обґрунтовані будівні та містобудівні рішення.

Розрізняють такі види *температур*:

- у тіні під укриттям;
- у тіні без укриття;
- зовнішньої поверхні стін на сонці, у тіні тощо.

Середню місячну температуру повітря визначено як суму значень за використаний період, розділену на загальну кількість років спостережень.

Середню температуру за рік визначено як усереднене значення середньої місячної температури повітря за січень – грудень.

Середня максимальна температура повітря найбільш спекотного місяця характеризує денну найтеплішу частину доби, розраховану як середня місячна величина з щоденних максимальних значень температури повітря за певний період.

Температура повітря найхолоднішої доби й найхолоднішої п'ятиденки розрахована як значення, що відповідає забезпеченості 0,98 і 0,92 з ранжованого ряду температур повітря найхолоднішої доби й п'ятиденки з відповідною їм забезпеченістю за період 1961–2005 рр. [47].

Температура повітря найхолоднішої доби (п'ятиденки) заданого забезпечення визначалась методом інтерполяції за інтегральною кривою розподілу температури повітря найхолоднішої доби (п'ятиденки), побудованою на ймовірнісній сітці.

Для деяких розрахунків використовують поняття «*середня температура вдень і вночі*».

Абсолютна мінімальна й абсолютна максимальна температури повітря характеризують щонайнижчі й найвищі межі температури повітря, який досягла температура повітря в певному пункті за останні 50–80 років у межах періоду спостережень.

Різниця температур між найбільш холодним і теплим місяцем характеризує *ступень континентальності клімату*, який визначається річною амплітудою коливання (A):

$$A = t_{н.т.м} - t_{н.х.м}, \quad (2.3)$$

де $t_{н.т.м}$ – середньомісячна температура найбільш спекотного місяця року;

$t_{н.х.м}$ – середньомісячна температура найбільш холодного місяця року.

Варто зазначити, що амплітуда визначає саме ступінь континентальності, а не характеризує температурні показники. Наприклад, на рисунку 2.9 позначено річний хід температур у різних частинах планети. Найбільша амплітуда коливань температури в Якутську, де доволі тепле літо і дуже холодна зима. У той же час амплітуда коливань температури в Антарктиді менше, хоча це найхолодніше місце планети. І зовсім незначна амплітуда в коливань температури в Камеруні.

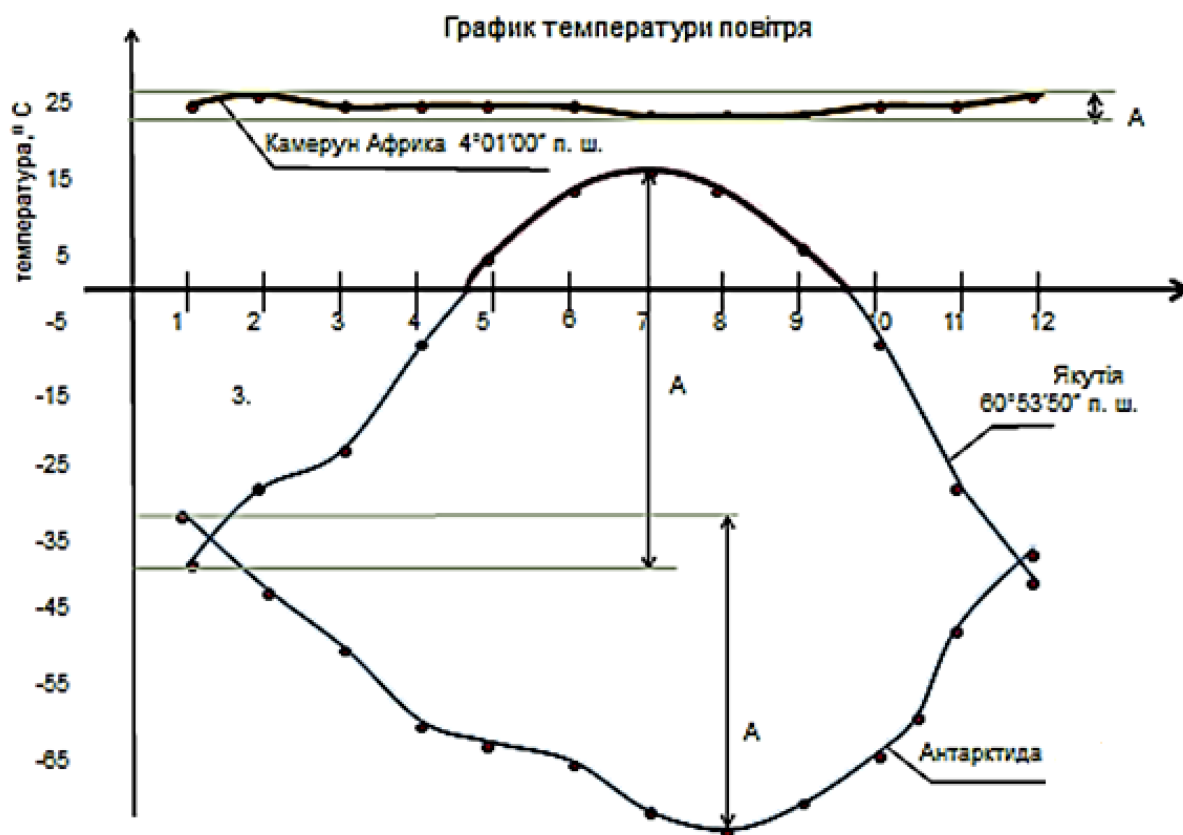


Рисунок 2.9 – Амплітуда коливання температури для різних регіонів [57]

Якщо амплітуду розраховано за абсолютними екстремумами, то це є абсолютна амплітуда, якщо за середніми – середня амплітуда (добова, місячна, річна).

Дані про температурний режим використовують:

– під час розроблення генерального плану – взаєморозташування основних територій міста (промислових, сельбищних, ландшафтно-рекреаційних);

- під час розроблення заходів щодо інженерної підготовки територій;
- під час розроблення конфігурації забудови сельбищної території міста;
- під час розрахунків комфортності житлового середовища;
- під час вибору типів будинків, їхньої об'ємної композиції, типів огорожувальних конструкцій за відповідними режимами експлуатації;
- під час визначення тривалості експлуатації відкритих приміщень;
- під час визначення видів сонцезахисних пристроїв;
- під час теплотехнічних розрахунків конструкцій будинків і споруд;
- під час розрахунків систем опалювання і терміну опалювального сезону;
- під час вибору системи водопостачання, опалення, вентиляції і кондиціонування повітря.

Залежно від континентальності клімату рішення генерального плану міста й промислових підприємств буде відрізнятись. Наприклад, у районах із низькою температурою в зимовий період й різкою континентальністю клімату варто віддавати перевагу блокуванню будівель, компактним планувальним рішенням із підвищеним коефіцієнтом забудови, широким багатопверховим будівлям.

Дані про глибину промерзання *грунтів* і коливаннях нульової ізотерми за зимовий період використовуються під час розроблення заходів щодо інженерної підготовки територій для призначення глибини закладання фундаментів будинків, споруджень і підземних комунікацій і забезпеченню стійкості споруджень.

Вітер – переміщення повітря, викликане нерівномірним розподілом атмосферного тиску на земній поверхні, унаслідок її нерівномірного нагрівання. Рух повітря виникає в напрямі від високого тиску до низького. Чим більше різниця тиску повітря, тим більше швидкість вітру [21].

Вітри в приземному шарі земної поверхні поділяють на три групи: місцеві вітри, викликані місцевими умовами, вітри циклонів і антициклонів, вітри, що є частиною загальної циркуляції атмосфери.

Місцевими називають вітри, що відрізняються якими-небудь особливостями від головного характеру загальної циркуляції атмосфери й помітно впливають на режим погоди в певній місцевості. Виникнення місцевих вітрів пов'язане здебільшого з великими водоймами (бризи) або горами (фен, бор, гірничо-долинні вітри), а також зі зміною загальної циркуляції атмосфери під впливом місцевих умов (самум, сирокко, хамсин).

До місцевих вітрів термічного походження належать бризи. Це вітри вздовж морів, озер, великих річок, які двічі на добу змінюють напрям на протилежний через різне нагрівання суші й води. Удень суша нагрівається швидше, ніж вода, і над нею встановлюється більш низький атмосферний тиск, тому денний бриз дме з акваторії на нагріте узбережжя. Нічний бриз дме з боку суходолу, а денний бриз, що швидше охолонув, у бік водойми.

Бризи особливо розвинені влітку в умовах антициклонної погоди, коли термічні контрасти між сушею і водоймищами досягають найбільших значень (близько 20 °С).

Вони охоплюють шар повітря в сотні метрів на відстань кілька кілометрів або десятки кілометрів [80].

Критеріями виміру вітрового режиму території є швидкість вітру в м/с і напрямок – горизонтальна складова вітрового потоку. Загальним для всіх випадків є умови розрахунку фактора аерації на висоті 2 м над рівнем землі – у зоні життєдіяльності людини.

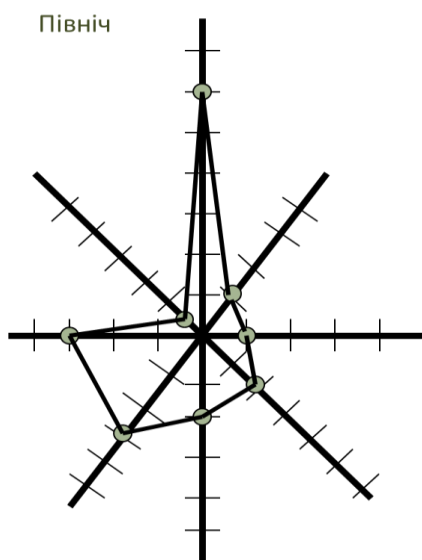


Рисунок 2.10 – Роза вітрів [57]

Дані про вітровий режим прийнято зображувати у вигляді *рози вітрів*. *Роза вітрів* – векторна діаграма, що характеризує вітровий режим території: повторюваність, швидкість і температуру вітру (рис. 2.10).

Найчастіше розу вітрів використовують для визначення повторюваності напрямків вітру. Довжина променів, що розходяться від центра діаграми у різних напрямках, пропорційна повторюваності вітрів за напрямками. Кінці променів з'єднують ламаною лінією. *Повторюваність* імовірність вітру того чи іншого напрямку.

Якщо необхідно показати швидкість вітру за напрямками, на променях відкладають показники швидкості вітру в метрах за секунду.

Дані про вітровий режим за підсумками багаторічних досліджень метеорологічними станціями містяться в нормативних документах.

Дані про вітровий режим території наведені в нормативних документах. Для України це ДСТУ (Державні Стандарти України). Зокрема, у ДСТУ–Н Б В.1.1–27:2010 «Будівельна кліматологія» наведені дані про середню швидкість вітру в січні (рис. 2.11), переважний напрям вітру в січні (рис. 2.12) і липні (рис. 2.13) [47].

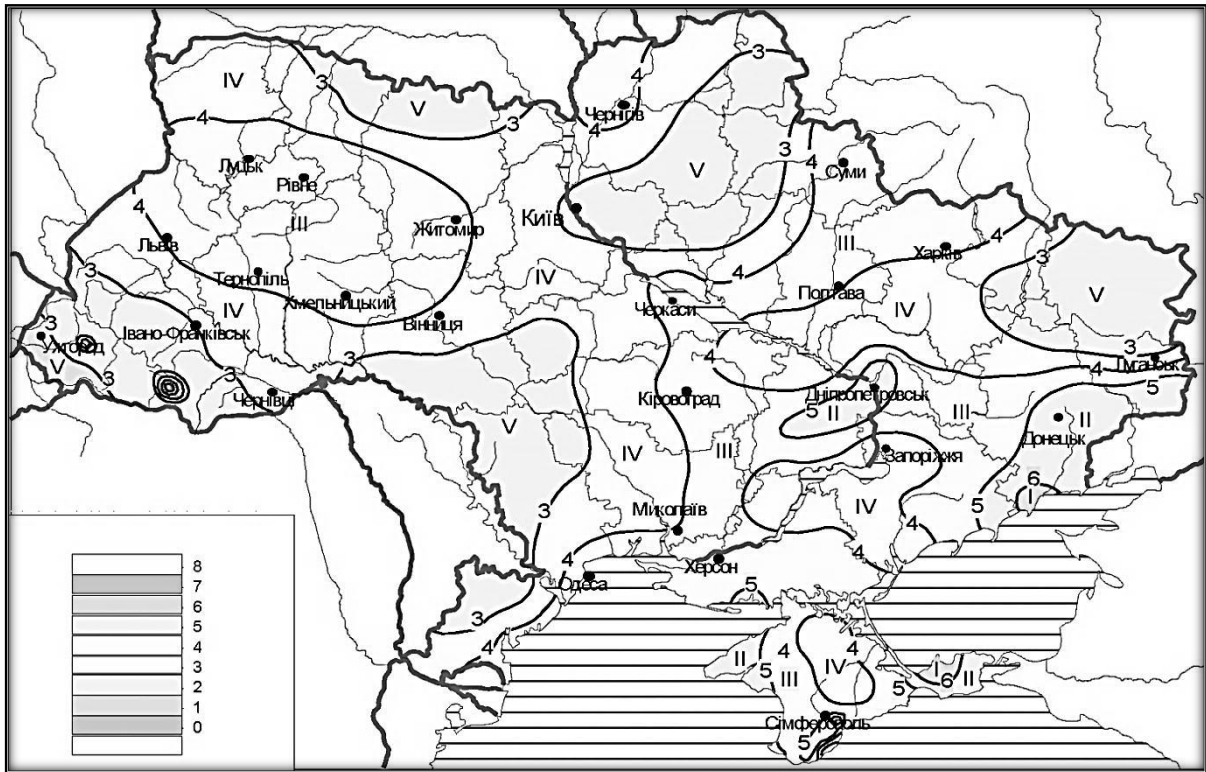


Рисунок 2.11 – Районування України за середньою швидкістю вітру, м/с, у січні за ДСТУ–Н Б В.1.1–27:2010 [47]



Рисунок 2.12 – Переважний напрям вітру в січні за ДСТУ–Н Б В.1.1–27:2010 [47]

На карті (рис. 2.11) позначено райони з різною швидкістю вітру: I – більше ніж 6,1 м/с; II – від 5,1 м/с до 6,0 м/с; III – від 4,1 м/с до 5,0 м/с; IV – від 3,1 м/с до 4,0 м/с; V – менше ніж 3,0 м/с.



Рисунок 2.13 – Переважний напрям вітру в липні за ДСТУ–Н Б В.1.1–27:2010 [47]

Дані про швидкість і переважний напрямок вітру враховують у містобудівному проектуванні під час планування міста: розміщення мікрорайонів за умовами захисту сельбищної території від шкідливого впливу промислової зони міста; промислових комплексів і підприємств відносно сельбищної території; трасування вулиць; під час формування забудови з урахуванням аерації або захисту територій; під час розрахунків мікроклімату житлового середовища; визначенні снігових заметів на дорогах, вулицях, міських територіях. Під час проектування будинків і споруд дані про вітровий режим враховують у теплотехнічних розрахунках, визначенні тиску на спорудження і будинки під час розрахунків їхньої міцності та стійкості.

У ДБН В.1.2–2:2006 «Навантаження і впливи» [38] є карта районування території України за вітровим тиском і нормативні показники вітрового режиму, які варто враховувати під час проектування (рис. 2.14).

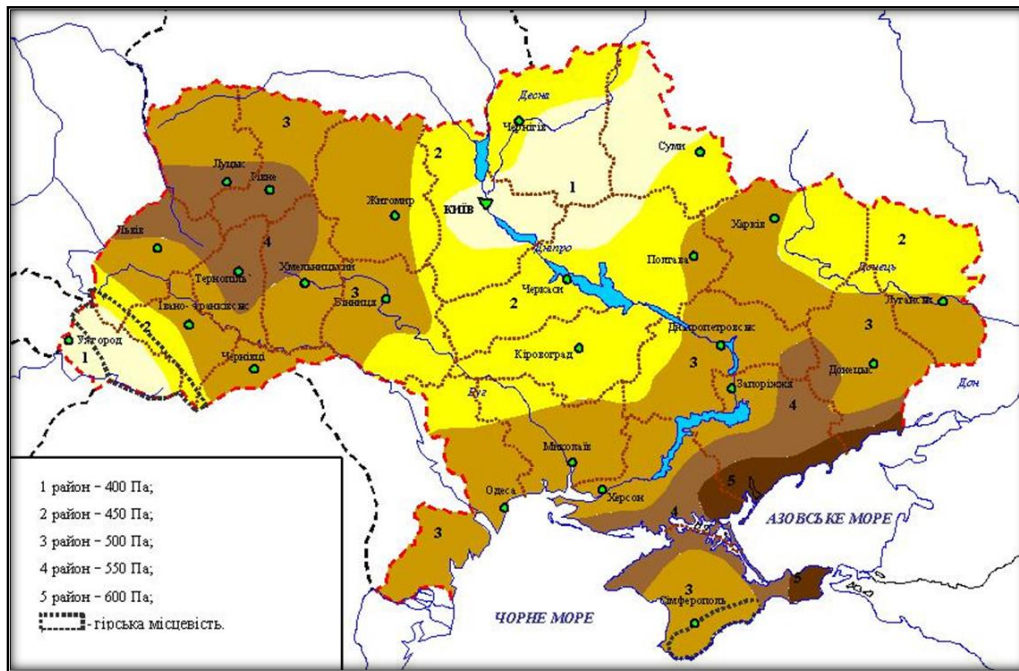


Рисунок 2.14 – Районування території України за вітровим тиском за ДБН В.1.2–2:2006 [38]

Відповідно до нормативних документів під час розрахунків вітрового навантаження на будинки й споруди враховують тип навколишньої місцевості (поверхні водоймищ, плоскі рівнини, сільська місцевість із невеликими спорудами, будинками й деревами чи міські території, приміські й промислові зони); висоту споруди над поверхнею землі, рельєф ділянки, форму споруди й напрям вітрового потоку. Зокрема, формула повного вітрового навантаження на будинки й споруди містить коефіцієнти, що враховують ці дані:

$$C = C_{aer} \times C_h \times C_{alt} \times C_{rel} \times C_{dir} \times C_d, \quad (2.4)$$

де C_{aer} – аеродинамічний коефіцієнт (визначаються залежно від форми споруди або конструктивного елемента);

C_h – коефіцієнт висоти споруди (враховує збільшення вітрового навантаження залежно від висоти споруди або її частини над поверхнею землі, типу навколишньої місцевості);

C_{alt} – коефіцієнт географічної висоти (враховує висоту в кілометрах розміщення будівельного об'єкта над рівнем моря);

C_{rel} – коефіцієнт рельєфу (враховувати в тому випадку, коли споруда розташована на пагорбі або схилі);

C_{dir} – коефіцієнт напрямку (враховує нерівномірність вітрового навантаження за напрямками вітру);

C_d – коефіцієнт динамічності (враховує вплив пульсаційної складової вітрового навантаження).

Вітровий потік на території міста і в умовах складного рельєфу трансформується за певними правилами (рис. 2.15).

Напрямок і тиск вітру зокрема залежить від макро-, мезо-, мікрорівнів повітряного середовища (рис. 2.16), тому типи місцевості, що оточують будівлю чи споруду, визначаються для кожного розрахункового напрямку вітру і рівня міського середовища окремо.

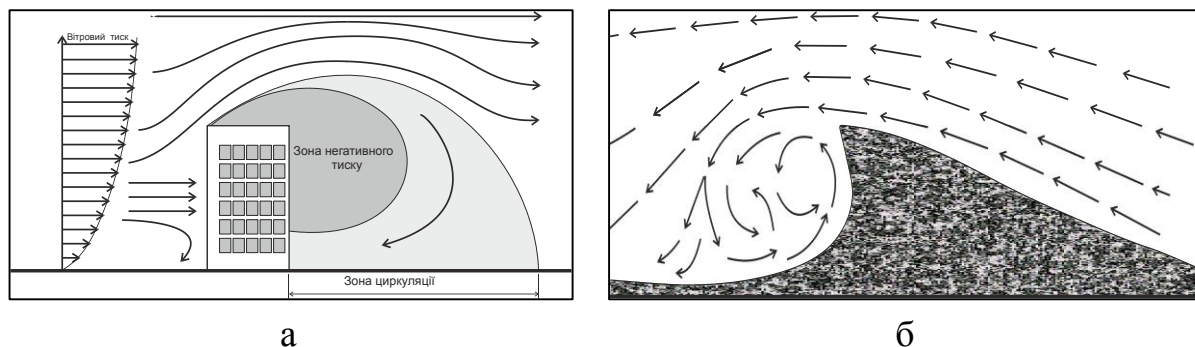


Рисунок 2.15 – Вітрові потоки: а – у забудові; б – в умовах складного рельєфу [57]

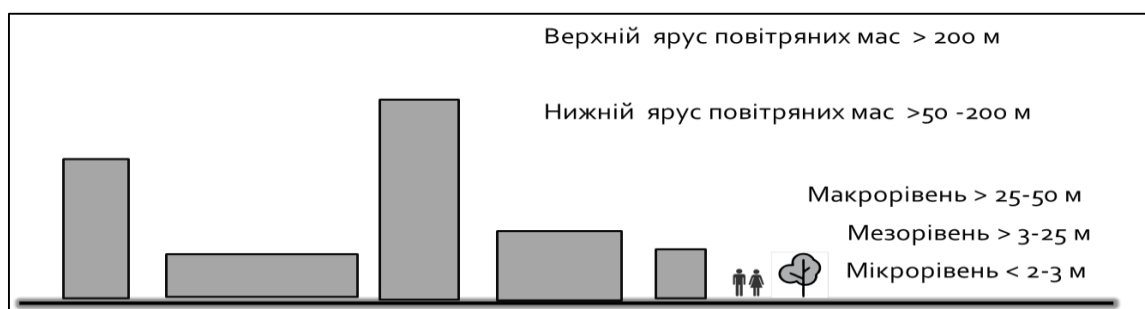


Рисунок 2.16 – Трансформація вітрових потоків у міському середовищі [57]

Недостатня увага до щодо урахування вітрових навантажень може призвести до катастрофічних наслідків. Наприклад, невраховані вітрові навантаження в 2020–2021 роках в різних регіонах зносили дахи з будинків (рис. 2.17), бігборди (рис. 2.18).

Вологість повітря – є одним із найважливіших параметрів атмосфери, що визначає погоду, а також ступінь комфортності середовища існування.

Для кількісної оцінки вологості використовують такі показники: абсолютна вологість, відносна вологість, точка роси.

Абсолютною вологістю повітря (f) називають кількість водяної пари в грамах, що утримується в 1 м^3 повітря. Абсолютна вологість характеризується пружністю водяної пари (парціальним тиском) E .



Рисунок 2.17 – Ураган пошкодив Кам'янець-Подільську фортецю
(<https://bukinfo.com.ua/nadzvychni-sytuacii/uragan-na-hmelnichchyni-poshkodyv-kam-yanec-podilsku-fortecyu>)



Рисунок 2.18 – Поривами вітру знесло бігборди в центрі Житомира
(https://zhitomir-online.com/top_news/95874-u-zhytomyri-sylnyy-viter-znis-bigbord-foto.html)

Для розрахунків зручніше оцінювати кількість водяної пари в одиницях тиску. З цією метою використовується парціальний тиск водяної пари E (Па) є так звана *дійсна пружність водяної пари*.

Дійсна пружність збільшується з підвищенням абсолютної вологості повітря, але не може зростати безмежно. За певної температури й барометричного тиску повітря містить граничне значення абсолютної

вологості повітря F (г/м³), що відповідає повному насиченню повітря водяною парою. Далі вологість за тих саме умов підвищуватися не може. Цьому значенню відповідає максимальна пружність водяної пари E_n (Па), – тиском насичення водяної пари [7].

З підвищенням температури повітря граничні значення вологості (E і F) збільшуються, отже, абсолютна вологість f і парціальний тиск не надають уявлення про ступінь насичення повітря вологою, якщо не зазначена його температура.

Відношення кількості водяного пару, що знаходяться в повітрі, до тієї кількості, що насичує повітря за певної температури, називають *відносною вологістю* (φ) повітря і виражають у відсотках:

$$\varphi = \frac{f}{E_n} \cdot 100\%, \quad (2.5)$$

де f – абсолютна вологість;

E_n – щільність насиченої пари.

Відносна вологість повітря характеризує ступінь насиченості повітря водяною парою.

Температура повітря, за якої відносна вологість за незмінного тиску досягає максимальної величини 100 %, називається *точкою роси* й позначається τ_p .

На вологість повітря в приземному просторі атмосфери впливають:

– кількість і характер опадів, що випадають на поверхню певної місцевості;

– географічна широта місцевості;

– ступінь континентальності території;

– віддаленість території від водойм, морів і океанів;

– температурний і вітровий режим у приземному просторі.

Підвищена вологість істотно знижує теплозахисні властивості конструкцій будинків і споруд, тому показники вологості є обов'язковою складовою теплотехнічних розрахунків.

Конденсація водяної пари внаслідок зниження температури й скупчення її на деякій висоті від земної поверхні сприяє утворенню хмар. Хмари – це істотний погодотвірний фактор, що впливає на тепловий режим атмосфери й земної поверхні. Хмари зменшують приплив прямої сонячної радіації, унаслідок чого взимку обмежують протиопромінення земної поверхні, перешкоджають її охолодженню, у теплий період протягом дня хмари послабляють нагрівання земної поверхні сонячними променями.

Для визначення кількості тепла, що падає на земну поверхню, і особливо для інсоляційних розрахунків, дуже важливо знати кількість хмар і характер хмарності, швидкість руху й висоту нижньої границі.

Хмарність характеризується ступенем покриття неба хмарами. Оцінку хмарності проводять по 10-бальній системі, у якій 0 балів відповідає безхмарному небу, 10 балів – повному покриттю небосхилу хмарами. Кліматологічні характеристики: середню кількість загальної та нижньої хмарності, кількість ясних та похмурих днів за загальною хмарністю наведено у нормативних документах [47].

Опади. У разі зниження температури вологого повітря унаслідок віддачі тепла чи адіабатично (без віддачі тепла під час падіння тиску) водяна пара конденсується і перетворюється в атмосферні опади (сніг, дощ, град).

Згущення водяної пари безпосередньо біля земної поверхні призводить до утворення туману. Осідання переохолодженого дощу, мряки, туману утворює ожеледь.

Для характеристики сніжних опадів використовуються такі дані:

- висота снігового покриву, середня з найбільших висот снігу за зиму;
- середня дата утворення і сходу снігового покриву;
- обсяг снігоперенесення за зиму.

Середня кількість опадів за рік (зокрема рідких і змішаних) характеризується висотою шару води, що утворилися на горизонтальній поверхні від дощу, мряки, рясної роси і туману, снігу, граду і снігової крупи, що станули, за відсутності стоку, просочування і випару.

Добовий максимум опадів характеризує найбільші суми опадів, що випали протягом метеорологічної доби, забезпеченість цього показника близька до одиниці.

Обсяг снігоперенесення за зиму з максимальним за 10-літній період кількістю годин обчислюють за емпіричною формулою із забезпеченістю близько 0,90.

Позитивний вплив опадів:

- теплозахист (сніг оберігає ґрунт і покриття від промерзання);
- зволоження і нагромадження вологи в ґрунтах сприяють зростанню зелених насаджень і продуктивності полів;
- охолодження при зволоженні повітря послабляє дію радіаційного тепла на людину.

Негативний вплив опадів:

- снігові замети на дорогах перешкоджають руху;

– нагромадження снігу на дахах викликає перевантаження конструкцій;

– перезволоження ґрунтів викликає випинання в земляній полотнині доріг і передчасне руйнування покриття.

Атмосферний тиск – гідростатичний тиск, що виражає вагу атмосферного стовпа над будь-якою точкою земної поверхні. За нормальний приймається атмосферний тиск на рівні моря за температури повітря 0 °С на широті 45 °С. Такий тиск урівноважується ртутним стовпом висотою 760 мм. Міжнародною одиницею тиску є Паскаль (1 мм рт. ст. = 133,322 Па; 1 атм. = 101 325 Па; 1 кгс/см² = 98 066,5 Па).

Зміна тиску протягом доби залежить переважно від добових коливань температури.

Атмосферний тиск вимірюють за допомогою рідинних барометрів чи металевих барометрів – анероїдів. Іноді використовуються термобарометри.

Контрольні запитання

1. Назвіть загальні метеорологічні показники клімату.
2. Види сонячної радіації.
3. Що позначає термін «інсоляція»?
4. Що означає термін «альbedo»?
5. Що таке радіаційний баланс земної поверхні?
6. Як впливає на клімат взаємодія морів, океанів і суші?
7. Як впливають на клімат океанічні течії?
8. Як впливає на клімат ландшафтний фактор?
9. Які температури називаються екстремальними?
10. Що таке амплітуда температурних коливань?
11. Які показники характеризують вологість повітря?
12. Що таке Роза вітрів?
13. Які вітри називають пасатами?
14. Дайте характеристику мусонних вітрів.
15. Як впливає на клімат експозиція схилів гірських хребтів?
16. Як впливає на клімат ґрунтово-рослинний покрив?

РОЗДІЛ 3 ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНЕ РАЙОНУВАННЯ

3.1 Основи кліматичного районування Землі

Основою кліматичного районування Землі є розподіл території на пояси й області з однорідними умовами клімату.

Серед систем класифікації типів клімату найбільше розповсюджені системи В. П. Кеппена, Л. С. Берга і Б. П. Алісова.

Класифікація кліматів Б. П. Алісова заснована на фізичних процесах в атмосфері й, насамперед, на розподілі по земній кулі повітряних мас [67].

Відповідно виділено сім кліматичних поясів, у яких кліматоутворення цілий рік відбувається під переважним впливом повітряних мас тільки одного типу: екваторіального, тропічного, помірнього, полярного (антарктичного у південній півкулі) повітря.

Це екваторіальний (середній, центральний) і шість інших (по два для обох півкуль): субекваторіальний, тропічний, субтропічний, помірний, субполярний, полярний. Усередині їх, зі свого боку, виділяють підпояси або смуги з характерними для них природно-кліматичними умовами й сполученнями кліматичних елементів.

Для екваторіального поясу характерні знижений атмосферний тиск, високі температури повітря, велика кількість опадів. У тропічних поясах навпаки високий атмосферний тиск, сухе і тепле повітря, незначна кількість опадів; зима холодніше літа, пасати.

Помірні пояси характеризують помірні температури повітря, нерівномірний розподіл опадів протягом року, виражені пори року.

Полярний (антарктичний) пояс характеризують низькі середньорічні температура і вологість повітря, постійний сніговий покрив.

Між ними – шість перехідних зон, по три в кожній півкулі, що характеризуються сезонною зміною переважних повітряних мас. Між ними лежать перехідні субекваторіальний, субтропічний і субарктичний кліматичні пояси.

У субекваторіальний пояс влітку приходять повітряні екваторіальні маси, літо спекотне і сухе. Узимку приходять повітряні тропічні маси, тому тепло і сухо.

У субтропічному поясі літо жарке і сухе внаслідок дії тропічного повітря, а зима прохолодна і волога через переважні повітряні маси з зони помірнього клімату.

У субарктичному поясі влітку панує помірне повітря – тепло, багато опадів, взимку – арктичне повітря, погода сувора і суха.

У середині кліматичних поясів виділяються області з різними типами кліматів. Морський клімат характеризує висока вологість, велика кількість річних опадів, незначні амплітуди коливання температур.

Континентальний клімат відрізняється незначною кількістю опадів, значною амплітудою температур протягом року. У зоні дії мусонів виникає мусонний клімат, який відрізняється різкою зміною вологості протягом року. Для цього типу клімату властиві суха зима і вологе дощове літо [69].

На підставі кліматичної класифікації Б. П. Алісова в фізико-географічному атласі світу виділяють 13 географічних поясів (рис. 3.1) [67].

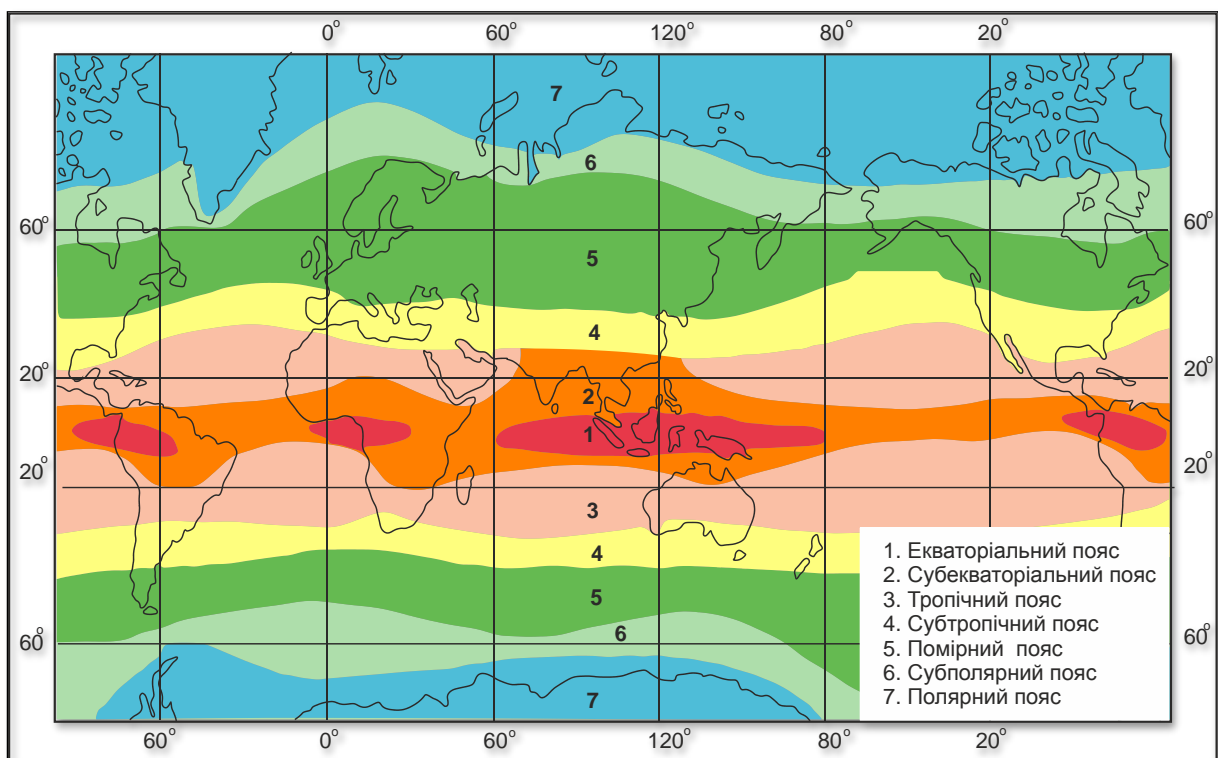


Рисунок 3.1 – Кліматичні зони Землі за класифікацією Б. П. Алісова [67]

Найпоширенішою є класифікація кліматів земної кулі, що запропонована В. П. Кеппеном і пізніше вдосконалена Г. Т. Тревартом. Відповідно до **класифікації Кеппена – Треварта** всі клімати Землі розділені на шість класів за температурним режимом і ступенем зволоження [72].

Відповідно до цієї класифікації (Таблиця 3.1) на території Землі виділено шість класів кліматів (А, С, D, Е, F, В). З них п'ять класів – А, С, D, Е, F – виділяються в порядку зменшення температури повітря на рівні

моря від екватора до полюсів. Шостий (В) – клас сухих кліматів. Між кліматами А і С лежить межа морозу, між кліматами Е і F – межа лісу та між усіма кліматами й В – межа сухості.

Таблиця 3.1 – Класифікація кліматів

Клас кліматів		Визначення	Підклас кліматів	Визначення
A	Тропічні	Середньомісячні температури більше ніж 17 °С протягом усього року	Ar	тропічний дощовий
			Am	тропічний мусонний дощовий
			Aw	тропічний із сухою зимою та дощовим літом
			As	тропічний з сухим літом і дощовою зимою
Межа морозу				
C	Субтропічні	Середньомісячні температури більше ніж 9 °С у 8–12 місяцях	Cz	субтропічний дощовий клімат
			Cw	субтропічний з дощовим літом і сухою зимою
			Cs	субтропічний з дощовою зимою та сухим літом (середземноморський)
D	Помірний	Середньомісячні температури більше ніж 9 °С у 4–7 місяцях	DO	помірний морський клімат
			DC	помірний континентальний клімат
E	Субарктичні	Середньомісячні температури більше ніж 9 °С у 1–3 місяцях	EO	субарктичний морський клімат
			EC	субарктичний континентальний клімат
Межа лісу				
F	Полярні	Ні в одному місяці середньомісячна температура не перевищує 9 °С	FT	клімат тундри
			FI	льодовий клімат
Межа сухості				
B	Сухі	Випаровування перевищує опади	BS	клімат степу
			BW	клімат пустелі
			BM	морський пустельний клімат

У середині зон розрізняють клімати з сухою зимою, сухим літом і рівномірною вологістю. Сухі клімати за співвідношенням опадів і температури діляться на клімати степів і клімати пустель, полярні клімати поділяються на клімат тундри й клімат вічного морозу. Таким чином, у класифікації В. Кеппена та Г. Треварта є 16 головних кліматів (**Ar, Am, Aw, As, BS, BW, BM, Cr, Cw, Cs, DO, DC, EO, EC, FT, FI**). Наведена класифікація, відображена на карті кліматів земної кулі (рис. 3.2).

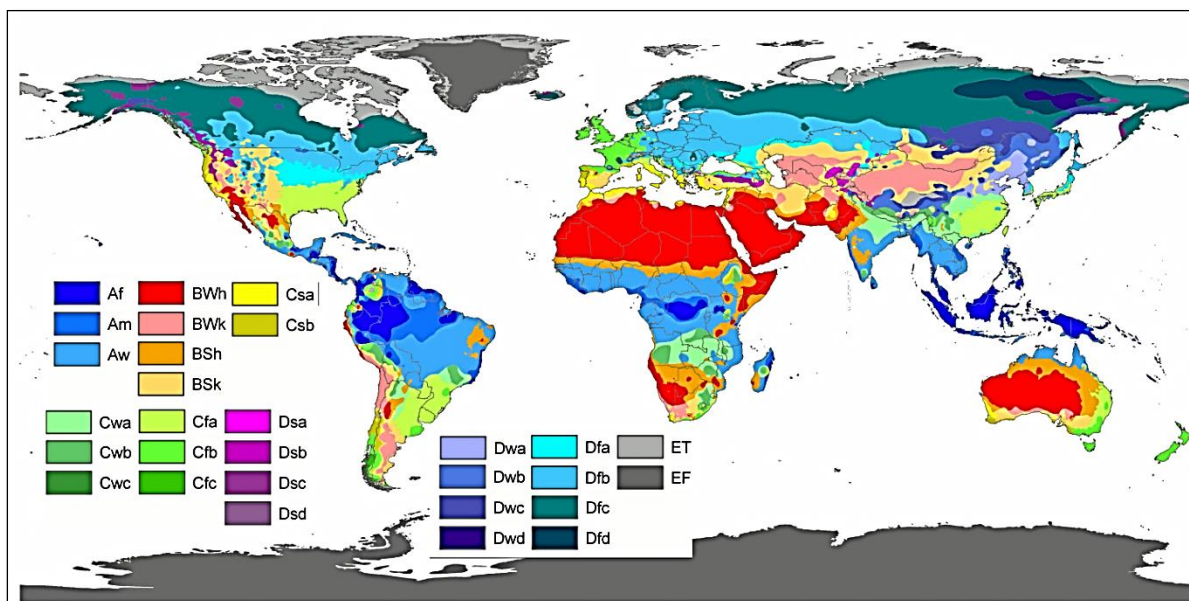


Рисунок 3.2 – Класифікація В. Кеппена і Г. Треварта
(https://uk.wikipedia.org/wiki/Класифікація_кліматів_Кеппена)

Класифікація В. Кеппена і Г. Треварта широко розповсюджена переважно завдяки чітким кількісним критеріям (середньомісячні й середньорічні значення температури й опадів) зарахування конкретного місця до того чи іншого типу клімату.

Тропічні клімат *A* охоплюють чотири типи, які виділяються за характером дощового сезону. У всій зоні тропічних кліматів середньомісячні температури не нижче 17 °С протягом усього року. Більшу частину займає тропічний дощовий клімат *Ar*, де більше ніж у 9 місяцях року місячна кількість опадів перевищує 59 мм.

В Африці, в Індійському і на заході Тихого океану до зони *Ar* безпосередньо примикають райони тропічного клімату із сухою зимою та дощовим літом *Aw*.

Тропічний мусонний дощовий клімат *Am* спостерігається тільки на Андаманському узбережжі та півночі півострова Малакка, він характерний для місцевостей, де дощовими виявляються менше ніж 10 місяців року, а кількість річних опадів (мм):

$$R \geq (100 - r_n) \cdot 25, \quad (3.1)$$

де r_n – середньомісячні опади найсухішого місяця.

Визначення *Aw* і *As* пояснюють назви клімату.

По обидва боки від тропічного поясу розташовуються два пояси сухого клімату *B*. На континентах це клімат степу *BS* (включаючи й савани), що переходить у клімат пустелі *BW*. Опадів у цих типах клімату випадає мало, а випаровуваність за високих температур значна. Над

континентами ці типи клімату представлені пустелями й саванами Африки, пустелями й степами Азії, а також високогірними пустелями Північної й Південної Америки.

Субтропічний клімат C підрозділяється на три підкласи. У південній півкулі субтропічний дощовий клімат *C₂* простягається поясом навколо земної кулі й переривається лише материком Південної Америки, де на західному узбережжі в цих широтах спостерігається субтропічний клімат із дощовою зимою і сухим літом *C_s*, а в глибині материка після клімату степи й пустелі – субтропічний літній дощовий клімат *C_w*.

До субтропічного дощового клімату *C_r* належать місцевості, у яких різниця між найвологішим і найсухішим місяцями менша, ніж кількість опадів, необхідних для клімату з дощовим літом і дощовою зимою, або ж опади найсухішого місяця літа більші, ніж 29 мм. Для клімату *C_s* (із сухим літом) кількість опадів взимку в три рази більша, ніж улітку, загальна кількість річних опадів менше ніж 890 мм. Клімат належить до *C_w* (із сухою зимою), якщо влітку дощів у десять разів більше, ніж узимку.

Субтропічний зимовий дощовий клімат *C_s* спостерігається також на самому південному сході Австралії. У північній півкулі субтропічний дощовий клімат *C₂* спостерігається над Тихим і Атлантичним океанами, частково захоплює південь США і схід Китаю, а також Чорноморське узбережжя Кавказу. Субтропічний зимовий дощовий клімат *C_s* (середземноморський) спостерігається в Каліфорнії, в усьому Середземномор'ї, включаючи Крим, Туреччину, частину Сирії та Іраку. Субтропічний літній дощовий клімат *C_w* характерний для внутрішнього Китаю і заходу Тибету.

Помірний клімат D (середньомісячні температури вище 9 °C у квітні – липні) поділяється на два типи: помірно морський *DO* і помірно континентальний *DC*. У південній півкулі спостерігається пояс помірного морського клімату *DO*, а помірного континентального клімату *DC* узагалі немає.

У Північній півкулі помірний морський клімат *DO* займає західні узбережжя материків. Морські повітряні маси поширюються з океанів на узбережжі Канади і на Західну Європу. Помірний континентальний клімат *DC* спостерігається над більшою частиною Північної Америки й над Євразією, а також над порівняно вузькою зоною океанів, прилеглих до східних узбереж материків.

Поділ на ці типи клімату проводиться за середньомісячною температурою найхолоднішого місяця. У помірно морському кліматі *DO*

температура має бути вище або дорівнювати 0°C , а в помірно континентальному кліматі – нижче або дорівнює 0°C .

Клімати *A*, *C*, *D* і *E* складають клімати, у яких достатньо тепла й опадів для зростання звичайних сортів дерев.

Субарктичні клімати E підрозділяються також на два типи: субарктичний морський (*EO*), що займає північну частину Тихого й Атлантичного океанів, зі середньомісячною температурою найхолоднішого місяця вище -10°C і субарктичний континентальний *EC*, що спостерігається над північчю Канади, в Алясці й на півночі Євразії, за винятком прибережних областей, із середньомісячною температурою найхолоднішого місяця нижче -10°C . У центрі Азії клімат степу *BS* межує прямо з кліматом *CS*, минаючи помірний клімат.

Полярні клімати F мають межу лісу, яка збігається з ізотермою 10°C . Вони також поділяються на два типи відповідно до середньомісячної температури найтеплішого місяця. Якщо вона знаходиться в межах між 0°C і 10°C , то такий клімат називається кліматом тундри *FT*. Клімат тундри *FT* спостерігається також над океанами Південної півкулі, в Алясці і на півночі Євразії, за винятком прибережних областей, де панує клімат тундри *FT*, а якщо у всіх місяцях року середньомісячна температура нижче 0°C , то це льодовий клімат *FL*. Льодовий клімат *FI* існує над Гренландією і над Антарктидою.

Фізико-географічне районування. У другій половині XIX століття активізувалася розробка галузевих схем природного районування, зокрема кліматичного. В основу перших схем фізико-географічного районування було покладено «закон зональності», якій у 1899 році сформулював В. В. Докучаєв – основоположник наукового генетичного ґрунтознавства та зональної агрономії.

В. В. Докучаєв установив закономірність залягання ґрунтів у вигляді смуг або зон (поясів) і довів, що зміна цих зон відповідає, загалом, смугам клімату, ускладнюючись впливом інших факторів. Ґрунтова карта В. В. Докучаєва для північної півкулі, видана в 1900 р. до Всесвітньої виставки в Парижі, становить підтвердження його правила зональності ґрунтів і послідовності чергування їх залежно від клімату (рис. 3.3).

Відповідно до карти в північній півкулі виділяють п'ять найголовніших «природно-історичних зон або поясів» (ландшафтів), розташованих із півночі на південь, а саме:

1. Бореальна (тундрова).
2. Тайгова (лісова).
3. Чорноземна (переважно степова).

4. Зона безводних, субтропічних країн.
5. Червоноземна зона тропічних країн.

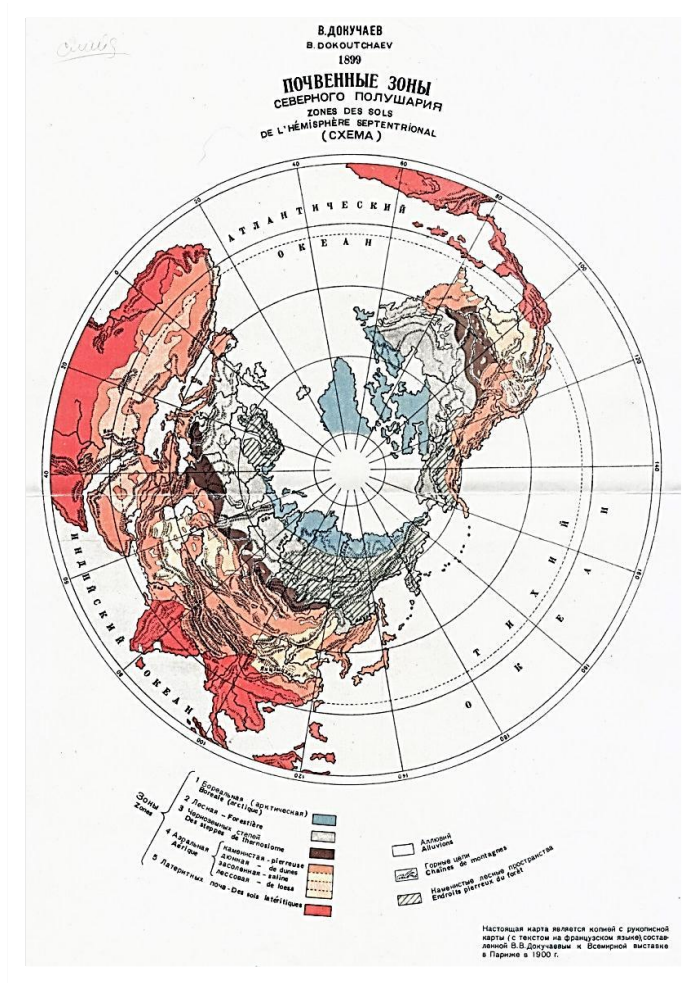


Рисунок 3.3 – Грунтова карта
В. В. Докучаєва [12]

однорідною геологічною будовою, переважанням одного типу рельєфу, єдиним кліматом, однотипним поєднанням гідрогеологічних умов, ґрунтів, рослинності. У горах райони можуть охоплювати місцеву систему окремих масивів і міжгір'я.

Класифікація Л. С. Берга побудована на географічних принципах, класифікація клімату тісно пов'язана з рельєфом, ґрунтовим покривом і рослинністю – кліматичні зони відповідають ландшафтним зонам. Класифікація показує, що між кліматом, рельєфом, ґрунтовим покривом і рослинністю спостерігається тісна взаємодія і зв'язки.

Усі типи кліматів Берг розділяє на два великих класи:

- клімати низин: а – клімати океанів, б – клімати суші;
- клімати височин: а – клімати нагір'їв і плато, б – клімати гірських систем та окремих гір. У горах виділені клімати нагір'їв і плато, гірських країн та окремих гір.

У південній півкулі ці зони ідуть у зворотному порядку.

Пізніше Л. С. Берг розвинув ідеї В. В. Докучаєва про природні зони й здійснив зональне фізико-географічне районування СРСР [12].

У сучасному стані фізико-географічне районування це – система територіального поділу земної поверхні на природні регіони, які відрізняються комплексом природних властивостей, зумовлених їхнім положенням, історією розвитку та характером фізико-географічних процесів, місцевими особливостями рельєфу, клімату тощо.

На рівнинах виділені райони, що відрізняються

За Л. С. Бергом, на рівнинах виділено 12 зональних типів кліматів:

1. *Клімат вічного морозу*. Спостерігається в районах, де середня місячна температура повітря завжди від'ємна, а також у гірських місцевостях, що лежать вище снігової лінії.

2. *Клімат тундри*. Середня температура найтеплішого місяця не вище 10–12 °С, але й не нижче 0 °С. Відносна вологість у 13 год більше ніж 70 %. Є два підтипи: а) тундра північної півкулі з великою річною амплітудою температури (материкового типу) і б) тундра південної півкулі з малою амплітудою температури (океанічного типу).

3. *Клімат тайги*. Температура липня 10–20 °С, річна амплітуда не менше 10 °С, опадів 300–600 мм на рік (відносна вологість у 13 год найтеплішого місяця 50–70 %). Підтипи: а) західний з хмарною й сніжною зимою; б) східносибірський з ясною, сухою, дуже холодною зимою.

4. *Клімат лісів помірної зони*. Середня температура чотирьох місяців теплої пори року 10–22 °С. Переважають літні опади й листяні ліси: від вічнозелених до букових або дубових.

5. *Мусонний клімат* помірних широт. Це різновид клімату лісів помірної зони з ясною холодною сухою зимою, дощовим літом і сезонною зміною переважних вітрів.

6. *Клімат степів*. Літо тепле і спекотне, максимум опадів припадає на літо. Є два підтипи: а) клімат степів із прохолодними зимами (степу помірного поясу), середня температура кожного з літніх місяців 20–23,5 °С; у липні та серпні середня відносна вологість у 13 год 35–45 %, опадів 200–450 мм на рік, суховії; б) клімат степів із теплими зимами (степи субтропічні й тропічні).

7. *Клімат середземноморський*. Характерний для субтропіків. Літо спекотне, сухе, середня температура літніх місяців 23–28 °С; зима тепла, волога, середня температура найхолоднішого місяця вище 0 °С; опади випадають восени, взимку і навесні.

8. *Клімат субтропічних лісів*. Середня температура найхолоднішого місяця вище 2 °С. Літо спекотне, багате опадами, річна сума опадів більше ніж 1 000 мм, з добре вираженим літнім максимумом.

9. *Клімат внутрішньоматерикових пустель* (помірного поясу). Опадів мало (300 мм і менше), але особливо мало їх припадає на літо – сухе, безхмарне і спекотне. Середня температура найтеплішого місяця 25–32 °С.

Зима прохолодна, температура найхолоднішого місяця зазвичай нижче 2 °С, випадає сніг. Особливий різновид становить пустельний клімат Патагонії з порівняно прохолодним літом.

10. *Клімат субтропічних пустель* (областей пасатів). Опадів дуже мало. Літо спекотне, опадів недостатньо, щоб утворити суцільний килим рослинності. Зима теж спекотна або тепла (температура найхолоднішого місяця не нижче 10 °С). Добова амплітуда температури повітря дуже велика. Особливий різновид клімату субтропічних пустель – клімат пустельних узбереж Перу, півночі Чилі та західного узбережжя Південної Америки на північ до 18° пд. ш. Ці пустелі розташовуються по сусідству з порівняно холодним океаном і відрізняються частими туманами (особливо взимку), які виносяться на сушу потужним морським бризом.

11. *Клімат саван*, або тропічного лісостепу. Температура найхолоднішого місяця вище 18 °С. Дощів багато, але не більше 2 000–2 500 мм на рік; наявний чітко виражений сухий період, який припадає на зиму і весну відповідної півкулі. Місцями розвинені мусони, а в період зміни мусонів можуть виникати тропічні циклони.

12. *Клімат вологих тропічних лісів*. Дощів багато, не менше 1 500 мм на рік, сухого сезону або взагалі немає, або він настільки не тривалий, що не заважає зростанню вологолюбної тропічної рослинності. Температура найхолоднішого місяця не нижче 18 °С. Річна амплітуда мала, від 1 до 6 °С. Погода відрізняється великою постійністю день у день. У річному ході зазвичай є два максимуму дощів, що припадають на періоди рівнодень.

3.2 Кліматичні особливості Євразії

Кліматичні особливості Євразії обумовлені розмірами материка, протяжністю з півночі на південь, різноманітністю панівних повітряних мас, особливостями рельєфу і впливом океанів.

Євразія розташована в усіх кліматичних поясах північної півкулі, від арктичного до екваторіального. Найбільші території за площею займає помірний пояс. Над територією материка утворюються і панують всі основні типи повітряних мас – арктичні, помірні, тропічні й екваторіальні. Над океанами в помірному і тропічному поясах формуються морські, а над материком – континентальні повітряні маси, протиборство яких створює в цих широтах Євразії велику різноманітність типів клімату.

Зокрема, більша частина Євразії розташовується в помірних широтах, де яскраво виражено західне перенесення морських повітряних мас, що підсилює вплив Атлантичного океану на клімат материка. А внутрішні райони Євразії в межах помірної поясу знаходяться під визначальним впливом континентальних повітряних мас, що формуються в

зоні дії Сибірського (Монгольського) антициклону. Східні та південні райони Азії знаходяться під впливом мусонів, які переносять повітряні маси взимку з материка на океан, а влітку з океану на сушу (півострова Індостан та Індокитай, Східний Китай, Далекий Схід і Японські острови). На клімат Євразії, як і інших материків, впливає рельєф. Альпи, Карпати, Кавказ, Гімалаї та інші гори Альпійсько-Гімалайського поясу перекривають шлях холодним і сухим північним вітрам на південь і одночасно встають бар'єром на шляху теплих і вологих південних вітрів. Наприклад, в улоговинах Центральної Азії, на північ від Гімалаїв, за рік випадає 50–100 мм опадів, а біля підніжжя східних Гімалаїв – більше ніж 10 тис. мм за рік. Зими в країнах Європейського Середземномор'я, за бар'єром Альп, теплі, а на рівнинах Середньої Європи відносно холодні. Океанічні течії (Гольфстрім, Куросіо, Курило-Камчатська, мусонні течії Індійського океану) формують над територією морські повітряні маси.

В арктичному і субарктичному поясах виділяються області з морським кліматом на заході кожного поясу з невеликими амплітудами температур завдяки порівняно теплій зимі й прохолодному літу (вплив відгалужень Північно-Атлантичної течії). На сході поясів клімат континентальний з дуже холодною зимою (від -40°C до -45°C). Спостерігається велика різноманітність типів клімату в межах помірного поясу, що простягнувся через увесь материк. Морський тип клімату західних районів Європи формується під цілорічним впливом морських повітряних мас з Атлантики. Літо тут прохолодне, зима відносно тепла навіть у північних широтах на узбережжі Скандинавського півострова. Під час проходження атлантичних циклонів погода швидко змінюється: влітку можуть бути похолодання, взимку – відлиги. Область перехідного клімату від морського до континентального займають переважно території Центральної Європи. У разі видалення від океану зростає амплітуда літніх і зимових температур: зима стає помітно холоднішою. Улітку опадів більше, ніж у холодний період року. На території Східної Європи (до Уралу) клімат вважають помірно континентальним. За Уралом, у Сибіру і Центральної Азії, зима дуже холодна і суха, літо спекотне і відносно вологе. Це область різко континентального клімату помірного поясу. На узбережжі Тихого океану клімат мусонний з теплим вологим літом і холодною зимою. У субтропічному поясі на рівнинах весь рік температури повітря позитивні. Північну межу поясу проводять за січневою ізотермою в 0°C . На території Євразії в цьому поясі відокремлюють три кліматичні області. На заході поясу Середземноморська, де влітку безхмарно і спекотно – панують сухі тропічні повітряні маси, а взимку завдяки впливу

морського повітря помірних широт йдуть дощі. Область материкового субтропічного клімату займає територію Передазіатського нагір'я (півострів Мала Азія, Вірменське і північна частина Іранського нагір'я). Зима в цій області порівняно холодна (можливі снігопади й зниження температур нижче 0 °С), літо – спекотне і дуже сухе. Річна кількість опадів невелика, і випадають вони в зимово-весняний період. Область мусонного субтропічного клімату – на сході Китаю і займає південну половину Японських островів. Тут характерний режим опадів – річний максимум в їхньому річному розподілі. Тропічний пояс в Євразії представлений тільки на південному заході Азії (Аравійський півострів, південь Месопотамії й Іранського нагір'я, північно-західні райони півострова Індостан). Протягом всього року тут панують континентальні тропічні повітряні маси. Кількість опадів на рівнинах не перевищує 200 мм, а в пустельних районах поясу – нижче 50 мм на рік. Літо дуже спекотне – середні температури липня від +30 °С до +35 °С. У місті Ер-Ріяді (Аравія) було зафіксовано температури до +55 °С. Середні січневі температури від +12 °С до +16 °С. Субекваторіальний пояс охоплює півострова Індостан і Індокитай, Індо-Гангську рівнину, острів Шрі-Ланка (без південно-західної частини), Південно-Східний Китай, Філіппінські острови. Для цього поясу характерна сезонна зміна повітряних мас: улітку панує вологе екваторіальне повітря, принесене мусоном; узимку – відносно сухий тропічний пасат північної півкулі. Найспекотніший час року – весна, коли денні температури можуть перевищувати +40 °С.

Екваторіальний кліматичний пояс розташовується на островах Малайського архіпелагу (без східної Яви й Малих Зондських островів), півострові Малакка, південному заході о. Шрі-Ланка і півдні Філіппінських островів. Протягом усього року тут панують морські екваторіальні повітряні маси. Вони формуються з тропічного повітря, що надходить із пасатами обох півкуль. Для цього клімату характерні рясні опади (2 000–4 000 мм на рік) і постійно високі температури (вище +25 °С) [54].

3.3 Клімат Африки

Особливості клімату Африки сформувалися внаслідок дії системи кліматотвірних чинників. Більша частина материка розташована між тропіками, значна частина материка має високі температури, і тому Африка вважається найспекотнішим материком. Тут є області, де температура повітря деколи перевищує +50 °С. У широтах Африки над

океаном панують постійні вітри – пасати, які значно впливають на розподіл опадів. Південно-східний пасат з Індійського океану приносить вологі повітряні маси. Північно-східний пасат – із Євразії викликає суху погоду.

Південно-західні пасати затримують Драконові та Капські гори, завдяки чому велику кількість опадів одержують прибережні райони й, зовсім незначну, території розташовані за горами.

На території Африки виділяються екваторіальний, два субекваторіальних, два тропічних пояси і два субтропічних пояси (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Кліматичні зони Африки [57]

Екваторіальний пояс охоплює територію, що простягається на південь і північ від екватора. Тут переважають екваторіальні повітряні маси, що формуються завдяки трансформації повітря тропічних пасатів південної та північної півкулі.

Для екваторіального поясу характерні незначний середній річний хід температури повітря, незначні добові й річні амплітуди. В екваторіальному поясі Африки в середньому за рік буває від 1 500–1 800 мм до 3 000 мм опадів.

Клімати субекваторіальних поясів обох півкуль Африки формуються під впливом екваторіальних повітряних мас влітку і тропічних узимку. Повітря рівномірно прогривається впродовж всього року. Річна амплітуда температури в цій зоні дуже незначна: 1–2 °С. У Кананзі на Конго річна амплітуда менша ніж 1 °С, середня температура в лютому –24,4 °С, у грудні –25,1 °С). Завдяки теплову клімату і вологості повітря близько 85 % тут сформувалася природна зона вологих екваторіальних лісів. Клімати відрізняються переважно за кількістю і режимом опадів залежно від переважних мас повітря в межах поясів екваторіальних мусонів. Найбільша їхня кількість припадає на екваторіальні райони: басейн річки

Конго (Заїр) і узбережжя Гвінейської затоки – 2 000–3 000 мм за рік, а на схилах гір – до 9 000 мм. У межах екваторіальних мусонів чітко виділяються вологий літній і посушливий зимовий періоди.

Тропічні кліматичні пояси в Африці представлені в обох півкулях на північ від 20° пн. ш. і на південь від 18° пд. ш. Для них характерні високі температури повітря і ґрунту за незначних кількостей атмосферних опадів і запасів вологи в атмосфері. Середні місячні температури повітря влітку становлять понад 30 °С, а взимку 20 °С. Поверхня ґрунту подекуди прогрівається до 80–90 °С. Річна кількість атмосферних опадів у середньому не перевищує 150 мм. У Сахарі кількість опадів 100 мм і менше на рік; Східна Сахара – найсухіший район Африки (10–20 мм опадів на рік).

Субтропічні кліматичні пояси простягаються із заходу на схід у вигляді вузьких смуг. Субтропічний кліматичний пояс Південної Африки характеризується значними контрастами в режимі атмосферних опадів, температури й вологості повітря, що пов'язано зі своєрідністю циркуляційних процесів в атмосфері й океані цієї частини нашої планети.

У формуванні клімату узбережжя Африки значну роль відіграють морські течії. Через холодні течії Канарську, Бенгальську, Сомалійську на східному, північно- і південно-західному узбережжях низькі показники вологості. На західному і південно-східному узбережжях завдяки теплим течіям Гвінейському та Мозамбікському територія добре зволожена [110].

3.4 Природно-кліматичне районування України

Фізико-географічне районування території базується на географічних принципах, класифікація клімату тісно пов'язана з рельєфом, ґрунтовим покривом і рослинністю. Територія України розташована в зоні кліматичного комфорту. На рівнинній частині України виділяють три фізико-географічних зони: лісова, лісостепова і степова. Вони простягаються в широтному чи близькому до широтного напрямку (рис. 3.5).

Лісова зона, що займає всю північ України, містить зону мішаних (15 % площі України) і широколистяних лісів (7,3 %) і називається Українським Поліссям. Її південна межа проходить повз такі населені пункти: Рава – Володимир – Волинський – Луцьк – Рівне – Житомир – Київ – Ніжин – Кролевець – на північ від Глухова. Загальна площа Українського Полісся становить п'яту частину території країни. Клімат Полісся помірно континентальний, літо тепле й вологе, зима порівняно м'яка.

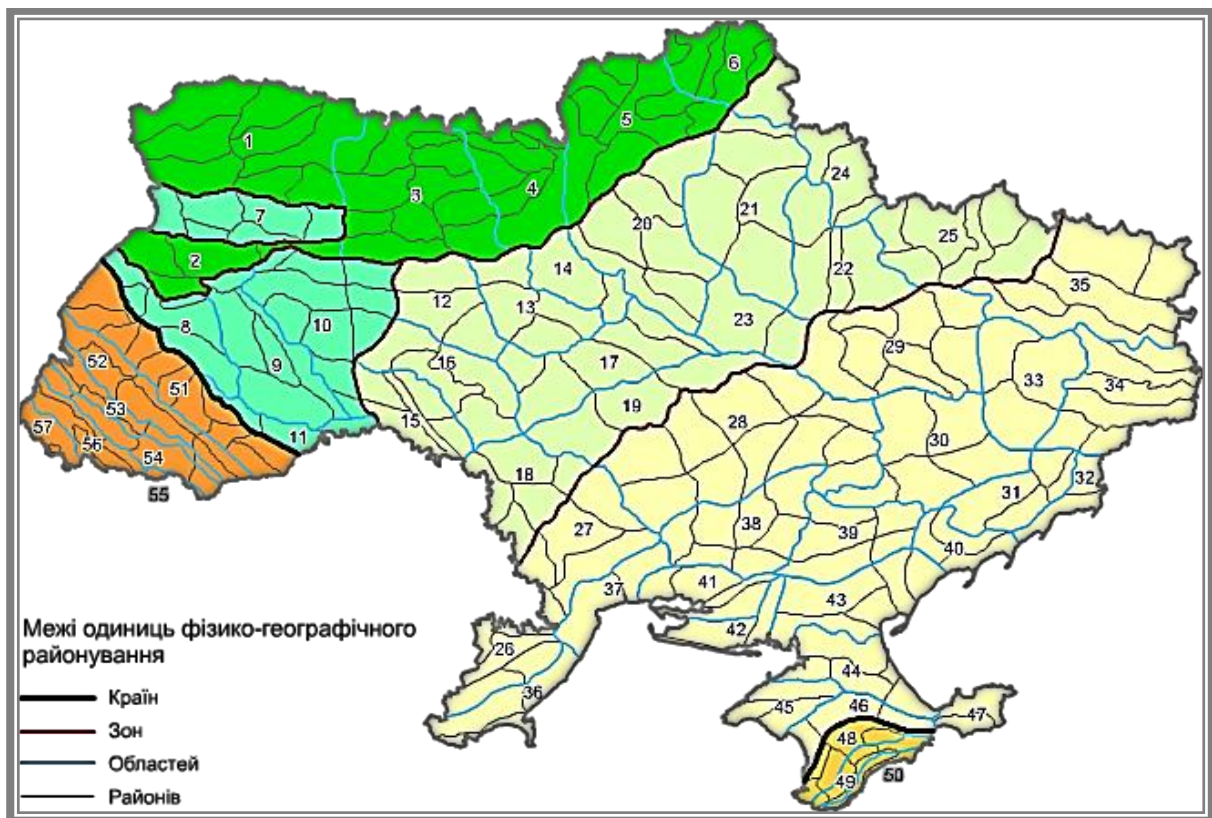


Рисунок 3.5 – Фізико-географічне районування України: 1–6 – зона мішаних лісів; 7–11 – зона широколистяних лісів; 12–25 – лісостепова зона; 26–47 – степова зона; 51–57 – Кримські Гори
[\(https://stat.nonews.co/ukraine/maps/physico-geographical/\)](https://stat.nonews.co/ukraine/maps/physico-geographical/)

Середні температури січня змінюються з заходу на схід від $-4,5$, -5 °C до -7 , -8 °C. Середні температури липня змінюються відповідно від $+17$ °C до $+19,5$ °C. Безморозний період триває 160–180 днів. Річні суми опадів 600–760 мм. Стійкий сніговий покрив тримається 90–100 днів.

Посухи трапляються рідко і практично не буває суховіїв. Великі хуртовини бувають лише на північному сході (30 і більше днів за рік).

На південь від Українського Полісся лежить *лісостепова зона*, або Лісостеп. Лісостеп займає близько 34 % території України. Природно-географічні умови Лісостепу є найсприятливішими для життя і діяльності людей. Середня температура липня на північному заході зони $+18$ °C, на півдні підвищується до $+22$ °C; середня температура січня -5 °C, -8 °C, абсолютний мінімум на сході -36 °C. Тривалість періоду з середньодобовими температурами від $+5$ °C до $+15$ °C становить на заході 100–110 днів, на лівобережжі Дніпра 80–90 днів. Безморозний період триває 190–180 днів на заході й 160–150 на сході.

Річна сума опадів зони 575–650 мм, на сході – 450 мм, а випаровуваність – відповідно 550 і 750 мм. Найбільша кількість опадів

(65–75 %) – із квітня до вересня. Коефіцієнт зволоження (відношення суми опадів до випаровуваності) змінюється від 2,8 (Львів), 2,0 (Хмельницький) до 1,4–1,2 на півдні. За сумами тепла й вологи лісостепова зона сприятлива для вирощування різноманітних сільськогосподарських культур.

Степова зона розташувалася на південь від Лісостепу до Азово-Чорноморського узбережжя і Кримських гір. Вона займає найбільшу у порівнянні з іншими зонами площу – 39,7 % території України.

Клімат степової зони помірно континентальний. Безморозний період триває 160–220 днів. Середні річні температури повітря змінюються з північного сходу на південний захід від +7,5 °С до +11 °С. Середні липневі температури зростають у південному напрямку від +21,5 °С до +23 °С. Річні суми опадів зменшуються від 450 мм (на півночі) до 350 мм (на півдні). Характерною особливістю степових ландшафтів є висока випаровуваність (від 700 мм до 1 000 мм). Часто бувають посухи. За сукупністю природно-географічних умов степова зона України поділяється на дві підзони – Північний Степ і Південний Степ.

Українські Карпати, Закарпаття. В умовах Карпат винятково важливим кліматотвірним чинником є рельєф – його висота, стрімкість схилів, залісненість території тощо. Вище від лісової зони поширені субальпійська та альпійська зони (полонини).

На кліматичні умови впливають експозиція схилів гірських хребтів, із висотою змінюється температура (рис. 3.6) і кількість опадів (рис. 3.7). Середні температури січня становлять відповідно –4,5 °С і –3 °С, а в горах –6 °С і –12 °С.

Зима м'яка, сніжна, із тривалими відлигами; літо в горах не спекотне, із дощами. Середні температури липня в Передкарпатті +19 °С, Закарпатті +20 °С, у горах +13 °С, +7 °С. Гори й передгір'я надмірно зволожуються; річні суми опадів у передгір'ях становлять 800–1 000 мм, а в горах 1 500–1 600 мм.

Карпати належать до найбільш лавинонебезпечного регіону України (рис. 3.8). У південно-східній і південній частинах гір трапляються зливові водно-щебеневі селі. У межах Вододільно-Верховинського і Вулканічного гірських масивів формуються сніжно-дощові, водно-щебеневі селі (рис. 3.9).

За сукупністю метеорологічних показників на *Кримському півострові* можна виділити три основні типи кліматів (рис. 3.10):

– степовий помірно континентальний з жарким сухим літом і прохолодною вологою зимою;

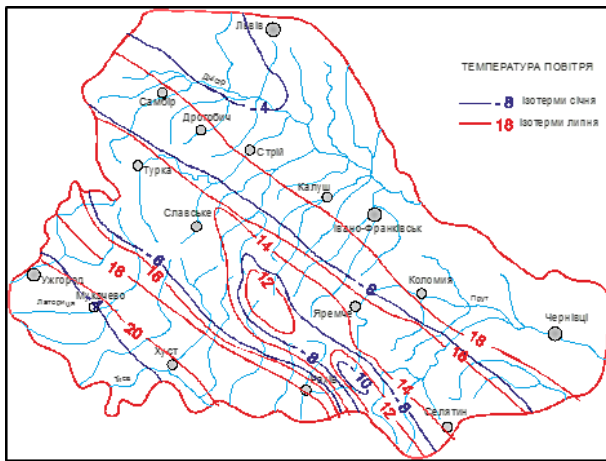


Рисунок 3.6 – Зміна температури у Карпатах з висотою [57]

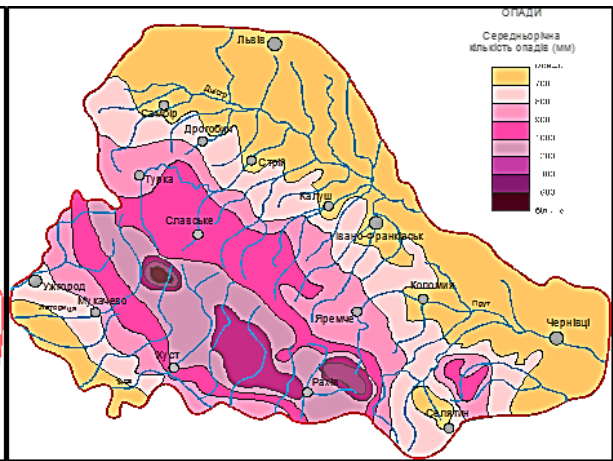


Рисунок 3.7– Зміна кількості опадів у Карпатах з висотою [57]

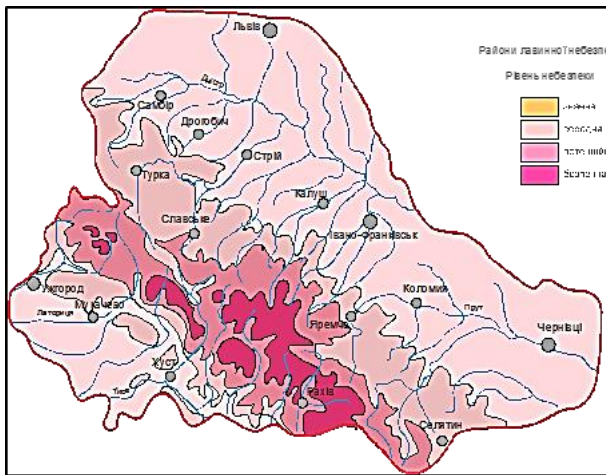


Рисунок 3.8 – Лавини Карпат [57]

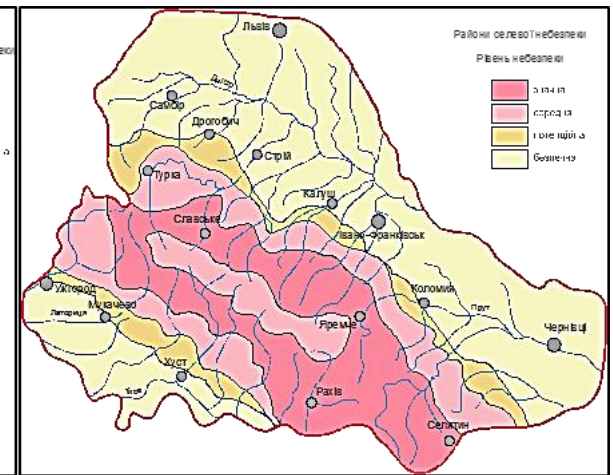


Рисунок 3.9 – Селі Карпат [57]

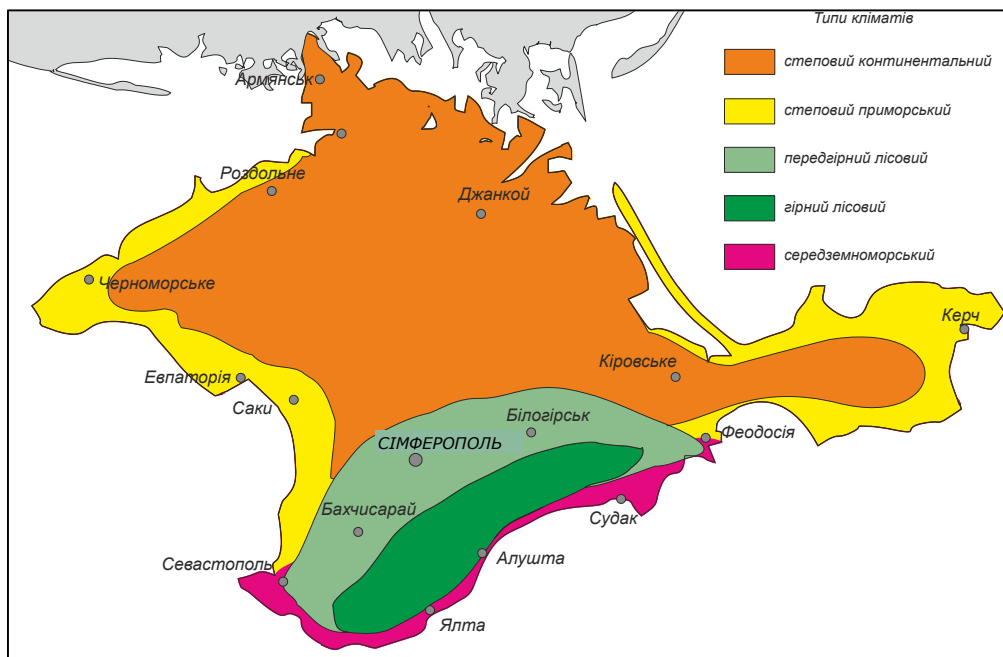


Рисунок 3.10 – Кліматичні зони Криму [57]

– гірничо-лісовий слабо континентальний з теплим, вологим літом і прохолодною вологою зимою;

– південнобережний субсередземноморський слабо континентальний зі спекотним сухим літом і відносно теплою, вологою зимою.

Між ними проміжні типи кліматів: степовий приморський і передгірний лісостеповий [10].

Клімат Степового Криму помірно континентальний з тривалим і спекотним літом і короткою м'якою зимою. Баланс вологи в степовому Криму є негативним, що супроводжується нестійкістю зволоження. Це тягне за собою такі кліматичні явища, як посухи й суховії, обміління і пересихання кримських річок.

Кримські гори простягаються з заходу на схід на 150 км, мають ширину 50–60 км. Кримські гори поділяються на три фізико-географічні області: Кримську передгірну лісостепову, головне гірсько-лучно-лісове пасмо і Кримську південнобережну субсередземноморську.

Клімат гір помірно холодний і вологий. Зимові опади найчастіше переважають над літніми. Кількість опадів у горах 900–1 100 мм. У передгір'ях 500–600 мм, на Південному березі Криму – 300–600 мм. Град – 6–8 днів на рік.

Зима в горах зазвичай триває з середини жовтня до кінця березня. У верхніх частинах схилів формується сніговий покрив, товщина якого може сягати метра і більше. Погода в зимовий час доволі нестійка, наприклад температура в січні в межах від -10°C до $+10^{\circ}\text{C}$, у травні може випасти сніг. Узимку схили декількох таких гірських масивів, як Ай-Петрі, Бабуган-яйла, Чатир-Даг і Демерджи бувають лавинонебезпечними (рис. 3.11).

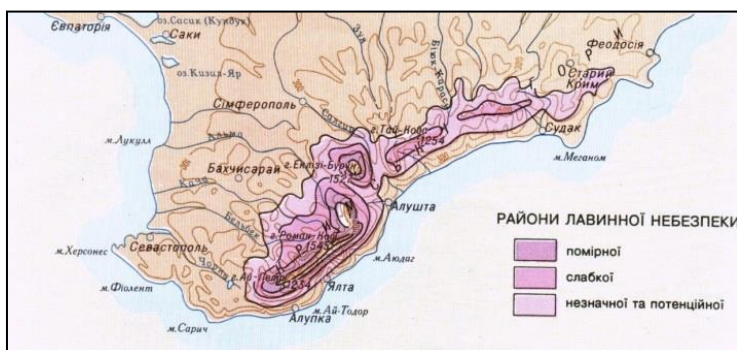


Рисунок 3.11 – Снігові лавини Криму [57]

панівних вітрів. У південно-східній частині чорноморського узбережжя, бувають селі, зливові дощі (рис. 3.12).

Літо в горах зазвичай спекотне та сухе. Але навіть влітку температура ночами може опускатися до 0°C . Протягом року дуже часті тумани.

Кожен схил Кримських гір має свої кліматичні умови, оскільки підпадає під вплив різних

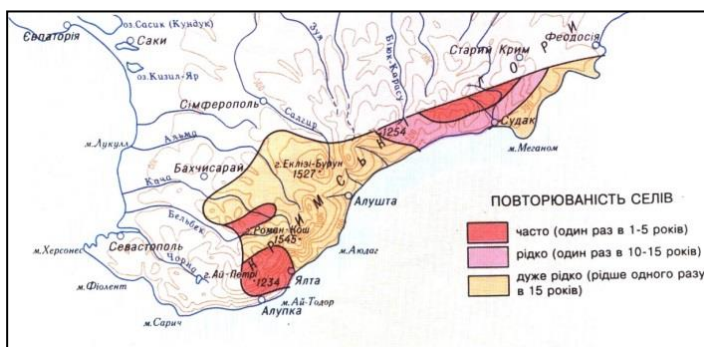


Рисунок 3.12 – Селі Криму [57]

посушливий, спекотний, із помірно теплою зимою. Протягом літа стоїть ясна і суха погода, узимку опадів випадає майже в два рази більше, ніж влітку, а в самі сухі місяці (квітень і травень) сума опадів не перевищує 30 мм. Літо, яке триває п'ять місяців у році, сонячне, сухе, але, у наслідок впливу морських бризів, не спекотне.

За рік на Південному березі буває всього 30–35 морозних днів, у той час як у центральних степових районах не менше 115–120. В особливо суворі зими на Південний берег проникають холодні вітри, але й тоді температура повітря тут не опускається нижче $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$. Середньорічна температура повітря $13\text{ }^{\circ}\text{C}$, середньомісячна температура січня $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$, липня $+24\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.5 Агрокліматичне районування України

Для цілей сільського і лісового господарства і проектування системи озеленених просторів міста призначається ґрунтово-кліматичне районування (рис. 3.13). В його основі лежить ґрунтова карта і гідротермічний коефіцієнт – відношення суми опадів за сталий період зі стійкими середньодобовими температурами повітря, вищими від $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, тобто період інтенсивної вегетації культур до суми додатних температур за цей же період зменшеної у 10 разів:

$$ГКТ = \frac{R}{0.1 \sum T}, \quad (3.2)$$

де R – сума опадів за період з температурами повітря вище $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$;

$\sum T$ – сума середньодобових температур повітря вище $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Оцінка кліматичних і агрокліматичних показників дає уявлення про відмінності та кількісні параметри ресурсів тепла і вологи кожного регіону України, що важливо для оптимального розміщення сільськогосподарських культур і підбору рослин для озеленення міських територій [75, 76].

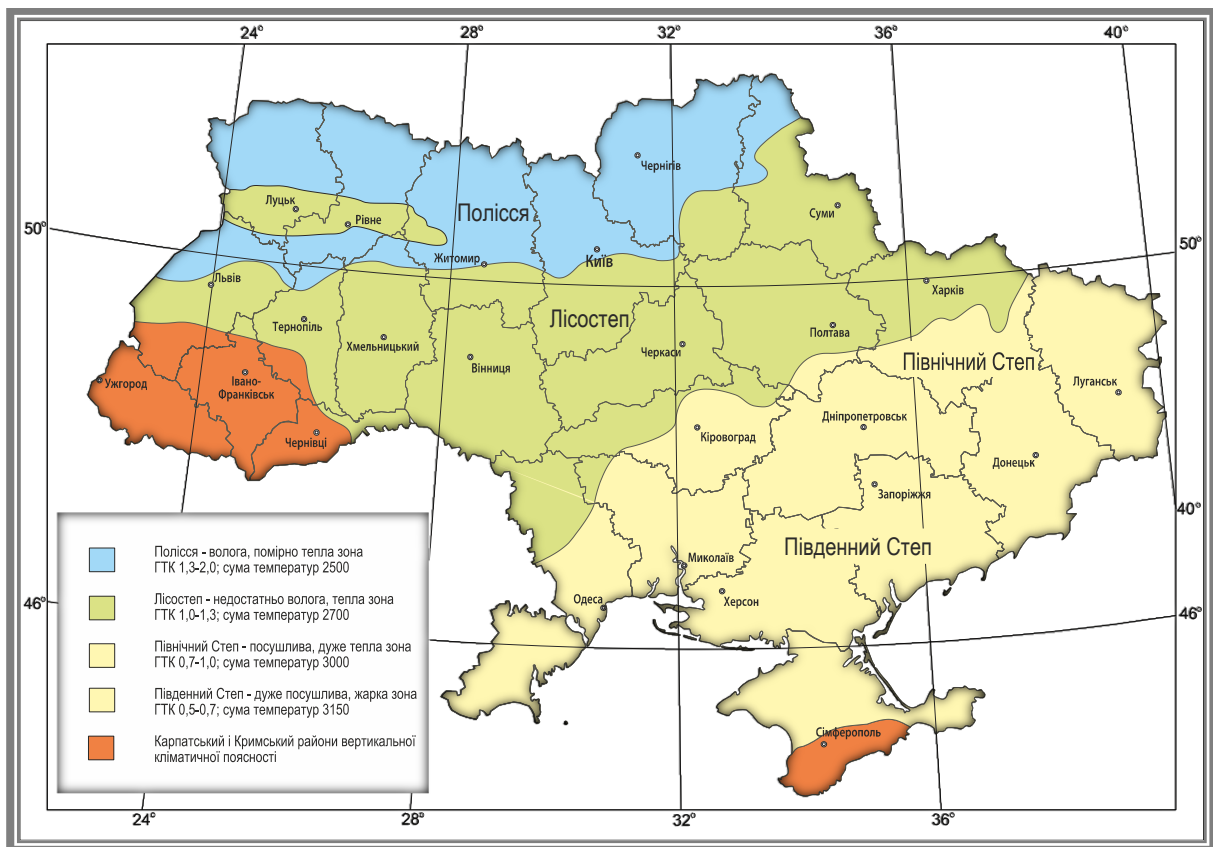


Рисунок 3.13 – Агрокліматичне районування території України [57]

Оцінка кліматичних і агрокліматичних показників дає уявлення про відмінності та кількісні параметри ресурсів тепла і вологи кожного регіону України, що важливо для оптимального розміщення основних сільськогосподарських культур і підбору рослин для озеленення міських територій.

За співвідношенням ресурсів тепла та вологи на території України було виділено три агрокліматичні райони.

Полісся – помірно тепла зона, ймовірність посух 0–10 %, річна сума опадів 600–760 мм;

Лісостеп – тепла, недостатньо волога зона, ймовірність посух 15–40 %, річна сума опадів 575–650 мм;

Степ (північний та південний) – дуже тепла (жарка) зона з ймовірністю посух 40–70 %, річна сума опадів 350–540 мм.

Зволоження території також характеризує коефіцієнт зволоження – відношення річної кількості опадів до випаровуваності (кількості вологи, яка може випаруватися за таких температурних умов) за той самий період [72].

Випаровуваність є одним із головних кліматичних показників і вказує на посушливість, чи навпаки, вологість клімату. Чим показник

більший, тим клімат вологіший, а чим менше – тим сухіший. Якщо кількість опадів та випаровуваність збігаються, то коефіцієнт дорівнює одиниці.

Коефіцієнт зволоження:

$$K_{зв} = \frac{P}{f}, \quad (3.3)$$

де P – кількість опадів (мм);

f – випаровуваність за цей же період (%).

Якщо річна кількість опадів приблизно дорівнює випаровуваності, то коефіцієнт зволоження становить близько 1. Таке зволоження вважають достатнім. Якщо коефіцієнт зволоження більший за 1, то зволоження надмірне, а якщо менший за 1 – недостатнє [38].

На півночі й заході України (Полісся) зволоження надмірне або достатнє. Там на значних площах проводиться осушення земель. Далі на південь і схід поширюється слабо посушлива і посушлива зони. Причорноморська низовина і рівнинний Крим знаходяться в дуже посушливій зоні (коефіцієнт зволоження менший за 0,55).

3.6 Дорожньо-кліматичне районування України

Дорожньо-кліматичне районування території відповідає вимогам практики будівництва й експлуатації доріг щодо конструювання земляної полотнини і дорожнього одягу, регулювання водно-теплового режиму і забезпечення стійкості дорожніх споруджень. Вона дозволяє прогнозувати поведінку дорожнього об'єкта в ході експлуатації в умовах конкретної кліматичної зони.

У зв'язку з цим в основу кліматичного районування для цілей проектування й експлуатації доріг покладений водно-тепловий режим ґрунтової підстильної товщі, що сформувалася в ході природно-історичного розвитку поверхні землі у визначений тип ґрунтів, характерний для ландшафтно-зони. За погодно-кліматичними факторами, ґрунтово-гідрологічними умовами зволоження, а також досвідом експлуатації доріг територія України поділяється на чотири дорожньо-кліматичні зони (рис. 3.14).

Північна зона (У-I) обмежена лінією Мостицька – Львів – Житомир – Київ – Суми.

Центральна зона (У-II) пролягає від границі північної зони до лінії Любашівка – Кіровоград – Куп'янськ.

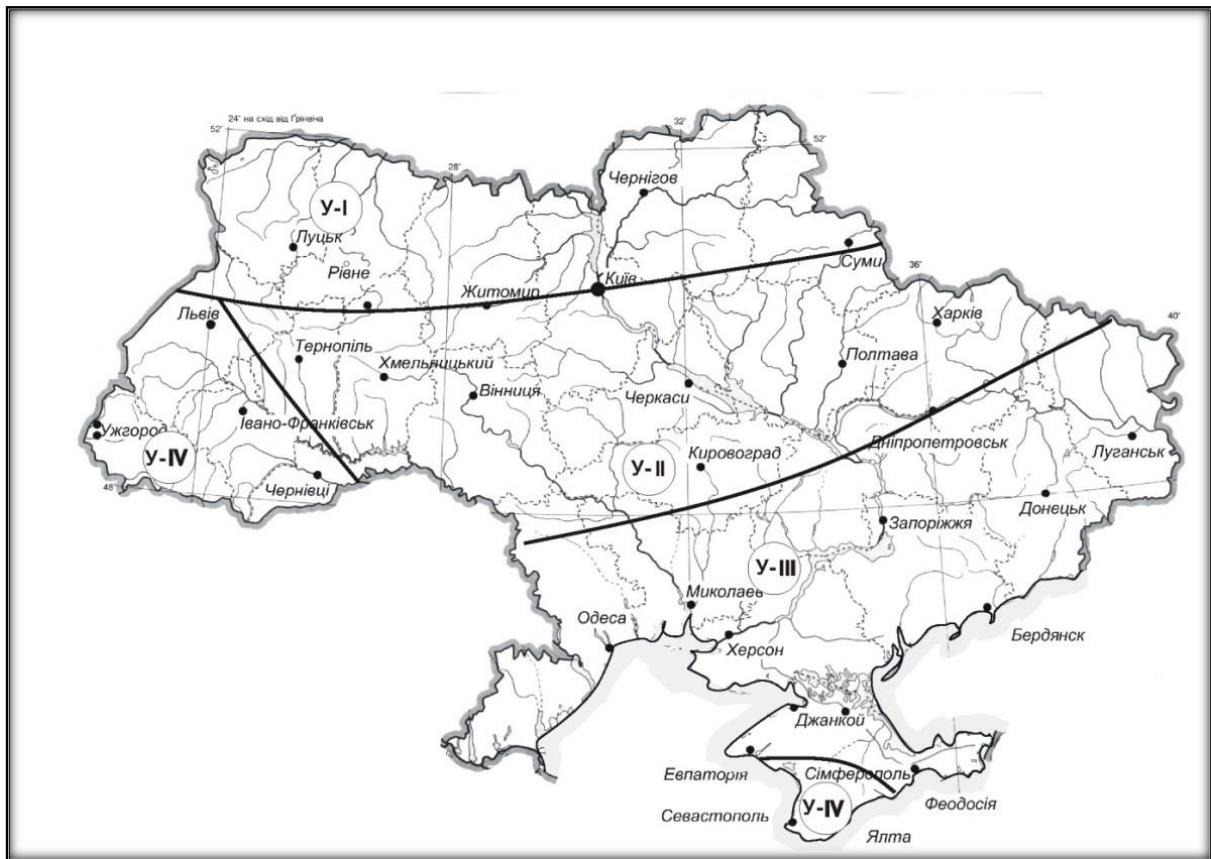


Рисунок 3.14 – Дорожно-кліматичне районування території України за ДБН В.2.3–4:2015 [31]

Південна зона У-III) розповсюджується на південь від границі центральної зони (від лінії Мостицька – Комарне – р. Дністер на південний схід до лінії Городенка – Новоселиця).

Винятком на цій території є регіони Карпат і Закарпатська область, які за східними ознаками разом із гірським Кримом входять до Гірської зони (У-IV). Ці регіони зі свого боку поділяються на три підзони за висотою прокладання дороги:

- рівнинна (до 200 м над рівнем моря);
- передгірська (від 200 м до 400 м над рівнем моря);
- гірська (понад 400 м над рівнем моря) [31].

3.7 Кліматичне районування для будівництва

Кліматичне районування для будівництва ґрунтується на сукупному обліку трьох метеорологічних показників: температури, вітру і вологості повітря. До недавнього часу основним документом в Україні, де визначались кліматичні зони для будівельників, був СНиП 23–01– 99* [102].

Відповідно до цих нормативних документів територія колишнього СРСР поділялась на чотири кліматичні зони й 16 підзон (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Кліматичні характеристики районів і підрайонів (СНиП, 23–01–99*)

Кліматичний район	Кліматичний підрайон	Середньомісячна температура повітря в січні, °С	Середня швидкість вітру взимку, м/с	Середньомісячна температура повітря в липні, °С	Середньомісячна відносна вологість повітря в липні, %
I	IA	≤ -32	–	+4 ÷ +9	–
	IB	≤ -28	≥ 5	0 ÷ +13	0,75
	IV	-14 ÷ -28	–	+12 ÷ +1	–
	IIГ	-14 ÷ -28	≥ 5	0 ÷ +14	> 75
	IIД	-14 ÷ -32	–	+10 ÷ +20	–
II	IIА	-4 ÷ -14	≥ 5	8 ÷ +12	> 75
	IIБ	-3 ÷ -5	≥ 5	+12 ÷ +21	> 75
	IIВ	-4 ÷ -14	–	+12 ÷ +21	–
	IIГ	-5 ÷ -14	≥ 5	+2 ÷ +21	> 75
III	IIIА	-14 ÷ -20	–	+21 ÷ +25	–
	IIIБ	-5 ÷ +2	–	+21 ÷ +25	–
	IIIВ	-5 ÷ -14	–	+21 ÷ +25	–
IV	IVА	-10 ÷ +2	–	≥ +28	–
	IVБ	+2 ÷ +6	–	+22 ÷ +28	≥ 50 в 13 г
	IVВ	0 ÷ +2	–	+25 ÷ +28	–
	IVГ	-15 ÷ 0	–	+25 ÷ +28	–

У 1993 році були розроблені і введені в дію державні будівельні норми України ДБН 360–92** «Планування і забудова міських і сільських поселень» [35], відповідно до яких кліматичне районування території України (рис. 3.15) передбачає розподіл території на кліматичні зони і підзони. Значення кліматичних показників міст України визначалися для кліматичних зон – IIВ, IIIБ і IIIВ, IVВ відповідно кліматичним підрайонам IIВ, IIIБ, IIIВ і IVВ, за СНиП 23–01–99* [102].

Відповідно до нього під час проєктування генеральних планів міст, мікрорайонів, схем забудови ділянок міських територій необхідно враховувати природно-кліматичні особливості міст, передбачати захист території від несприятливих зимових вітрів, пилових бур, а також за необхідності підвищення аерації влітку.

У 2011 році був введений новий державний стандарт України: ДСТУ–Н Б В.1.1–27:2010 «Будівельна кліматологія» [47]. У цьому нормативному документі скориговано кліматичне районування території України й значення кліматичних показників міст (табл. 3.3).

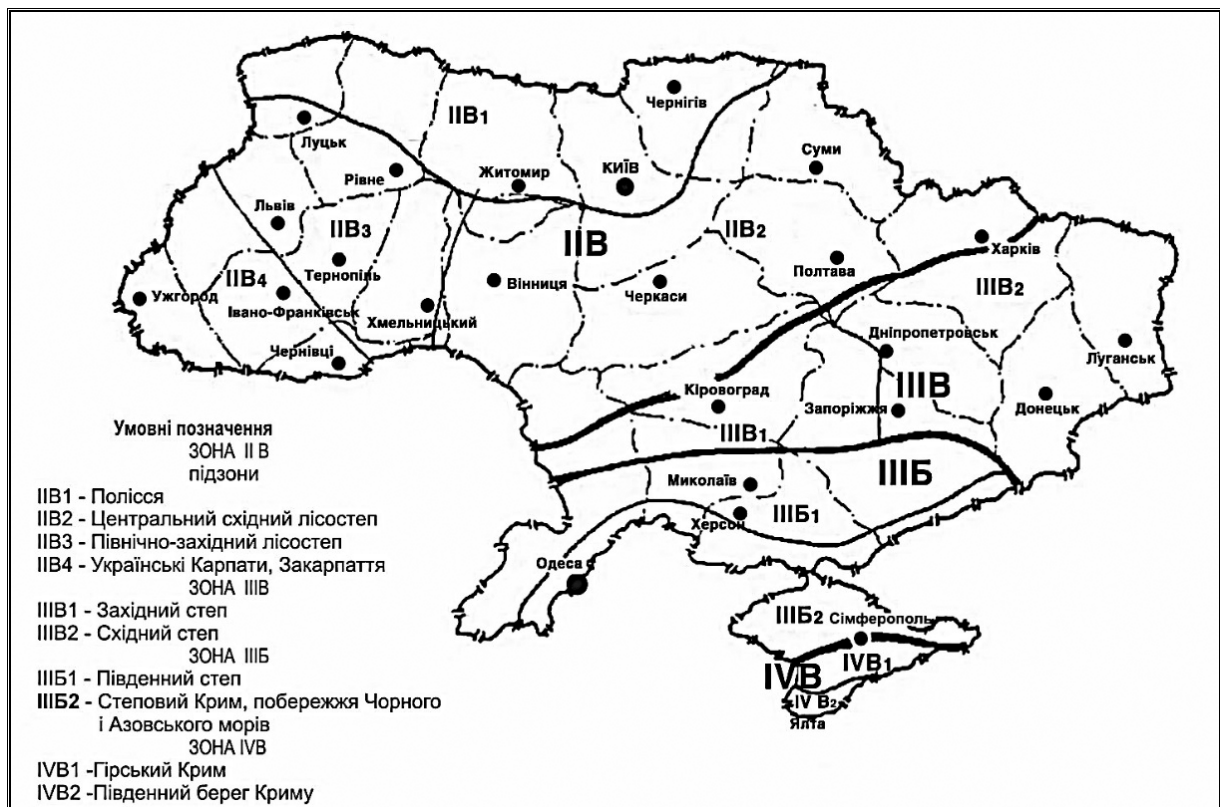


Рисунок 3.15 – Україна. Фізико-географічне районування (кліматичні зони) України за ДБН 360–92** [35]

Таблиця 3.3 – Кліматологічні показники архітектурно-будівельних кліматичних районів та підрайонів за ДСТУ–Н Б В.1.1–27:2010

Кліматичний район, підрайон		Температура повітря, °C				Кількість опадів за рік, мм	Відносна вологість у липні, %	Середня швидкість вітру в січні, м/с
		середня за		Абсолютний мінімум	Абсолютний максимум			
		січень	липень					
I – Північно-західний		Від –5 до –8	Від 18 до 20	Від –37 до –40	Від 37 до 40	550–700	65–75	3–4
II – Південно-східний		Від –2 до –6	Від 21 до 23	Від –32 до –42	Від 39 до 41	400–500	Менше ніж 65	4–6
III – Українські Карпати	III A – Гірсько-карпатський	–7	14	–38	35	1 600	77–81	3
	III B – Закарпатський	–4	19	–32	39	1 000	Більше ніж 0	3
IV – Південний берег Криму		3	23	–20	39	600	Менше ніж 60	4–5
V – Кримські гори		–4	16	–27	32	1 060	70	4–5

Поділ території України на кліматичні райони й підрайони зроблено на основі комплексного аналізу впливу середньомісячної температури повітря в січні й липні, середньої швидкості вітру у січні, середньої місячної відносної вологості повітря у липні та середньої річної кількості опадів на типологію будинків (рис. 3.16).

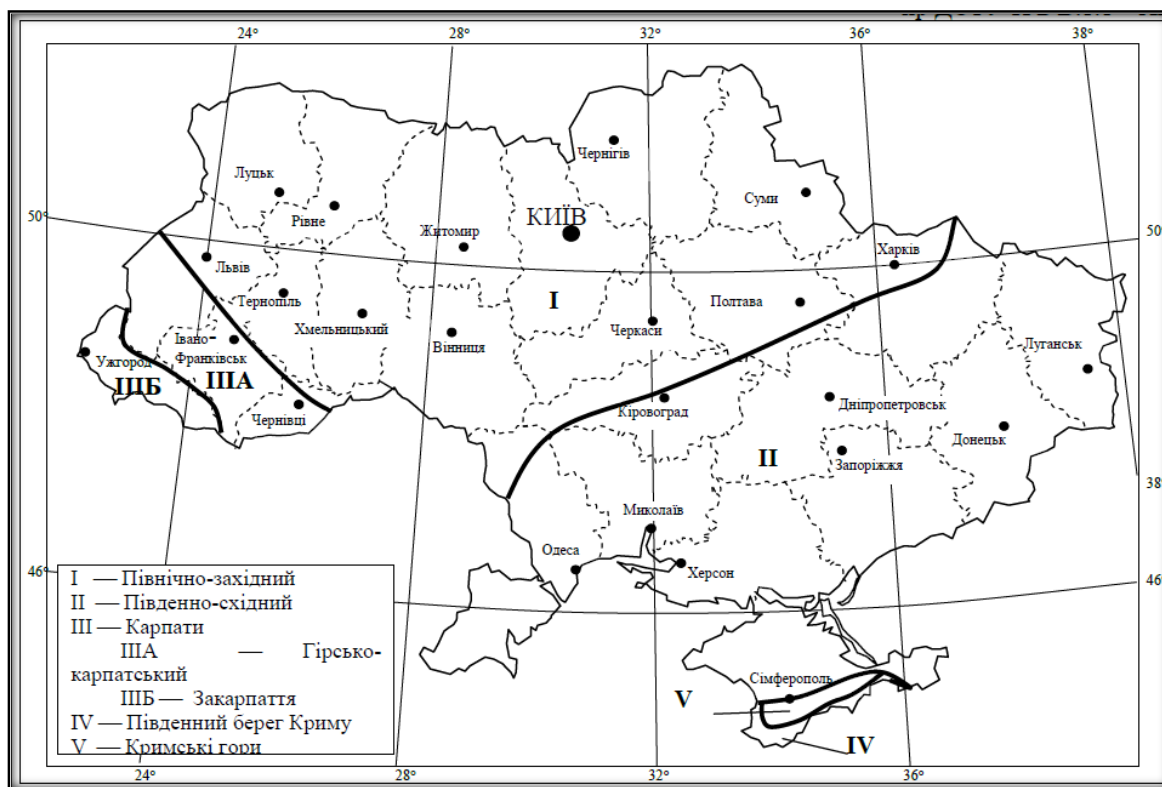


Рисунок 3.16 – Карта архітектурно-будівельного кліматичного районування території за ДСТУ–Н Б В.1.1–27:2010 [47]

I – Північно-західний кліматичний район охоплює Лісову і Лісостепову зону.

II – Північно-східний – степова зона України.

III – Карпати, Гірсько-карпатський район і Закарпаття; характеризується середньомісячними температурами січня – від -4°C до -14°C ; липня – від $+12^{\circ}\text{C}$ до $+21^{\circ}\text{C}$. Значна тривалість опалювального періоду. На території зустрічаються карстові, зсувні й просадні ґрунти [64].

IV – зона Південний Крим. Середньомісячна температура: січня – від 0°C до $+2^{\circ}\text{C}$ до – липня – від $+25^{\circ}\text{C}$ до $+28^{\circ}\text{C}$. Райони проявів сейсмічності до 7–9 балів. Ґрунти просадні на значній території. Зустрічаються райони лавинонебезпечні, зі зсувами, селями, карстами.

Кліматичні особливості IV зони: спекотне літо з інтенсивною сонячною радіацією, коротка зима з малим періодом опалювального сезону. Необхідний захист будинків як від перегрівання, так і від холоду.

V – Кримські гори.

Деякі з країн колишнього СНГ випустили свої власні нормативні документи, як наприклад, Казахстан [103], Білорусь [104].

3.8 Районування території за світловим кліматом

Світловий клімат характеризується комплексом показників ресурсів природної світлової енергії у вигляді зовнішнього природного освітлення місцевості або поверхні.

Показниками світлового клімату є:

- освітленість і кількість висвітлення на горизонтальній і по-різному орієнтованих вертикальних поверхнях;
- абсолютні значення яскравості й відносний розподіл яскравості по небу;
- показники хмарності;
- тривалість сонячного сяйва;
- прозорість атмосфери й альbedo поверхні, що підстилає.

Дані про світлові ресурси використовуються під час проектування природного освітлення в будівлях різного призначення, освітлення місць виконання робіт на відкритих просторах, територій промислових підприємств, зовнішнього освітлення міст, поселень та сільських населених пунктів.

В існуючих нормах з природного освітлення будівель [37] під час визначення значення коефіцієнту природного освітлення враховують коефіцієнт світлового клімату.

У цьому нормативному документі використовують дані будівельних нормативних документів часів Радянського Союзу, відповідно до яких на території України виділяють два світлокліматичних пояси: до першого з них зараховують Автономну республіку Крим і Одеську область, решта частини території України – другий пояс. Для кожного з цих поясів коефіцієнт світлового клімату змінюється відповідно до орієнтації світлових прорізів за сторонами обр'ю.

У результаті проведених досліджень за останні роки були внесені змінення в нормативні документи. У новій редакції будівельних норм України [37] за коефіцієнтом світлового клімату визначені чотири світлових пояси України на відміну від двох в існуючих нормах (дод. Д).

У цьому документі повною мірою врахована сукупність умов природного освітлення в тій або іншій місцевості (освітленість і кількість освітлення на горизонтальній і різноорієнтованих за сторонами горизонту

вертикальних поверхнях, створюваних розсіяним світлом неба і прямим світлом сонця, тривалість сонячного сьйва і альбедо підстильної поверхні) за період понад десять років.

3.9 Розподіл радіаційного тепла по території

Районування (диференціація) території визначається за тепловим показником (сумарна кількість тепла, що надходить на земну поверхню) залежно від географічного положення й орієнтації місцевості. Частина сонячної радіації відбивається від поверхні Землі, а частина поглинається нею. Надходження тепла на земну поверхню характеризує поглинута радіація.

Кількість радіаційного тепла, одержуваного тією або іншою поверхнею, залежить від таких факторів:

- географічної широти місцевості;
- інтенсивності сонячного випромінювання;
- тривалості інсоляції;
- орієнтації поверхні за сторонами обрію;
- прозорості атмосфери;
- від часу доби та пори року;
- альбедо поверхні.

Тривалість інсоляції визначається добовим, місячним або річним ходом Сонця по небосхилу і залежить від географічної широти місцевості – висоти Сонця над обрієм, але розподіляється на земній поверхні не чітко зонально, тому що її надходження залежить також від хмарності й прозорості атмосфери і суттєво змінюються протягом року.

На інтенсивність сонячного випромінювання суттєво впливає хмарність, тому західні території України, де спостерігається більше хмарних днів, отримують протягом року менше сумарної сонячної радіації, ніж східні території на тих самих широтах.

Південь країни отримує за рік більше сонячної радіації, ніж північ, оскільки полуднева висота Сонця на півдні щодня вища, ніж на півночі. Основна частина сонячної радіації надходить із травня до вересня, коли збільшується тривалість сонячного сьйва.

Річна кількість сумарної сонячної радіації в межах України змінюється від 3 500 МДж/м² (у північно-західних районах) і 4 000 МДж/м² (у північно-східних) до 5 200 МДж/м² на півдні Криму. Лісостепова зона за рік отримує 4 190 МДж/км² сонячної радіації, а річний радіаційний баланс становить 1 800–1 850 МДж/км². В умовах Карпат

сумарна річна сонячна радіація змінюється від 3 770–4 106 МДж/м² у Передкарпатті до 4 399 МДж/м² на Закарпатській низовині. Річний радіаційний баланс степової зони змінюється від 4 100 МДж/м² (на півночі) до 5 320 МДж/м² (на півдні). Завдяки цьому степова зона має найбільші теплові ресурси.

За рівнем інтенсивності сонячного випромінювання на території України виділяють чотири зони (рис. 3.17). У першій та другій зонах знаходяться всі південні області України; більше половини території знаходяться в третій зоні, у четвертій зоні найменша інтенсивності сонячного випромінювання.

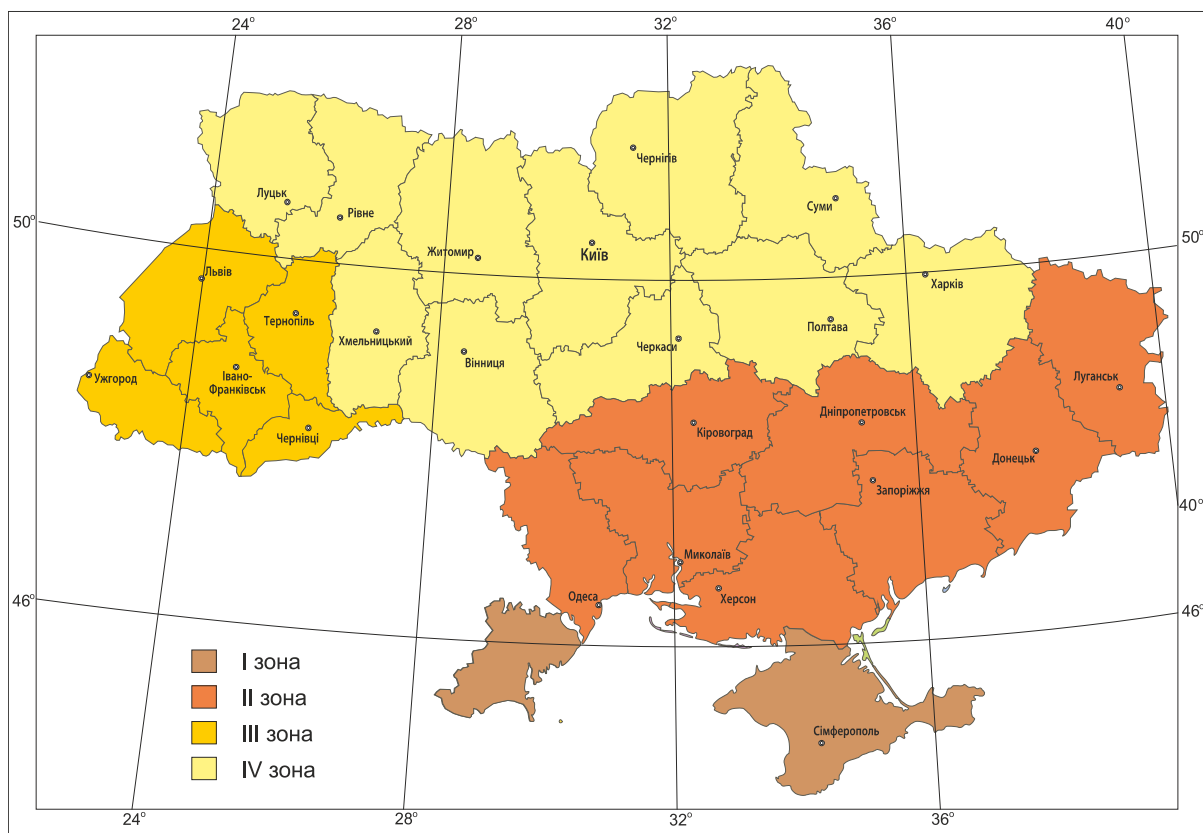


Рисунок 3.17 – Інтенсивність сонячного випромінювання на території України за ДСТУ–Н Б В.1.1–27:2010 [47]

Розрахунки прямої та розсіяної сонячної радіації проведено за результатами вимірів мережі актинометричних станцій України. За побудованими картами просторового розподілу прямої та розсіяної радіації по території для окремих місяців визначено радіацію в обласних центрах [47].

Під час розрахунків і вимірювань кількості тепла, що надходить на поверхню від сонячної радіації, розглядається вертикальні або горизонтальні поверхні відповідної орієнтації по сторонах обрію.

Контрольні запитання

1. Які основні принципи районування території Землі?
2. Назвіть особливості основних кліматів Землі.
3. Назвіть основні принципи класифікації кліматів за фізико-географічними умовами?
4. На чому ґрунтується дорожньо-кліматичне районування території?
5. У чому сутність нової методики світлокліматичного районування території?
6. Які основні кліматичні показники покладено в основу кліматичного районування для будівництва?
7. Які основні параметри покладені в основу районування території за ефективними температурами?
8. Для яких районів складене кліматичне районування території за вітровим режимом?

РОЗДІЛ 4 ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНИЙ КОМПЛЕКС

4.1 Поняття природно-кліматичного комплексу

Природний комплекс – це частина земної поверхні з відносно однорідними природними умовами: кліматом, рельєфом, ґрунтами, водами, рослинним і тваринним світом (рис. 4.1).

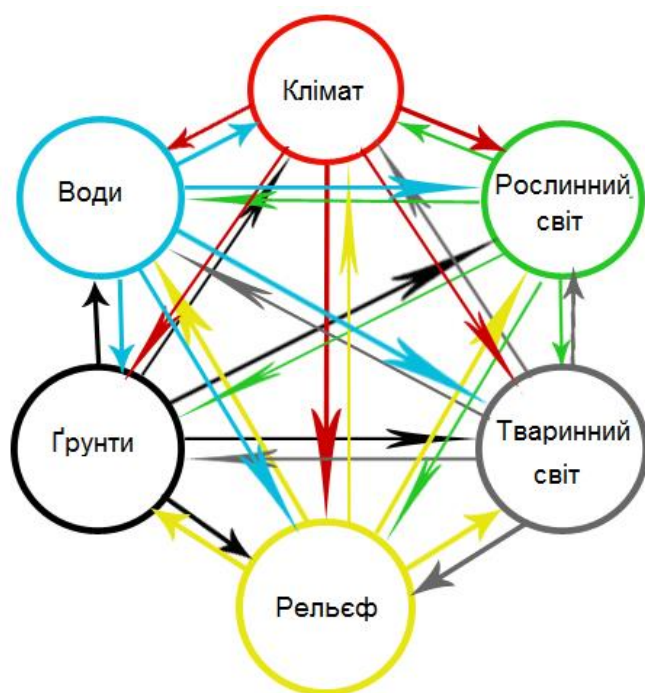


Рисунок 4.1 – Природно-кліматичний комплекс [57]

Найбільшим загально-планетарним природним комплексом є географічна оболонка Землі, яка підрозділяється на природні комплекси дрібнішого рангу. Розподіл географічної оболонки на природні комплекси обумовлено насамперед кількістю сонячного тепла і неоднорідністю земної поверхні. Варто згадати, що саме за такими принципами побудовано класифікацію кліматів Л. С. Берга, яка показує, що між кліматом, рельєфом, ґрунтовим покривом і рослинністю спостерігається тісна взаємодія, завдяки чому зміна одного з компонентів рано чи пізно призводить до зміни інших.

Важливою складовою природно-кліматичного комплексу є кліматичні умови – багаторічні характеристики клімату, найважливішими з яких є сонячна радіація, температурний режим, відбивна здатність поверхні, тривалість безморозного періоду, річна кількість опадів, вага снігового покриву, глибина промерзання і відтавання ґрунту, вітровий режим, вологість повітря, стан погоди за сезонами року, тривалість цих сезонів.

Рослинність і тваринний світ є об'єкти природи й, одночасно, рекреаційними ресурсами території. Рослинність оцінюється з погляду ступеня щільності лісу, його природного і вікового складу. Тваринний світ має промислову цінність як об'єкт природи й характеризується за видовим складом і динамікою його зміни. Рідкісні види рослин і тварини підлягають охороні.

4.2 Поняття макро-, мега- і мікроклімату

За класифікацією Л. С. Берга визначено типи кліматів великих територій, у межах яких можуть відчутно змінюватися кліматичні явища – макроклімати. Під макрокліматом мають на увазі сукупність погодних умов, обумовлених факторами, притаманними великим територіям – регіонам, зонам і географічним поясам: циркуляційними повітряними процесами, географічною широтою місцевості, віддаленістю від океанів і морів, макрорельєфом.

Залежно від просторості територій в межах макроклімату, виділяються мезоклімат і мікроклімат.

Мезоклімат – клімат, що формується під впливом однорідних природних умов і конкретної ландшафтної ситуації, (лісового масиву, морського побережжя, ділянки річкової долини, міжгір'я, улоговини), що обумовлюють особливості надходження сонячної радіації, орографії, стану підстильної поверхні і визначають своєрідність радіаційного, теплового й водного балансів, режиму температури, вологості повітря і ґрунту, швидкості вітру та інших метеорологічних величин.

Мезомасштабні відмінності кліматичних параметрів простежуються на площі до 100 км² із висотою рельєфних утворень до 1 000 м. Вони притаманні гірським системам, узбережжям океанів, морів, великих річок.

Мезоклімат і мікроклімат багато в чому визначає режим опадів і вітру, інтенсивність танення снігу, характер приморозків, туманів, тривалість розвитку рослин тощо.

У межах міського середовища утворюється мезоклімат міста як результат взаємодії загальнокліматичних явищ із містобудівними факторами.

Мікроклімат – клімат приземного шару повітря, обумовлений мікромасштабними відмінностями земної поверхні. Вплив топографічних чинників на клімат відчувається на узбережжях малих річок, озер, на територіях з горбистим рельєфом, строкатістю ґрунтово-рослинного покриву.

Наприклад, у кліматі лісового масиву розрізняють мікроклімат лісових полян і узлісся. Окремі локальні ділянки території міст залежно від факторів місцевого масштабу, наприклад: штучних покриттів; зелених насаджень, характеру забудови, забрудненості повітря, захищеності від вітрів, утворюють свій особливий клімат – мікроклімат площ, провулків, скверів, дворів. Фітоклімат – атмосферні умови в середовищі поширення

рослин: у травостої, у кронах дерев тощо. З віддаленням від земної поверхні відмінності мікроклімату швидко нівелюються.

Поняття «мікроклімат» має два значення: клімат невеликих просторів, наприклад, схилу гори, яру, прибережної смуги водойм, і клімат приземного шару повітря, у якому живуть і працюють люди. Саме в цьому шарі відбуваються взаємодія атмосфери з земною поверхнею, тому режим метеорологічних елементів тут має свої особливості.

Мезоклімат і мікроклімат багато в чому визначає режим опадів і вітру, інтенсивність танення снігу, характер приморозків, туманів, тривалість розвитку рослин тощо.

Межі впливу неоднорідності підстильної поверхні на мезо- і мікроклімат з урахуванням типу поверхні, її горизонтальних розмірів і вертикального розчленування було запропоновано Є. Н. Романовою [98] й наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Критерії для визначення мезоклімату, мікроклімату (за Є. Н. Романовою)

Неоднорідність підстильної поверхні		Масштаб збурення	
Тип	Характеристика	Горизонтальний	Вертикальний
Мезоклімат			
Гірський рельєф	Система гір		
Горбистий рельєф	Масиви площею більше ніж 100 км ²		
Річки	Ширина більше ніж 1 км		
Озера, моря, океани	Площа дзеркала 50–100 км ²		
Ґрунтово-рослинний покрив	Масиви площею більше ніж 100 км ²	Менше ніж 100 км	1 000 м
Велике місто	Район міста		
Мікроклімат			
Гірський рельєф	Окремі ділянки		
Горбистий рельєф	Окремі горби або групи горбів		
Річки	Ширина менше ніж 1 км	Менше ніж 10 км	100–200 м
Озера, ставки	Площа дзеркала менше ніж 50 км ²		
Ґрунтово-рослинний покрив	Масиви площею менше ніж 100 км ²		
Місто, селище	Окремі будинки, вулиці		

Стосовно впливу на організм людини, мікроклімат – це комплекс фізичних факторів навколишнього середовища в відокремленому просторі, який впливає на тепловий обмін людини.

4.3 Оцінка складових природно-кліматичного комплексу

Під час містобудівного проєктування враховують основні складові природно-кліматичного комплексу: кліматичні показники (радіаційний режим, денна і нічна температура повітря, вологість, опади, вітровий режим), а також природні й антропогенні фактори (грунтово-рослинні й гідрогеологічні умови).

Вони впливають як на вибір території для населеного місця загалом, так і на планувальне і функціональне використання міської території.

Оцінювання інженерно-геологічних умов території проводять під час складання концепцій і програм розвитку регіонів, під час розроблення містобудівної документації, під час обґрунтування інвестицій у будівництво. Метою цих досліджень є забезпечення комплексного вивчення інженерно-геологічних і гідрогеологічних умов району будівництва, включаючи рельєф; геологічну будову території, її тектонічну і сейсмічну активність, наявність, площу розповсюдження і умови залягань корисних копалин; склад, стан і властивості ґрунтів.

Вивченню підлягають природні геологічні та інженерно-геологічні процеси, прогноз їхніх змін. У період будівництва і експлуатації під впливом антропогенних процесів. Результатом досліджень є обґрунтування придатності території для будівництва, рівень залягання ґрунтових вод, можливість затоплення або підтоплення території, склад захисних заходів, що забезпечують раціональне освоєння територій і охорону довкілля, а також кошторис освоєння територій [20].

Поняття геологічна будова містить у собі особливості території, її тектонічну і сейсмічну активність, умови залягань і обробки корисних копалин, площу їхнього розповсюдження. Важливими є характер і умови залягання ґрунтів, їхній склад, стан і властивості, особливості рельєфу, глибина сезонного промерзання, типи, закономірності поширення, глибини залягання і режим підземних вод, їхній склад і мінералізація, агресивність стосовно будівельних матеріалів.

Особливої уваги потребують території з розповсюдженням карсту, зсувонебезпечні та зі специфічними типами ґрунтів.

Леси та лесовані ґрунти розповсюджені майже на 80 % території України – у сухому стані ці ґрунти відрізняються великою міцністю і можуть бути надійними основами. Їхньою відмінною особливістю – є деформація у вигляді осідання, яка відбувається під впливом зовнішнього навантаження або під власною вагою за умови зволоження.

Карсти – створення пустот і провалів унаслідок розчинення, вилугування і вимивання порожнин у гірських породах поверхневими чи підземними водами. В Україні карст поширений у Карпатах, на Поділлі, Донбасі, Криму. Загалом карстові процеси розвиваються на 60 % території України. В деяких областях України рівень ураження карстовими процесами сягає 60–100 % території [64].

Гідрогеологічні умови – це наявність водоймищ (морів, річок, озер, ставків) та їхні особливості (густина річкової мережі, ухили річища, їхня довжина, ступінь хвилястості, ширина річища, швидкість течії та глибина річок, площа дзеркала ставків, озер).

Наявність великої річки або моря визначає планувальну структуру міста і його специфіку – курорт із певним режимом або портове місто. У такому місті розміщують відповідні промислові підприємства (суднобудівництво, рибний промисел, харчова промисловість тощо), які й стають основним містоутворювальним фактором. Водоймища є джерелом водопостачання міста, організації водного транспорту.

Наявність великих річок або морів значно впливає на мікроклімат. У таких умовах створюється зазвичай особливий вітровий режим, викликаний різницею нагріву моря і суші, що значно пом'якшує мікроклімат.

Ландшафт є основною одиницею фізико-географічного розподілу природи земної поверхні. Компонентами ландшафтів є гірські породи, вода, лід, сніг, ґрунт, повітряні маси, рослини.

Кожний компонент природи має свою будову, властивості, швидкість реакції на вплив процесів, зумовлених променевою сонячною енергією та внутрішньою енергією Землі.

У містобудівному проектуванні під час розробки генеральних планів міст, проектів планування і забудови міських територій рельєф місцевості має велике значення. Рельєф є однією з основних складових проекту. Саме він значною мірою визначає вигляд міста і його планувальну структуру. Неврахування особливостей рельєфу спричиняє здороження будівництва, складності з розміщенням основних елементів міста, прокладання доріг, інженерних комунікацій. За своїм морфологічним характером рельєф розподіляється на простий, середній та складний (рис. 4.2).

Простий (рівнинний) – характеризується малою різницею висотних позначок підвищених і понижених місць, відсутністю пагорбів і яруг (рис. 4.2, а). Недоліками цього типу рельєфу в будівельному відношенні є ускладнення під час улаштування самопливної каналізації й організації відведення атмосферних вод через недостатність ухилів. В архітектурному

аспекті плоский рівнинний рельєф не дуже виразний, що не надає можливості ширше використати територію для вирішення планувальних рішень, перешкоджає створенню містобудівних доміант, надає монотонність міському пейзажу. У той же час надає можливість використання архітектурних засобів формування середовища (рис. 4.3).

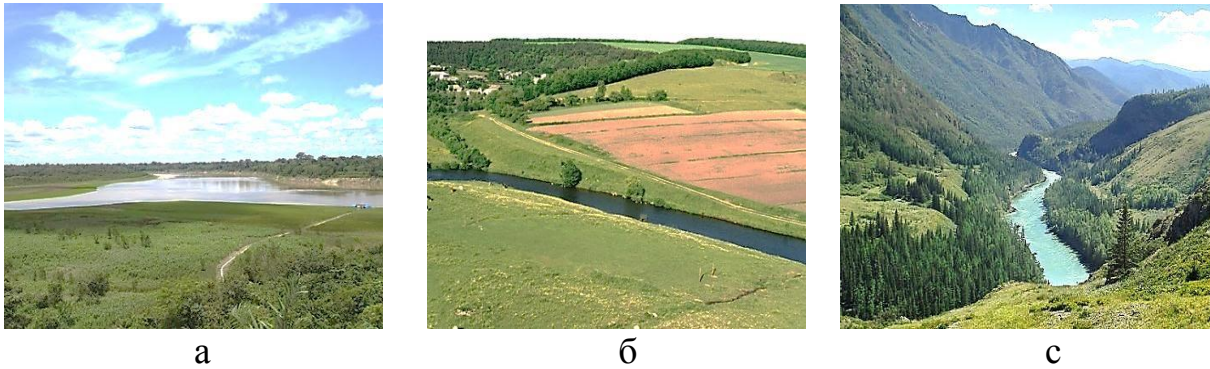


Рисунок 4.2 – Види рельєфу: а – рівнинний; б – середній; в – складний [57]



Рисунок 4.3 – Містобудівні рішення на простому рельєфі
(<https://turvopros.com/burdzh-halifa-v-dubae/>)

Середній (належність пагорбів) – характеризується сполученням водорозділів долин, пагорбів, улоговин, невеликих яруг (рис. 4.2, б). Цей рельєф найоптимальніший для раціонального розміщення всіх елементів міста, проведення земляних робіт, трасування вулиць і доріг, прокладання

мереж самопливної і зливової каналізації, дозволяє прийняти більш виразні архітектурні рішення (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 – Містобудівні рішення на середньому рельєфі, м. Київ [57]

Складний (гірський) – характеризується різкими крутими схилами, глибокими долинами та яругами, іноді горами. Різновидом складного рельєфу є гірський рельєф, який становить сполучення високих гір, ущелин із крутими схилами (рис. 4.2, в). Гірський рельєф ускладнює планувальні рішення міста, впливає на розміщення його елементів (сельбищну, виробничу та рекреаційну зони), впливає на трасування вулиць і магістралей, на прокладання інженерних мереж. Інколи виникає необхідність спорудження мостів, шляхопроводів, підпірних стінок, тимчасових споруд, і вимагає великих обсягів земельних робіт, ускладнює будівництво. Але в архітектурному відношенні складний рельєф є сприятливим (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 – Містобудівні рішення на складному рельєфі [57]

Планування забудови й типи будинків, які обирають, залежать від ступеня складності рельєфу крутості рельєфу. На територіях, де ухил рельєфу не перевищує 3–5 %, використовують звичайні типи будинків. Якщо ухил не перевищує 10 %, варто застосовувати індивідуальні рішення цоколя для звичайних будинків.

Наявність складного рельєфу не є перешкодою для житлового будівництва, хоча й накладає певні обмеження під час вибору типів забудови. Зведення будинку на схилі

здебільшого можливе. Завдання архітектора – недоліки й проблеми ділянки перетворити в переваги.

У проектуванні будинків на схилах існує багато складнощів і маса переваг. Це і приголомшливий панорамний вид, і можливість влаштування гаражів на рівні землі, і нестандартне зонування території. Можна звести житло в кілька ярусів, розділити у такий спосіб будинок на зони різного



Рисунок 4.6 – Будинок на крутому схилі [57]

призначення. Можна розчистити кілька паралельних терас на ширину будівель і побудувати будинок каскадом (рис. 4.6).

Типи будинків для ділянок зі складним рельєфом місцевості поділяються на ступінчасті (терасові й каскадно-секційні) і змінної поверховості.

Будинки каскадно-секційного типу розраховані для будівництва на схилах з ухилом від 7 % до 17 %. Вони складаються з секцій рівної висоти, зсунутих по вертикалі на півповерху або на поверх відповідно ухилу ділянки (рис. 4.7).



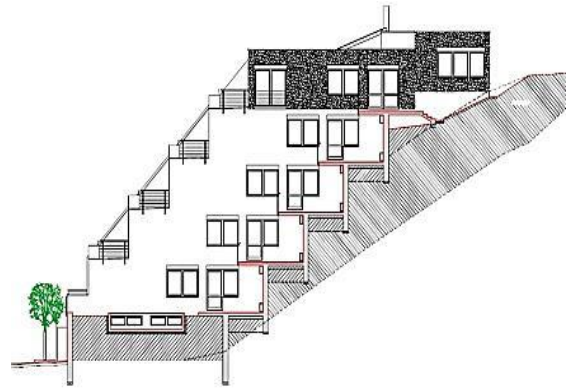
Рисунок 4.7 – Будинки каскадно-секційного типу [57]

Таке планування дозволяє влаштовувати підземні й напівпідземні паркінги під будинками без додаткових рамп.

Терасові будують на схилах із крутим ухилом не менше 25–30 %. Особливістю таких будинків є наявність у кожному поверсі приватного простору для відпочинку – тераси (рис. 4.8). У той же час такі будинки виконують роль підпірних стін, що запобігають руйнуванню схилу.



а



б

Рисунок 4.8 – Терасові будинки: а – зовнішній вигляд; б – переріз [57]

Будинки змінної поверховості придатні для розміщення на схилах будь-якої крутості. Вони мають покрівлю на одному рівні й змінну кількість поверхів у різних частинах будинку (рис. 4.9). Ці будинки розташовують довгою стороною поперек або по діагоналі схилу.

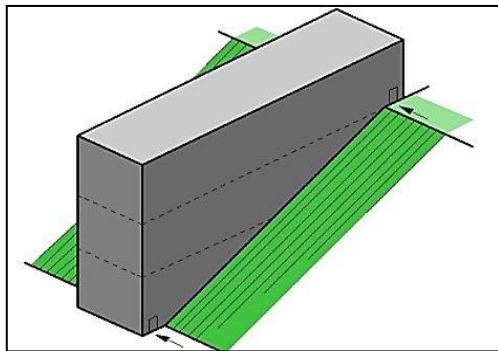


Рисунок 4.9 – Будинок змінної поверховості (схема) [57]

Ділянки зі складним рельєфом використовують для будівництва точкових висотних будинків-веж, що дозволяє враховувати мікрорельєф і найбільш економічно використовувати територію (рис. 4.10).

Найважливішим фактором у містобудівництві є експозиція – орієнтація схилів за сторонами обрію.

Оптимальною вважається орієнтація на південь і південний схід. Території, розташовані на південних схилах, отримують більшу кількість сонячної радіації, і є найбільш сприятливими для розміщення сільбищних територій, особливо в північних районах.

Схили, орієнтовані на захід, створюють власникам будинків проблеми з надлишковим освітленням сонячними променями в другій половині дня.

Для південних регіонів більш сприятливими є схили, що орієнтовані на північ унаслідок перевищеної сонячної



Рисунок 4.10 – Будинок-вежа на складному рельєфі [57]

радіації. У таких регіонах необхідно влаштовувати заходи захисту від надлишкової радіації.

На формування мезоклімату й мікроклімату вирішальне значення мають експозиція схилів і форми рельєфу. Наприклад, найвищі температури спостерігаються на південно-східних схилах. Різниця у нагріванні ґрунту на південних і північних схилах може досягати 10 °С. На південних схилах рослини зацвітають раніше порівняно з північними або прилеглими долинами.

Вплив рельєфу чітко виявляється у розподілі мінімальних температур і тривалості безморозного періоду. Різким коливанням температури сприяють і місцеві вітри. Зокрема, вночі з вершин і високих схилів надходить холодне повітря, а на зміну йому піднімається тепле. У результаті між вершиною і долиною виникає різниця температур, яка може досягати 8–12 °С. У долинах більше накопичується вологи, завдяки сталому снігу.

Навесні південні схили звільняються від снігу на 10–15 днів раніше. На вершинах гір і високих схилах тривалість безморозного періоду на 20 днів довша, а в долинах на 15 днів коротша порівняно з рівнинною місцевістю.

На підставі отриманих даних розробляють висновки про рельєф території та позначають:

- а) водоподіли, тальвеги, басейни стоку;
- б) ділянки з ухилом 0–3 %, 3–5 %, 5–10 %, 10–20 %;
- в) межі захисних зон водоймищ;
- г) межі території, що затоплюється під час повені;
- д) ділянки з найкращими з погляду мікроклімату умовами;
- е) ділянки, несприятливі для будівництва.

4.4 Виявлення основних форм рельєфу і методів їхнього зображення на топографічній підоснові

Оцінка мікроклімату з архітектурною метою передбачає аналіз мікрокліматичної мінливості основних елементів клімату (пряма сонячна радіація і вітри) під впливом підсильної поверхні – ландшафту й забудови міста.

Основним завданням аналізу є встановлення придатності території для будівництва нового міста, а також пристосування її для розміщення тих чи інших функціональних зон.

Детальний аналіз мікроклімату території проводиться на топографічній підоснові (використовують карту масштабу 1:10 000–1:20 000) шляхом уведення виправлень до відповідних кліматичних характеристик залежно від висоти місця, форм рельєфу, експозиції схилів, наявності водойм тощо.

У правому верхньому куті топографічної схеми накреслюють розу вітрів за даними району будівництва.

Вивчення рельєфу місцевості починають з виявлення основних форм рельєфу і методів їхнього зображення на топографічній підоснові; виявлення мінімальних і максимальних ухилів, а також ділянок, придатних для житлового й промислового будівництва (рис. 4.11).

Складність рельєфу визначається ухилами і вимірюється у відсотках (%) або в проміле (‰). Ухил у 1 % – це такий перепад відміток, коли на 100 м відстані отримується різниця в 1 м.

Вивчення рельєфу місцевості варто розпочинати з виявлення мінімальних і максимальних ухилів, ділянок, що є придатними для будівництва.

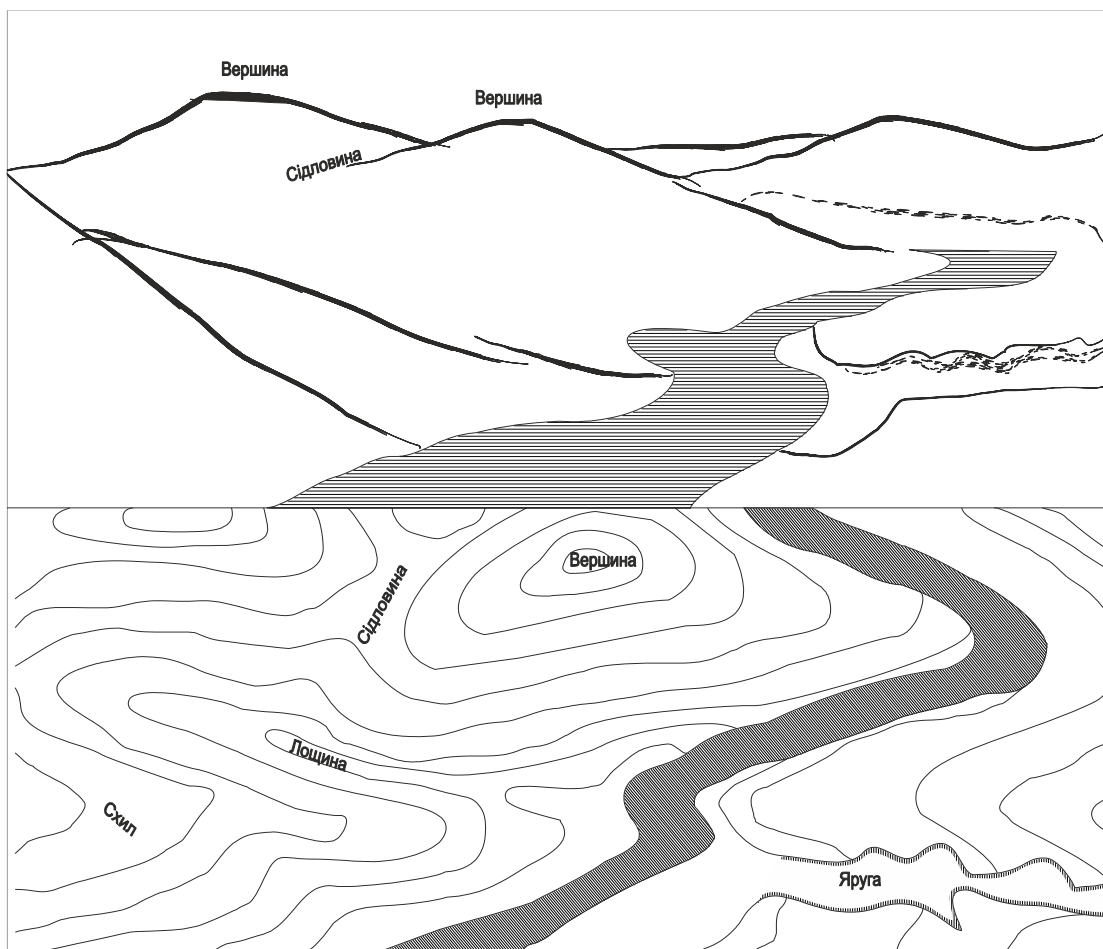


Рисунок 4.11 – Основні форми рельєфу [57]

Найбільш придатною територією для будівництва міста є та, де ухили рельєфу знаходяться в межах 0,5–5 %. Територія, де ухили досягають 5–10 %, є обмежено сприятливою для забудови міста. Ділянки, де ухили перебільшують 10 %, вважаються несприятливими для багатоповерхової забудови. Ці ділянки доцільно використовувати для розміщення районів малоповерхової забудови. Для розміщення промислових районів найбільш придатними є території, де ухили дорівнюють 0,3–3,0 %. Оцінка території за ухилами проводиться з урахуванням таких градацій: до 3 %, 3–5 %, 5–10 %, 10–20 % і понад 20 %.

З погляду придатності для різних видів використання рельєфу класифікують за такою шкалою (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Класифікація рельєфу за крутістю

Ухил, %	Будівельна оцінка рельєфу
0,5	Сприятливий для розміщення забудови, трасування вулиць і доріг, несприятливий для організування стоку поверхневих вод і прокладання сітей
0,5–3	Сприятливий і задовольняє потребам забудови, прокладання вулиць і доріг. Вертикальне планування не потребує складних заходів
3–5	Сприятливий для планування і забудови, але створює деякі складнощі в розміщенні будівель, плануванні міських площ і трасуванні вулиць
5–10	Викликає великі складнощі в плануванні й прокладанні інженерних мереж. Потребує складних робіт із перебудови рельєфу
10–20	Несприятливий для розміщення забудови. Найбільш пристосований для індивідуального будівництва
>20	Дуже несприятливий для планування забудови. Викликає великі труднощі під час вертикального планування

Мінімальний і максимальний ухили на місцевості визначають за формулою:

$$i_{\min}^{\max} = \frac{h}{L_{\min}^{\max}} \times 100\% \quad (4.1)$$

де h – перевищення між відмітками;

L_{\min}^{\max} – відстань.

Для визначення відстані між горизонталями при заданому рельєфі формула набуває вигляду:

$$L = \frac{h}{i}, (м) \quad (4.2)$$

За допомогою формули (4.2) розраховують відстань між горизонталями, що відповідає зазначеним вище ухилам. Наприклад, для промислового будівництва придатні ділянки з ухилом 0,3–3 %, тоді відстань між горизонталями становить:

$$L_{\min} = \frac{h}{i} = \frac{h}{0,03}, (m) \quad (4.3)$$

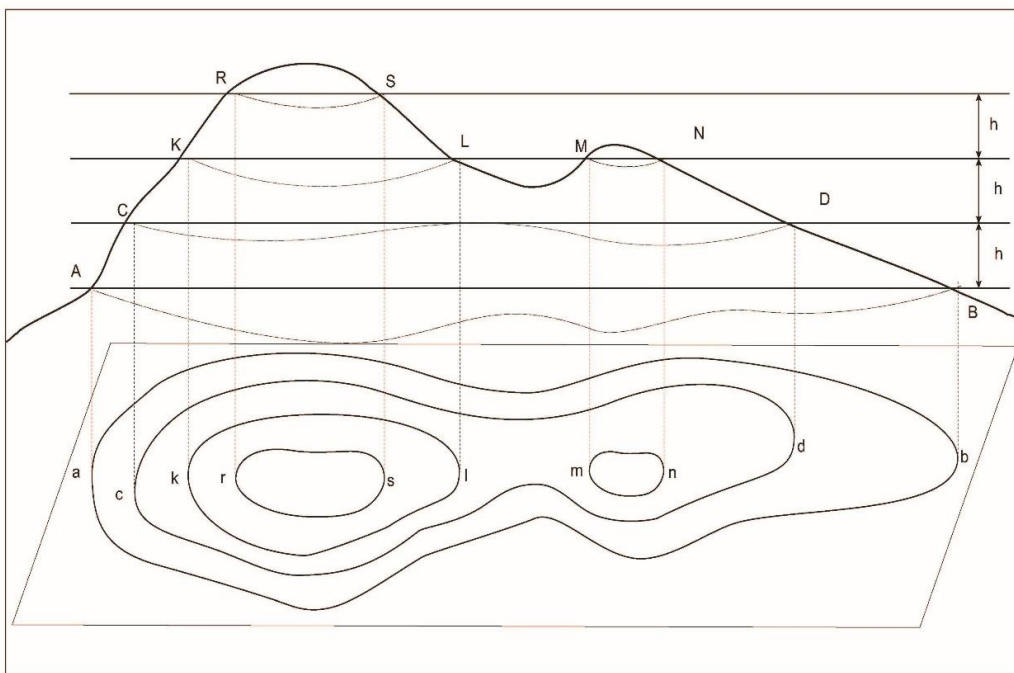


Рисунок 4.12 – Спосіб зображення рельєфу горизонталями [57]

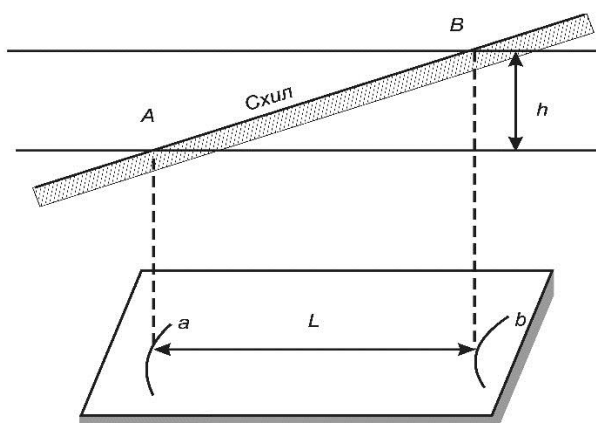


Рисунок 4.13 – Схема визначення ухилів рельєфу [57]

Враховуючи масштаб (1 : 10 000–1 : 20 000), визначають, яким відстаням між горизонталями (мм) відповідає той чи інший ухил.

На практиці різних ухилів на топографічній схемі місцевості можна застосувати нескладне пристосування у вигляді пластинки з прозорого матеріалу з круглими отворами, діаметр яких дорівнює відстаням між

горизонталіями відповідних кутів нахилу. Переміщуючи пластинку уздовж горизонталей, знаходять її граничне положення між двох горизонталей («заклинюємо» коло між сусідніми горизонталіями), відзначають олівцем це положення й з'єднують точки переходу ухилів (рис. 4.14).

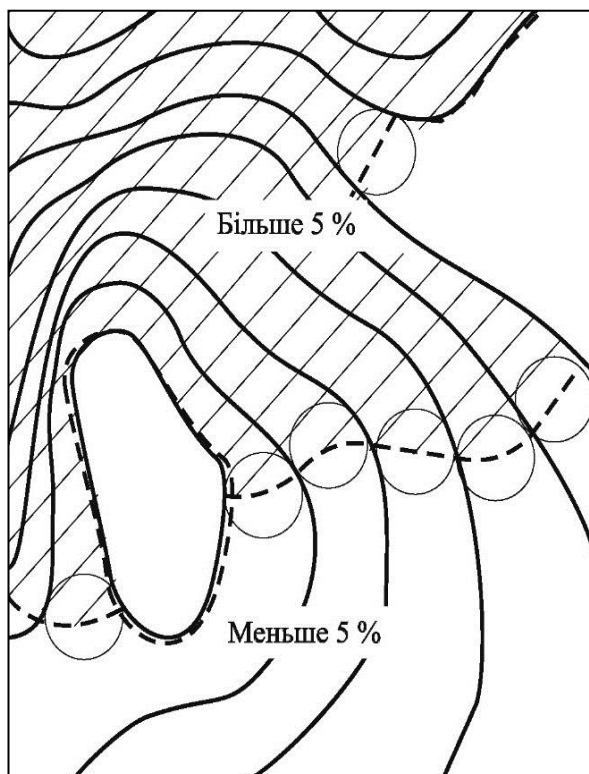


Рисунок 4.14 – Схема побудови контуру ділянок різних ухилів [57]

Результатом оцінки рельєфу є карта розчленування рельєфу за геоморфологічними характеристиками й рекреаційно-естетичними особливостями території і рекомендації щодо придатності території для розміщення основних функціональних зон міста.

4.5 Аналіз основних кліматичних факторів і їхнього сполучення

Під час розроблення генеральних планів міських територій, проектів забудови і озеленення намагаються забезпечити найліпші мікрокліматичні умови всередині житлових утворень і ландшафтно-рекреаційних зон. Разом із цим необхідно враховувати природні особливості району будівництва: кількість сонячної радіації, температуру повітря, вітровий режим, можливість великих снігових відкладень, а також їхню сумісну дію.

Відчуття комфортності житлового середовища значною мірою залежить від сумарного впливу кліматичних факторів: температури й відносної вологості повітря, сили й напрямку вітру, рівня сонячної радіації та інших факторів.

Критерієм оцінки цього впливу на організм є тепловідчуття людини. Тепловий комфорт – це комплекс метеорологічних умов, за яких терморегуляторна система знаходиться в стані найменшого напруження. Швидкість вітру більшою мірою, ніж інші кліматичні чинники, впливає на тепловідчуття людини як результат зміни інтенсивності тепловтрат шляхом випаровування з поверхні шкіри, а також тепловіддачі через конвекцію і випромінювання [57].

Матеріал, товщина, конструктивні рішення і ступінь довговічності зовнішніх стін будинків також значною мірою визначаються природно-кліматичними умовами району будівництва.

У процесі експлуатації стіни знаходяться під впливом різних факторів зовнішнього середовища: температури і вологості зовнішнього повітря; виду, кількості і характеру випадання опадів; вітрового режиму; дії сонячної радіації, а також одночасної дії декількох факторів, наприклад, низької температури і вітру, високої температури і сонячної радіації, дощу з вітром і мокрим снігом.

Спільні дії можуть призводити до надмірного переохолодження та перегрівання конструкцій. Виникнення таких ситуацій має бути враховано як на стадії проєктування, так і в процесі експлуатації стін. Під час проєктування житла враховують дію всіх проявів сонячної радіації – теплової, світлової і ультрафіолетової складової, яка, зокрема, є основним критерієм орієнтації приміщень житлових будинків за сторонами обрію.

Сонячна радіація характеризується кількістю випромінювання на горизонтальну та вертикальну поверхні й ультрафіолетовим кліматом, оцінювання яких проводиться на основі нормативів будівельної кліматології [47].

Аналіз радіаційно-теплогового режиму з архітектурною метою передбачає переважно оцінку впливу сонячної радіації на теплове тло.

Для міських територій, крім теплового впливу, є важливим ультрафіолетова складова сонячного опромінення. Саме за цим показником нормують інсоляційний режим.

Оптимальна кількість добових сум прямої сонячної радіації, що надходить на вертикальні поверхні, знаходиться в межах 6,29–12,56 МДж/м² (1 500–3 000 ккал/м²), менші суми вважають недостатньою, а більші надлишковою радіацією.

Інсоляція території житлової забудови забезпечується відповідною орієнтацією фасадів будинків по сторонах обрію, взаємним розташуванням і загальним характером планувальної структури. Мінімальна відстань між житловими будинками визначається залежно від поверховості, протипожежних норм і вимог до інсоляції.

Результатом аналізу характеристик сонячної радіації є оцінка сторін обрію за умовами теплового опромінення стін будинків, проведена з урахуванням нормованого обмеження орієнтації житлових приміщень на північну частину горизонту.

Критерії оцінки вітрового режиму наведені в підрозділі 2.2. У період передпроектних досліджень під час містобудівного проектування визначаються показники вітрового режиму:

- переважний напрямок вітру;
- швидкість вітру з максимальною повторюваністю;
- визначається необхідність захисту пішохода від вітру взимку.

Ці показники використовуються для вирішення планувальних рішень, пов'язаних із розташуванням промислових підприємств відносно сельбищної території, визначенням меж санітарно-захисних зон, із вибором оптимальної орієнтації вулиць і будівель, конфігурації забудови, типів житлових будинків, організації благоустрою дворових просторів.

У літню пору вітер знижує відчуття перегріву, а в зимовий час збільшує відчуття холоду. За температури від 20 °С до 28 °С вітер швидкістю до 2,5 м/с є комфортним, за температури від 28 °С до 33 °С вітер швидкістю 3,5–4,0 м/с охолоджує, що покращує відчуття людини. За температури повітря, близької до температури шкіри або вищої, вітер знищує шар повітря навколо тіла людини, що погіршує відчуття.

За температури менше ніж 10 °С сприятливою є швидкість вітру, яка забезпечує аерацію території – від 1 м/с до 1,5 м/с. Якщо швидкість вище, то необхідно захищати пішохода від вітру, а за швидкості 4,0 м/с обов'язково враховується охолодження стін будинків.

Територія забудови оцінюється в умовних одиницях (Н), що становлять сполучення низьких температур і швидкості вітру за напрямками [106]. Ступінь вітроохолодження будинків у холодний період року можна визначити за допомогою спеціального графіка (рис. 4.15).

Сполучення сильних вітрів зі снігом призводить до утворення хуртовин, які є головним джерелом снігових відкладень. Під дією вітру снігові частки піднімаються над поверхнею снігового покриву і знову відкладаються там, де швидкість вітру знижується. Часті завірюхи зі значними перенесенням снігу ускладнюють експлуатацію сельбищних територій.

Перенесення снігу починається за швидкості вітру більше 3–5 м/с, коли дрібні частинки снігу змішуються з приземним повітрям і утворюють турбулентний сніговітровий потік.

Основний показник снігоперенесення – обсяг снігу, перенесеного в зимовий період. Він залежить від швидкості вітру, місцевих особливостей рельєфу, тривалості зимового періоду, кількості снігових опадів за зиму, висоти снігового, площі снігозбірного басейну, належності рослинності.

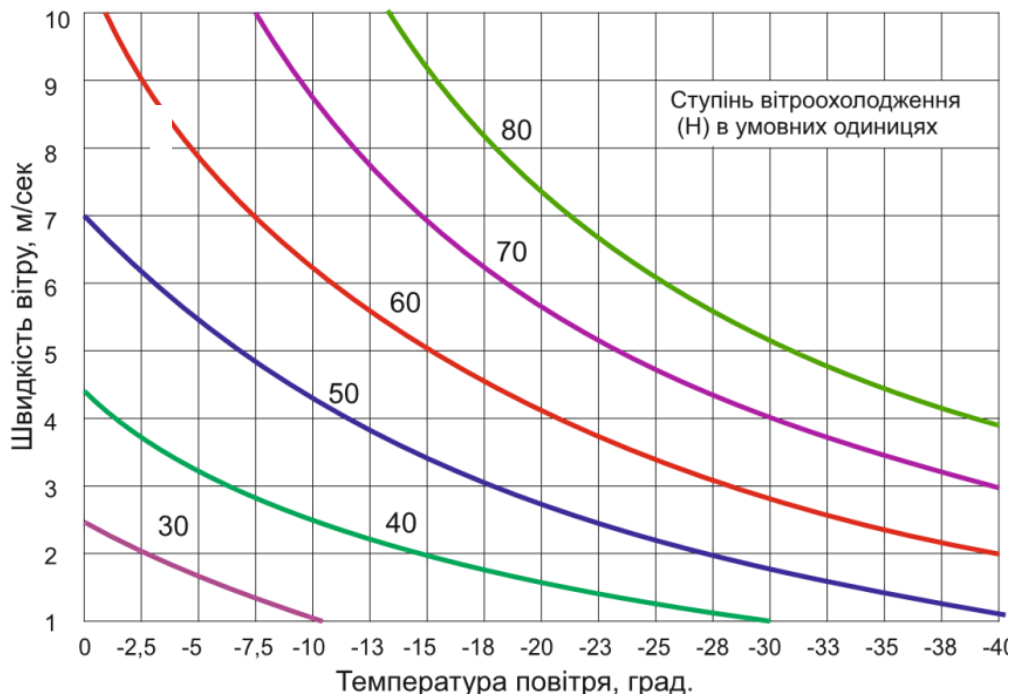


Рисунок 4.15 – Схема вітроохолодження будинків [57]

Розроблення спеціальних заходів запобігання снігоперенесенню варто проводити в районах зі сніговим покривом більше 50 см, за обсягу снігоперенесення в межах 150–200 м³/м.

Контрольні запитання

1. Що таке природно-кліматичний комплекс?
2. Які основні фактори мікроклімату?
3. Як класифікуються типи рельєфу місцевості?
4. З чого складається аналіз природних умов та ресурсів?
5. Назвіть етапи оцінки території за природними умовами.
6. Назвіть основні температурні показники, які впливають на клімат місцевості.
7. Назвіть основні види вологості повітря.
8. Які основні параметри визначення вітру?
9. Як впливають кліматичні фактори на формування міських просторів?

РОЗДІЛ 5 ФОРМУВАННЯ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Вплив кліматичних факторів на проєктні рішення

У зв'язку зі зростання великих міст виникла потреба в освоєнні нових територій, зокрема, порушених та обмежено придатних для житлового будівництва. Формування забудови на цих територіях вимагає ретельного вивчення особливостей місцевого клімату і методів його регулювання за допомогою планувальних засобів, для створення комфортних умов життєдільності людини [18]. Тому у 2018 було впроваджено новий ДБН Б.2.2–12:2019 «Планування і забудова територій» [36].

У житлових приміщеннях людина проводить більшу частину свого часу, відпочиває, виховує дітей, відновлює свої фізичні й духовні сили; житло експлуатується протягом усього року, усього часу доби, має традиції, що йдуть у глибоку старовину. Житло безпосередньо пов'язано із зовнішнім середовищем через ступінь відкритості, наявності літніх приміщень – терас, балконів, лоджій.

Взаємозв'язок архітектурного і природного середовища виявляється через потреби людини: по-перше, людина прагне відгородити себе від шкідливих або небажаних впливів природного середовища, по-друге, використовує корисні для нього властивості природного середовища.

Регулювання кліматичних параметрів житлового середовища з метою формування сприятливого мікроклімату може відбуватись завдяки:

- вибору оптимальних місць розташування для кожної функціональної зони міста;
- максимальному збереженню елементів природного комплексу (ландшафту, рельєфу, зелених насаджень);
- регулюванню кліматичних параметрів відповідними містобудівними, архітектурно-планувальними і конструктивними засобами;
- забезпеченню зорового комфорту на території (благоустрій території для використання малих архітектурних форм і особливостей рельєфу, ландшафтний дизайн і озеленення);
- застосуванню сучасного інженерного обладнання будинків.

За температури зовнішнього повітря більш 21 °С і наявності інсоляції (опромінення прямими сонячними променями) вже можливим стає перегрівання приміщень. За температури більше ніж 28 °С починається перегрівання організму людини, тому необхідно застосовувати засоби

захисту від сонця, використання руху повітря як у приміщенні, так і на території міської забудови.

Важливо враховувати спільний вплив на людину температури і вітру. У перехідні сезони року, за температури зовнішнього повітря, близької до 0 °С, і відносної вологості 70 % і більше необхідний захист пішохода від будь-якого вітру. Узимку за температури до мінус 15 °С – захист бажаний. За температур нижче мінус 35 °С потрібно активно захищати пішохода в місті, аж до критих утеплених переходів. Вітер зі швидкістю більше ніж 4 м/с дратує, за 5 м/с і мінусових температурах викликає різке посилення охолодження будівель (на 10–15 %) і людини.

За швидкості 6 м/с починається перенесення снігу і піску, що вимагає захисту житлових територій міст, за 12 м/с і більше виникають механічні пошкодження елементів будівель.

У сучасній кліматології вітер вимагає особливого обліку під час проектування забудови мікрорайонів (дод. Е). І справа не тільки в необхідності забезпечити стійкість будівель під впливом вітрових навантажень, що зростають залежно від висоти: чим вище будинок, тим частіше виникають потужні вітрові завихрення біля стін, які «атакують» об'єм будівлі, а частина з них запускається донизу та «обвалюється» на пішоходів, які перебувають поблизу будівлі. Виникає нове архітектурне завдання пошуків форми будівлі (зрозуміло, що на формоутворення суттєво впливає клімат), яка б сприяла захисту від пристінних вихорів. Одним із рішень є формування вертикальних об'ємів на широкому подіумі, який сильно виступає за межі цих об'ємів, що мають висоту 2–4 поверхи.

Відносна вологість повітря менше ніж 30 % і понад 70 % несприятлива для людини. Значення від 30 % до 70 % можуть бути сприятливі або несприятливі залежно від температури.

Під час проектування міст, архітектурних комплексів і окремих будинків необхідно враховувати напрямок панівних вітрів та їхню швидкість. За показником інтенсивності дощу швидкістю вітру за таблицею (дод. Б) знаходиться сума опадів, що проходять через вертикальну поверхню, встановлюють зону вологості території (<100 мм/хв – суха зона, 100 ÷ 200 мм/хв – нормальна зона, >200 мм/хв – волога), і розробляють рекомендації щодо захисту стін будівель і споруд [89, 87].

Вітровий режим, на відміну від температури і вологості, можна корегувати під час проектування міських територій. За сильних вітрів захищати територію житлової забудови можуть протяжні будинки, розташовані поперек панівного напрямку вітру (так звані вітрозахисні будинки-екрани).

На відкритих для вітру ділянках міста висотна вітрозахисна забудова є одним із небагатьох способів створення комфортних умов на прибудинковій території. На



Рисунок 5.1 – Вітрозахисна забудова [57]

прибудинковій території. На рисунку 5.1 подано фрагмент забудови, яка виконує вітрозахисну функцію [78].

На конфігурацію забудови, трасування магістралей і архітектуру будинків впливають сполучення вітру зі снігом, дощем і пилом. На таких територіях варто передбачати наскрізне провітрювання забудови. Для цього основні проїзди й поздовжні осі великих

будівель необхідно розташовувати під кутом не більше 45° до переважного напрямку вітрів зимового періоду року і додатково влаштовувати смуги зелених насаджень.

Варто враховувати також особливості відкладення снігу навколо будівлі. Максимальні відкладення утворюються з підвітряного боку будівлі. З навітряного боку безпосередньо перед будівлею створюється «жолоб видування». Тут влаштовуються входи в будівлю, що зменшує їхнє занесення снігом.

Особливо важливо враховувати кліматичні чинники під час забудови тих населених місць Крайньої Півночі, для яких характерно сполучення сильних вітрів і вкрай низької температури повітря.

Для масового будівництва на таких територіях житлові комплекси доцільно споруджувати у вигляді замкнутих дворів, щоб житлові приміщення потрапляли у вітрову тінь дворового простору. Зовнішнє житлове середовище формується системою громадських просторів з вулицями-галереями, що зв'язують житлові будівлі з установами обслуговування.

Одним із найефективніших засобів вітрозахисту житлової території є створення спеціальних вітрозахисних екранів, що розміщуються на навітряних межах забудованої території. Такі екрани, тобто спеціальні житлові будинки, повинні мати достатню протяжність, підвищену поверховість, специфічну об'ємно-планувальну структуру.

Через порівняно невеликі розміри «вітрової тіні» на житлових територіях необхідно застосовувати багаторазову установку вітрозахисних екранів по глибині забудови, створюючи так звані аеродинамічні групи (рис. 5.2).

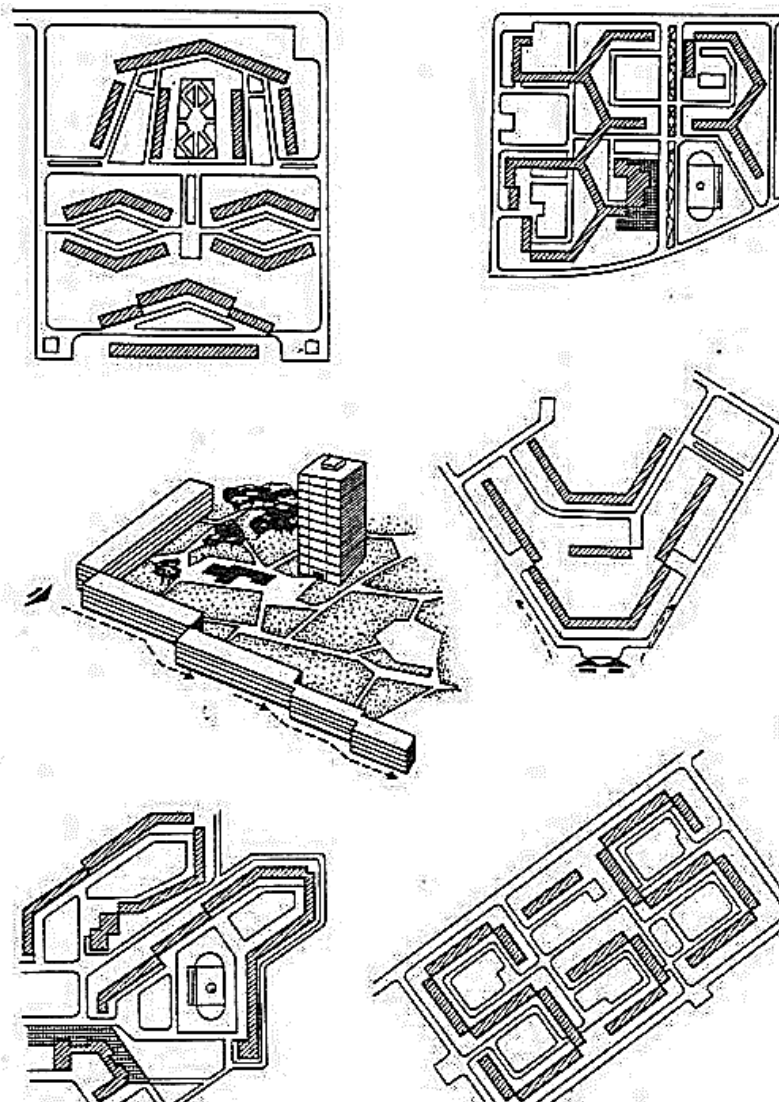


Рисунок 5.2 – Аеродинамічні групи житлових будинків [57]

Під аеродинамічною групою варто розуміти групу будівель, об'єднаних зоною аеродинамічного впливу основної вітрозахисної будівлі. Аеродинамічна група обумовлює задану організацію на її території вітрового режиму, завдані зменшення швидкості вітру та відкладення снігу. Аеродинамічні групи за необхідності можуть об'єднуватися в аеродинамічні комплекси, до складу яких входять усі заклади повсякденного обслуговування, школа, дитячий садочок – ясла. Для вітрозахисту пішохідних напрямів можуть бути використані додаткові локальні засоби: спеціальні пішохідні галереї, декоративні стінки, стенди

тощо. Для районів із суворим кліматом може передбачатися об'єднання житлових будинків теплими переходами із закладами первинного обслуговування.

Під час формування житлової забудови групами будинків варто уникати утворення вітрових коридорів.

У районах із жарким кліматом необхідно передбачати захист населення від перегрівання – максимальне затінення пішохідних доріжок і тротуарів. Для забезпечення аерації території забудову варто відкривати у бік переважних вітрових потоків, у бік озелених площ і водних поверхонь. У таких умовах рекомендується забудовувати навітряні й піднесені ділянки рельєфу, а поздовжні будинки розташовувати паралельно панівним вітрам, забезпечити вільний доступ вітру в житлову забудову.

У жаркому сухому кліматі в пустелях, степах, на промислових і порушених територіях повітряні потоки переносять велику кількість пилу й піску. У цих випадках планування повинно мати захисні властивості.

Установлено, що запиленість виникає при вітрах зі швидкістю: 1–2 м/с – на пісках і піщаних рихлих ґрунтах; 3–4 м/с – на піщаних і супіщаних ґрунтах; більше ніж 5 м/с – на легких суглинках; 5,5–7 м/с – на тяжких суглинистих ґрунтах.

Якщо протягом 30 діб на рік концентрація пилу перебільшує 1,5 мг/м³ або пилові бурі повторюються понад 3 разів, потребується захист територій і будівель. Напрямок пилоперенесення є той бік горизонту, де повторюваність вітру складає не менше 20 %, швидкість перевершує 5 м/с.

Виникнення такої концентрації в місті залежить від критичної швидкості вітру, який здатен піднімати пил і приводити в рух пісок, від гранулометричного складу ґрунту, його зволоженості, заростання дереном та інших умов. У районах із великою запиленістю повітря рекомендуються особлива планувальна композиція житлової забудови з орієнтацією головних приміщень на захищену сторону, оптимальний напрямок вулиць, лісозахисні смуги шириною не менше 20 м або огорожувальні щити.

Найбільш довгі й високі будівлі необхідно розташовувати з навітряного боку майданчика перпендикулярно вітровому потоку, використовувати пилозахисні скління коридорів, лоджій і балконів, сходових кліток.

Ефективними засобами боротьби з піщаними вітрами є захисні екрани і внутрішні дворики. Коли від піщинок, що приносяться вітром, необхідно захищати відкриту ділянку, важливо, щоб стіна – екран, що її оточує, не мала перерізів.

Вітер в умовах піщаної пустелі зазвичай улітку гарячий, сухий і пильний, а взимку – холодний. Зважаючи на це однією з основних вимог під час архітектурно-планувальної організації міст пустелі є вітрозахист. Завданням є максимально запобігти проникненню в місто зовнішніх запилених потоків.

В умовах перегрівання в поєднанні зі слабкими швидкостями вітру (штильовими умовами) виникає проблема інтенсифікації провітрювання – «уловлювання вітру». За таких умов планувальна організація забудови повинна забезпечувати оптимальні умови провітрювання житлової території шляхом раціональної організації системи вулиць і пішохідних трас (орієнтація, профіль), співвідношення забудованих, озелених і обводнених територій.

Усі зміни напрямку та швидкості панівних вітрів під впливом рельєфу конкретної території є одним із важливіших вихідних даних під час розробки архітектурно-планувальних рішень житлової забудови та вибору типів будинків.

На проєктні рішення житлових і громадських будинків значно впливає температурний режим території. Будинки необхідно захищати від різких добових і сезонних перепадів температури, від переохолодження в північних умовах і перегрівання в південних районах.

Несприятливими факторами для експлуатації будинку є сніг і дощ, а особливо їхнє сполучення.

Для захисту від снігу і дощу передбачають містобудівні, планувальні й конструктивні засоби:

- гідроізоляцію конструкцій і надійне водовідведення з даху;
- зовнішнє водовідведення від будинку з використанням природних ухилів території й заходів із вертикального планування;
- снігозахист зовнішніх поверхонь будинків з облицьовуванням і забарвленням спеціальними стійкими складами;
- проміжні карнизи, сандрики й вентилявані повітряні прошарки в стінах.

Спільний вплив вітру і дощу (косі дощі) зволожує стіни, веде до промокання стиків, вікон, погіршення мікроклімату приміщень. Методика оцінки цього явища охоплює облік інтенсивності опадів на горизонтальну поверхню, швидкість вітру і даних про зміну швидкості вітру і тиску по висоті будівлі. Ступінь зволоження стін залежить також від зони вологості території, на якій розміщена будівля.

Вплив кліматичних і фізико-географічних факторів на формування міського середовища поданий у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вплив кліматичних факторів на формування міського середовища

Елементи клімату	Вплив
1. Вологість зовнішнього повітря	Планування міських просторів, територія дворових просторів житлових груп, підбір зелених насаджень тощо
2. Вітровий режим території (швидкість і напрям вітру)	Планування міст і мікрорайонів, аерація міської забудови, трасування вулиць і доріг
3. Температурний режим території (сума активних температур)	Планувальне рішення генплану та об'ємна композиція будинку
4. Радіаційний режим території (інсоляція, освітлення)	Орієнтація будинків за сторонами світу, вибір планувальних рішень мікрорайонів, захист будівель від перегрівання та холоду, присутність зелених насаджень.
5. Кількість опадів (присутність снігового покриву, річна кількість опадів)	Характер забудови, інженерна підготовка території
6. Мікрокліматичний режим підстеленої поверхні землі	Відбиття теплової та ультрафіолетової радіації в промислових і сільбищних районах, присутність водних і лісових масивів – формування планувальної структури забудови та специфіка улаштування благоустрою територій
7. Ландшафт	Вибір території для будівництва міських просторів, освоєння несприятливих територій для будівництва, трасування вулиць і шляхів, створення інженерної інфраструктури міста

Від косих дощів страждають вертикальні поверхні будинків і споруд, розташованих у районах, де спостерігаються висока швидкості вітру й одночасно зливі дощі. Для виявлення таких територій розраховують ступінь інтенсивності дощів при вітрі, для чого середню багаторічну суму опадів, міліметрах, за теплий період ділять середню багаторічну швидкість вітру за цей період, у метрах за секунду.

Найбільший захист від косих дощів потребують стіни будинків вологих районах (Японія, Чорноморське узбережжя), розташовані перпендикулярно до напрямку панівних вітрів. Захист від косих дощів передбачає застосування оздоблення зовнішніх поверхонь будівель, спеціальними матеріалами або розчинами, герметизації стиків,

використання навісних вентилязованих фасадів, скління балконів і лоджій, конструкції карнизів.

5.2 Кліматична типологія. Традиційне житло

Згідно з класифікацією кліматів Б. П. Алісова (розділ 3.1) на земній кулі виділено сім кліматичних поясів – екваторіальний, і три в кожній півкулі: тропічний, помірний, полярний (антарктичний у південній півкулі), кожному з яких властива своя типологічна специфіка житла (дод. Г).

За будівельно-кліматичним районуванням території колишнього СРСР I кліматичний район відповідає арктичному і субарктичному природно-кліматичним поясам, II і III кліматичні райони – помірному поясу, IV – субтропічному [102]. Розташовані південніше тропічний, субекваторіальний і екваторіальний пояси не проходять по території колишнього СРСР, тому не мають відповідного розділу.

Кліматичне районування – істотна складова архітектурної кліматології. Її було розроблено з метою проектування територій будинків і споруд з урахуванням кліматичних параметрів. Основні типологічні вимоги до планування і забудови міст, а також типологічних до житлових будинків, шкіл і дитячих садів наведено в спеціальних таблицях.

Кліматична типологія архітектурних споруд збагачує архітектора знаннями засобів, які використовують для покращення середовища, для захисту людини та її оточення від холоду і перегрівання, знайомить з накопиченим століттями досвідом регулювання мікроклімату. Для забезпечення кліматозахисту або навпаки використання кліматичних параметрів для створення максимально сприятливого середовища застосовують засоби планування (орієнтація за сторонами горизонту, організація провітрювання або захисту від вітру, використання просторів різного ступеня відкритості, зелених насаджень, водяних просторів і ін.).

Видатний французький теоретик архітектури Виолле Ле Дюк писав: «Вивчення минулого корисно, необхідно, але за умови, щоб з нього виводилися швидше принципи, ніж форми».

Специфіка клімату тієї або іншої місцевості завжди вирішально визначає форму спорудження, тому створення повноцінного житла, що відповідає потребам людини, неможливо без ретельного вивчення кліматичних особливостей місця будівництва.

Вивчення особливостей форм національної архітектури дає можливість розуміння принципів їх адаптування до природно-

кліматичних чинників. Типи народного житла, що відрізнялися значною різноманітністю об'ємно-планувальних рішень, насамперед склалися в прямій залежності від природно-кліматичних умов і одночасно відповідаючи культурному рівню народу, його національним побутовим традиціям [58].

Екваторіальний пояс відрізняється жарким вологим кліматом. Вдень тут переважає спекотна погода, вночі – тепла (Джакарта, Сінгапур та ін.).

Тропічний пояс характеризується найвищою на землі температурою (улітку вдень до +40 °С і вище), інтенсивною сонячною радіацією за безхмарного неба, сильними вітрами, піщаними або пиловими бурями. Взимку переважає комфортна погода, в іншу частину року – вдень посушлива, вночі – комфортна або тепла (Хартум).

Основна частина життя африканців проходить на відкритому повітрі: жінки займаються домашніми справами, а чоловіки – ремеслами й полюванням.



Рисунок 5.3 – Традиційне житло бушменів [22]

Будинок потрібен переважно для ночівлі та укриття від негоди [22].

З цієї причини основна маса традиційних африканських помешкань не мала вікон, дах і стіни з деревних гілок або очерету були невіддільні. Подібні будови були властиві тропічним районам Африки й ще й нині їх подекуди можна зустріти (рис. 5.3). Пізніше житла вдосконалювались і сьогодні

традиційне житло тропічного, субтропічного і помірних поясів у всіх частинах світу – будинки з каркасом із бамбукових або дерев'яних стовпів, зав'язаних поверху перекладинами, і високими дахами. На заболочених ділянках, або над поверхнею водоймищ для захисту від тропічної живності, змій і диких звірів помешкання будували на палях.

Пальові будинки захищають від тропічної живності, змій і диких звірів (рис. 5.4) [2].



Рисунок 5.4 – Житло тропічного, субтропічного і помірних поясів [2]

Основними шляхами сполучення в цих районах є річки й канали, по берегах яких розташовані поселення, так що човни можуть приставати до нижніх щаблів сходів, що ведуть в будинок. Будинки на палях поширені на південному сході Азії, в Океанії, у деяких областях Африки й Південної Америки.

Варто додати, що це не єдиний тип житла – національні будинки народів Африки дуже різноманітні за формою, плануванням і матеріалами, використаними для будівництва. Вибір будівельного матеріалу залежить зазвичай від природних і кліматичних умов, а також способу життя африканського народу (осілий або кочовий). Наприклад, у напівпустелях під час будівництва житла використовують камінь, глину, низькі трави й чагарники; у саванах – пальми, стебла бавовни й проса; у лісових районах – бамбук, рафію, ротанг, листя фікуса і банана. Для облаштування своїх будинків африканці також застосовують мул, гній, циновки, тканини й шкури тварин.

У країнах Африки й Південної Африки одним із найбільш відомих представників є круглий будинок рондавель (рис. 5.5). Зазвичай рондавель виготовляється з тих матеріалів, які доступні в природі. Найчастіше стіни будують із каменю, а «цементний розчин» роблять із землі, піску або їхньої суміші з гноєм [83].

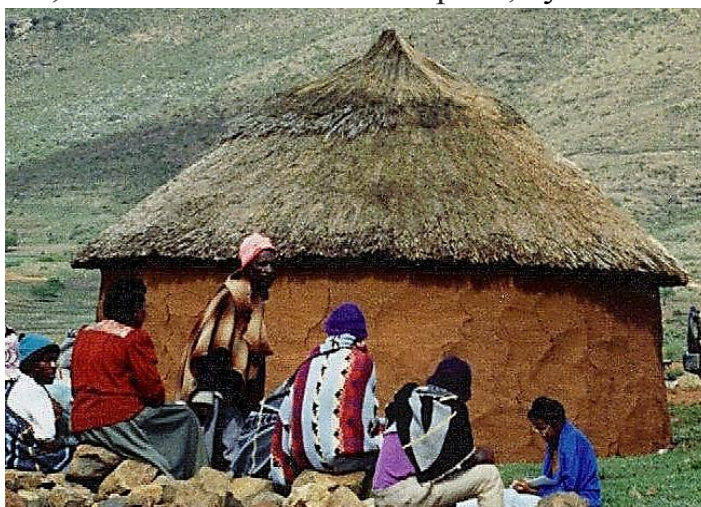


Рисунок 5.5 – Рондавель [83]

У регіонах Африки з більш прохолодним кліматом (гірські райони Ефіопії, Камеруну та Нігерії) будинки оснащені не тільки вікнами, а й опалювальними лежанками.

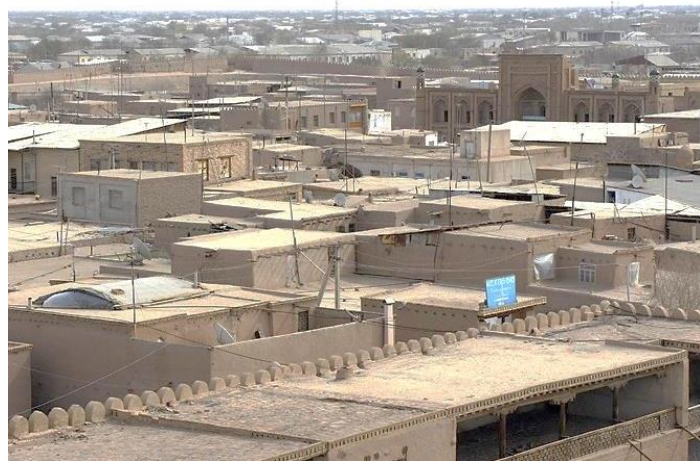


Рисунок 5.6 – Житлові квартали Хіви [112]

В умовах сухого жаркого клімату основу об'ємно-просторової композиції традиційних житлових будинків складає ізольований від вулиць внутрішній простір, відгороджений з чотирьох боків від вулиці глухою стіною або з маленькими

отворами – вікнами (рис. 5.6). Захист від впливів клімату забезпечувала добре ізольована оболонка – стіни, зроблені з кам'яної кладки й глини або з деревини, покритої товстим шаром соломи, трави чи листя [112].

Літні та зимові приміщення розташовують за трьома сторонами упорядкованих дворів зі значним озелененням та різними типами літніх приміщень. До того ж літні приміщення часто орієнтовані чітко на північ, а зимові – на південь (рис. 5.7).

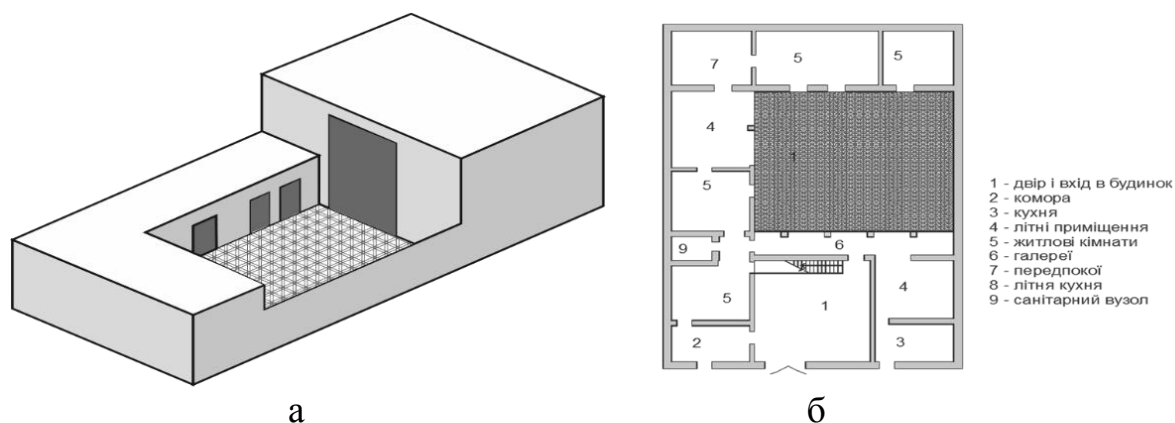


Рисунок 5.7 – Житло сухого жаркого клімату: а – перспектива; б – план [57]

Інколи, щоб зменшити до мінімуму інтенсивну радіацію, внутрішні двори роблять дуже маленькими, щоб сонячне світло не могло досягти покриття дворового простору (рис. 5.8).

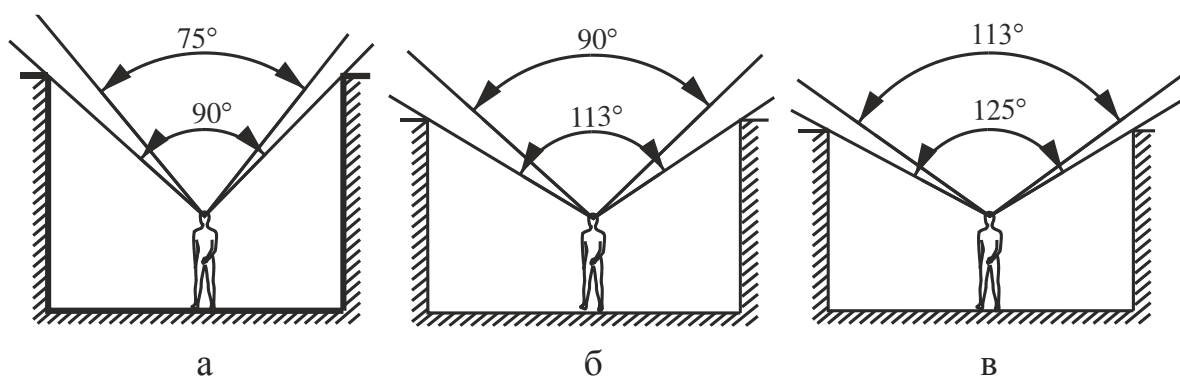


Рисунок 5.8 – Розкриття дворового простору в умовах сухого жаркого клімату: а – для пустель; б – для напівпустель; в – для оазисів [57]

Розкриття дворику до небокраю в Середній Азії сприяє його охолодженню у вечірні та нічні години. Кут розкриття залежить від характеру клімату. Додаткові заходи щодо зниження внутрішньої температури будинку: створення внутрішнього дворику за можливістю з водоймою, додаткове затінення, зелені насадження.

Такі ж самі заходи використовують і сучасні архітектори під час проектуванні будинків для Узбекистану (рис. 5.9) [51].



Рисунок 5.9 – Сучасні проекти житлових будинків для Узбекистану [51]

У громадських будинках в умовах жаркого клімату часто використовували й круглу форму плану і купольне покриття (рис. 5.10, 5.11).

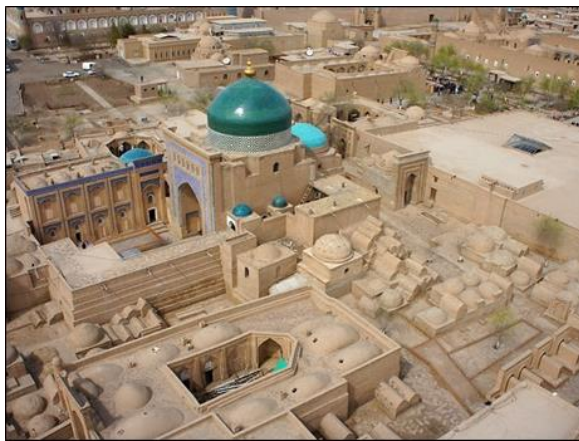


Рисунок 5.10 – м. Хіви, Узбекистан
(<https://en.advisor.travel/poi/Shah-i-Zinda-773/photos>)



Рисунок 5.11 – Некрополь
Шахі-Зінда, м. Самарканд
(<https://en.advisor.travel/poi/Shah-i-Zinda-773/photos>)

В районах з жарким кліматом і великою кількістю опадів просторова форма будинків витягається, планування приміщень стає більш вільним. У жаркому вологому кліматі не буває занадто високої температури, але концентрація вологості в приміщеннях дуже висока. Її знижують за допомогою природної вентиляції тощо. Забезпечити постійний рух повітря при компактному плані було б доволі складно.

Помірний пояс характеризується холодною сніжною зимою, теплим літом, перехідними сезонами, великою мінливістю погоди. Традиції народного житла помірних зон визначалися особливостями місцевого ландшафту, кліматичними умовами та наявністю відповідного будівельного матеріалу. У ранній період історії на півдні, сході й в

лісостеповій зоні народним житлом була дерев'яна споруда на 0,5–1 м вкопана в ґрунт і цілком засипана землею разом із дахом.

Така споруда потребувала мінімальну кількість деревини, як основного будівельного матеріалу, теплоізоляцію від зовнішнього середовища забезпечував сухий, через незначну кількість опадів, шар ґрунту. Житло древніх слов'ян звичайно мало майже квадратну форму зі сторонами не більше 3–4 м. Земляний котлован для нього бував різним по глибині, а дах будинку часом спирався безпосередньо на ґрунт. Іноді в ямі робили зруб, який потім засипали зовні землею і щільно втоптували. В інших випадках стіни складали з горизонтально розташованих жердин (рис. 5.12).

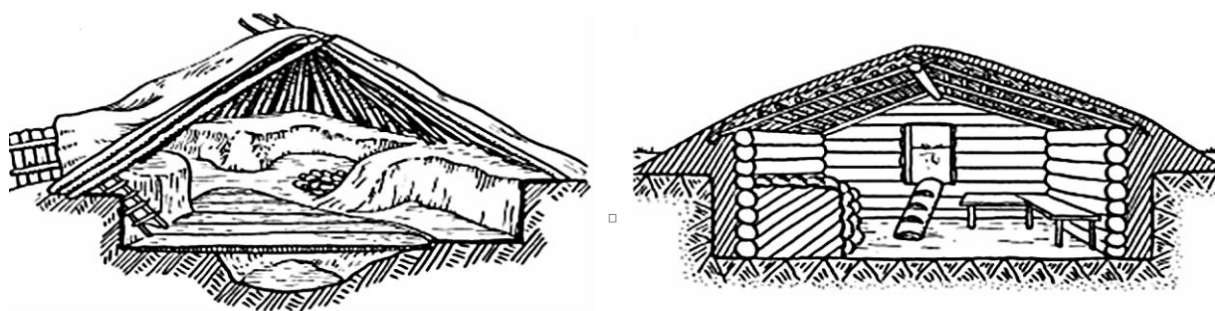


Рисунок 5.12 – Житло слов'ян лісостепової зони в X–XI столітті [8]

Основним призначенням споруди було забезпечити тепло, тому в стінах не було вікон, джерелом світла були двері, розкриті на південну, сонячну сторону. Підлога була земляна, щільно утрамбована, часто обмазана глиняним розчином, інколи дерев'яна [56, 8].

Ґрунт як теплоізоляцію використовували й в інших частинах світу. У Норвегії, Фінляндії, Швеції й деяких балтійських країнах ще з глибокої давнини як утеплювач дахів будинків використовували дерен, який з часом заростав травою і квітами. Це було зручно й економічно. Завдяки цьому в будинках створювався дуже комфортний мікроклімат – улітку прохолодно, узимку – тепло (рис. 5.13).

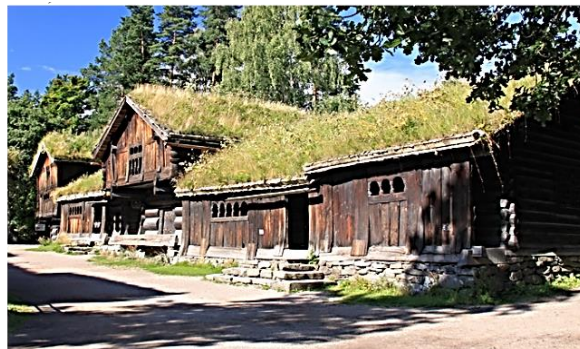


Рисунок 5.13 – Традиційне житло в країнах Скандинавії (<https://pixabay.com/photos/>)



Рисунок 5.14 – Зелений дах
у сучасному будинку
(<https://pixabay.com/photos/>)

Зараз майже у всіх розвинених країнах ретельно вивчаються і впроваджуються технології озеленення дахів будинків і споруд, які вважаються потужною альтернативою сучасним матеріалам (рис. 5.14).

Особливим попитом вони користуються в будинках для відпочинку туристів [30].

На півночі з сирим кліматом і достатком деревини з'явилися наземні будинки з підлогою, піднятою над землею (рис. 5.15).

У містах із вологим кліматом і високим рівнем ґрунтових вод люди жили в наземних дерев'яних будинках із кількома поверхами, із яких житловим був тільки верхній, а нижній поверх використовувався для господарських потреб (рис. 5.16).

У будинках застосовувалася своєрідна дренажна система. Для відведення вологи під будинками вкопували бочки з відвідними трубами, які виготовляли зі стовбурів дерев. Вода, що скупчувалась у бочці, стікала по трубі в відстійник, а потім у річку.

Археологічні дослідження Новотроїцького городища на р. Псел у Сумській області виявили саме такий тип житла. Стіни напівземлянок були складені з дерев'яних колод, всередині були влаштовані глинобитні печі [8].

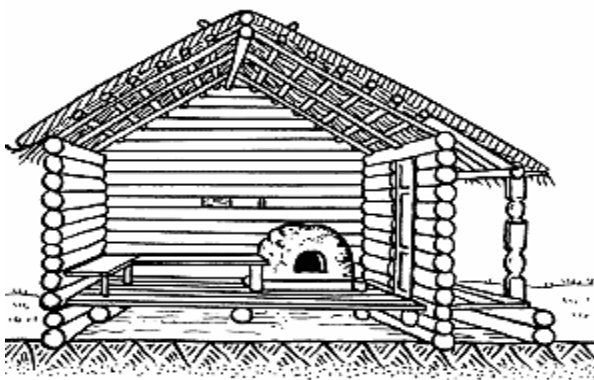


Рисунок 5.15 – Наземний дерев'яний будинок [66]

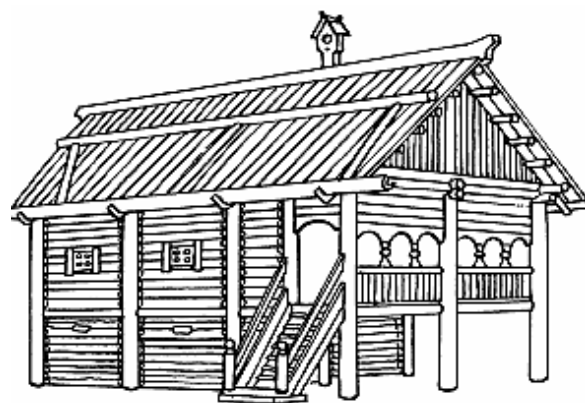


Рисунок 5.16 – Житло слов'ян північної зони в X–XI столітті [66]

У X–XI ст. наземні зрубні будинки були розповсюджені майже на всій лісовій зоні, до кордону лісостепу, а в XII–XIII ст. перетнули цю

межу, особливо на південному заході, зайнявши в Галицькій землі й на Волині майже всю лісостепову зону. Варто додати, що такий тип житла здебільшого розповсюджувався в містах, а напівземлянки зберігалися у сільській місцевості, переважно в безлісих місцях у басейні Дніпра.

Археологічні дослідження, проведені в Києві, виявили зрубні будинки городян у районі Подолу (рис. 5.17, 5.18). Такий тип забудови був природнім, оскільки неподалік від міста був значний масив соснового лісу [46, 66].



Рисунок 5.17 – Київ. Місто Ярослава.
XII–XIII століття [66]

Рисунок 5.18 – Житло
стародавнього Києва [66]

Житло кожного регіону України характеризується своїми відмінностями, які найкраще відповідали географічним і кліматичним умовам. Залежно від регіону й особливостей місцевого клімату матеріали для стін будинку використовувалися найрізноманітніші.

Українська хата мазанка є традиційним житлом південних степів півдня України [99]. Місцеві жителі для стін мазанки використовували дерен, глину, змішані з рубаною соломною, або ж очерет, лозняк або хмиз, обмазані глиною. Іноді стіни зводилися з колод, покладених у зруб. У більшості конструкцій хат можна спостерігати симетрію і ритміку, гармонійне поєднання частин, яке досягається відповідними пропорціями. Часто трапляються пропорції «золотого перетину» у співвідношенні основних вертикальних і горизонтальних елементів (рис. 5.19). Традиційною ознакою хат лісостепової зони є білені стіни.



Рисунок 5.19 – Українська хата,
Поділля [99]

Типова стріха української хати була чотирисхилою, вищою за хату. Матеріал для стріхи – снопи соломи, а в лісовій місцевості гонт. В архітектурі традиційного житла типовим було розташування хати всередині чистого двору вікнами до сонця.

На Поліссі житла зводили із суцільних кругляків або колотих плах переважно із

сосни, іноді з осики чи вільхи.

Карпатський регіон характеризується найбільшим розмаїттям конструктивних і мистецьких ознак, компактністю композицій та використанням для стін і даху одного й того самого матеріалу – переважно ялиці або смереки. Часті і значні опади у горах вимагали влаштування стрімких високих чотирисхилих дахів із глибокими виносками – піддашшям [82]. На підвалинах влаштовували галереї, переважно із декоративним різьбленням. Одвірки часто мали форму трапеції. У зовнішньому оздобленні та в інтер'єрі широко застосовувались роботи народних умільців – різьбярів (рис. 5.20).

Для розміщення будинку горці завжди вибирали найбільш рівні ділянки землі на південних схилах гір.



Рисунок 5.20 – Миколаївська церква,
Львівщина, 1763 [99]

Своєрідним типом житла, що спостерігається на Гуцульщині, є гражди – комплекси з житлових і господарських будівель із замкнутими дворами, своєрідні міні-фортеці (рис. 5.21). Садиби гуцулів, розкидані по горах і долинах, знаходились під постійною загрозою з боку хижих звірів, змушували обносити житло глухою

загородою [26, 27].



Рисунок 5.21 – Гуцульські гражди [26]

У сухих, безлісих, а також у передгірських та гірських районах Азії, на Кавказі, на південному сході Європи, у Північній Африці, на південному заході Північної Америки, у Мексиці, будували кам'яні, глинобитні, саманні та комбіновані житла різних типів (рис. 5.22, 5.23) [60].

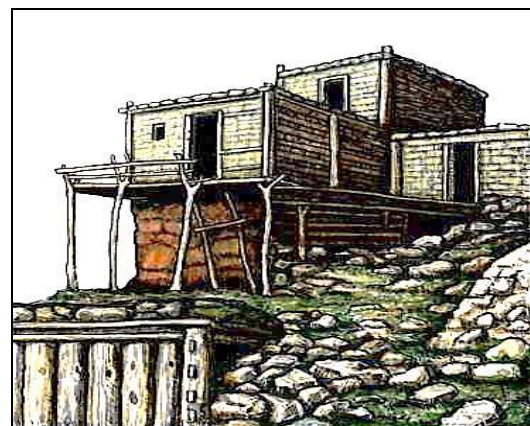


Рисунок 5.22 – Житло вірменів [60] Рисунок 5.23 – Житло афганців [60]

Відмінністю гірських районів Альп є будинки в стилі шале (рис. 5.24). Ці будівлі виникли як тимчасові будинки-ферми для місцевих жителів, що на літо перебиралися в гори зі своєю худобою.



Рисунок 5.24 – Будинок у стилі шале
(<https://rehouz.info/stil-kantri-v-arxitecture-foto/>)

Альпійське шале – це житло, яке мало захищати від негоди в горах. Відмінною особливістю шале є дах, який виступає на півтора метра над периметром будинку для захисту від дощу і снігу. Міцний, високий цоколь зводився з уламків гірської породи зі скель, стіни з масивних колод сосни й модрина. Іноді хатина була повністю з каменю. Все залежало від місцевості й доступності того чи іншого матеріалу. Похилий широкий дах, підтримував карнизи, встановлені під прямим кутом до передньої частини будинку [90].



Рисунок 5.25 – Юрта [84]

У степовій і напівпустельній зоні, у скотарських народів Азії й Африки характерним типом житла були юрта або шатер з розбірних конструкцій, простих у збиранні й перевезенні на стійках з натягнутими шкурами тварин, полотнищами з вовняної або паперової тканини (рис. 5.25).

Таке житло забезпечувало захист від морозів, дощів і вітрів, а в спеку тримало прохолоду [55, 84].

Варто зазначити, що куполоподібне житло зустрічається в різних частинах світу. Зокрема, це житло ескімосів із плит снігу або льоду – іглу. Іглу – це куполоподібна споруда діаметром 3–4 метри й висотою близько 2 метрів [63].

Вхід в іглу влаштовують через отвір у підлозі, до якого веде коридор. Рівень коридору нижче рівня підлоги, що забезпечує відтік із будівлі важкого вуглекислого газу і приплив натомість більш легкого кисню, а також не дозволяє йти більш легкому теплому повітрю (рис. 5.26). Світло проникає крізь товщу стін, іноді через вікна з озерного льоду або кишок тюленів. Звичайна температура всередині іглу від +2 °С до –3 °С. Іноді іглу будують із 3–5 куполів або кілька окремих з'єднувальних тунелів зі снігу.

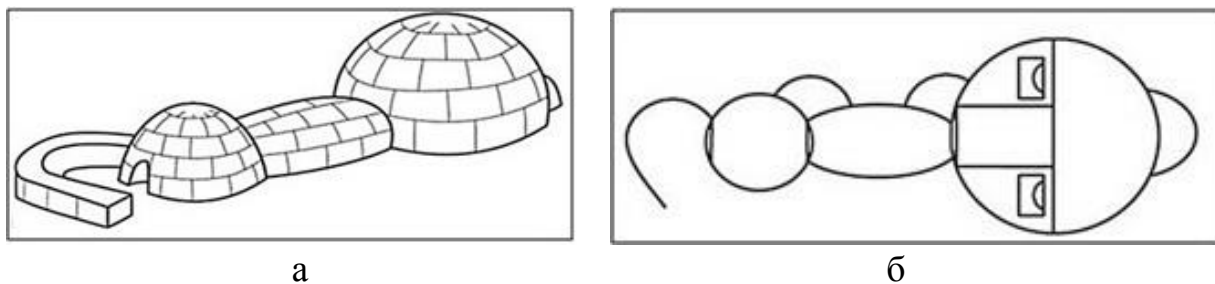


Рисунок 5.26 – Іглу: а – зовнішній вигляд; б – план [63]

Прикладом ретельного пристосування до природних умов є традиційний японський будинок (рис. 5.27). Під час його будівництва враховували фактори можливого землетрусу, спекотного і вологого літа і великої кількості зимових дощів. Океан пом'якшує клімат Японії, тому нема потреб утримувати тепло взимку.



Рисунок 5.27 – Традиційний японський будинок [60]

Будинок становить конструкцію з дерев'яних колон і даху. Широкий дах захищав від палючого сонця. Стіни – пересувні панелі, що одночасно виконують роль дверей і вікон. Підлога – дерев'яний настил, піднятий над

землею на висоті не менше півметра. Дерево врівноважує перепад температур, настил дає невелику вентиляцію, до того ж дерев'яна конструкція в землетрус безпечніше, ніж кам'яні нагромадження. Така споруда в разі руйнування дозволяє швидко зібрати постраждалий будинок наново [60].

5.3 Типи погоди і режими експлуатації житла

Кліматичне врахування метеорологічних умов певного району закладено в систему каталогу типів погоди. Ці дані класифікують, зважаючи на фактичне повторення, що створює в кінцевому результаті *кліматичне районування*.

Погоду не можна характеризувати окремо взятими елементами і явищами, оскільки вона є їхньою сукупністю.

За однакової температури, але за різної вологості повітря, з опадами або без них, із вітром або без нього, погода буде різною. Крім того, неоднаковим буде її вплив на рослини, тварин і людину. Усім відомо, що прохолодна погода з вітром переноситься людьми складніше, ніж морозна, але безвітряна.

Усі елементи і явища погоди тісно пов'язані між собою: зміна одного з них неминуче тягне зміну інших і всієї погоди в цілому.

Погода формується в результаті складної взаємодії сонячної радіації та циркуляції повітря над поверхнею Землі.

Систематичне спостереження за погодою дозволило виділити комплексні типи погоди доби. Погода різниться, об'єднуючись в три великі групи: погода морозна, погода з переходом через 0 °С, погода безморозна.

У наших помірних широтах улітку погода тепла, іноді спекотна, узимку – холодна, морозна, з температурою нижче 0 °С; навесні й восени показники температури переходять від негативних до позитивних. Ці ознаки погоди є характерними, або типовими.

У 70-ті роки минулого століття в Центральному науково-дослідному інституті житла були проведені дослідження погодних умов з метою розробки рекомендацій для типового проектування житла для різних кліматичних районів [77].

За висновками цих досліджень, тип погоди – це узагальнена характеристика погоди, що включає відомості про середньодобові показники температури, стан хмарності, опади, наявність або відсутність

вітру. Були виділені основні типи погоди й рекомендації з проектування житла.

Відповідно до класифікації всі типи погоди розподіляються на сім типів: спекотна (із нормальною або підвищеною вологістю повітря), суха спекотна, тепла, комфортна, прохолодна, холодна і сувора.

З огляду на погодні особливості, визначено ступінь розкриття приміщень в навколишнє середовище, який названо режимом експлуатації. Виділено чотири режими експлуатації приміщень будівель: ізольований (І), закритий (З), напіввідкритий або регульований (НВ) і відкритий (В).

Оцінка кліматичного фону місцевості методом типів погоди дає змогу врахувати тривалість тих чи інших погодних умов протягом року і, відповідно ті чи інші кліматозахисні заходи.

Кліматотипологічна характеристика житла встановлюється за кількістю місяців з однаковими класами погоди для кожного міста.

Клімат міста визначався за кліматичним районом, кліматичною зоною або за кліматотипологічною характеристикою міста.

З погляду тепловідчуття людини основними показниками, що визначають погоду взимку, є температура і вітер. За температури нижче нуля вітер особливо шкідливий, тому що здуває прилеглий до тіла нагрітий шар повітря і посилює охолодження організму [55].

Улітку погоду багато в чому визначає сукупність температури й вологості повітря. Вологе середовище ускладнює процес випаровування вологи зі шкіри людини, тому людина легше переносить сухе повітря в сильну спеку, ніж вологе навіть за нижчих температур.

Відповідно до цієї методики протягом більше ніж 40 років у нашій країні визначали архітектурно-планувальні, конструктивні та інженерно-технічні засоби регулювання мікроклімату в забудові та будівлях (табл. 5.2).

В останні роки в Одеській державній академії будівництва й архітектури під керівництвом професора Є. В. Вітвицької були проведені дослідження щодо зміни кліматичних показників міст України за останні 30 років. Ці дані, зафіксовані у новому стандарті ДСТУ–Н Б В.1.1–27:2010 «Будівельна кліматологія» [17], суттєво відрізняються від значень, наведених у СНиП 23–01–99* [102], що свідчить про суттєві зміни клімату в різні місяці й сезони практично у всіх містах України [17].

Аналіз зміни клімату міст України дозволив сформулювати нові типологічні вимоги до архітектурного проектування та довідкові дані для розробки архітектурних рішень з огляду на особливості клімату місця будівництва.

Таблиця 5.2 – Номограма для визначення класів погоди

Температура, °С		Теплий період					
		Верхня межа	Нижня межа	Відносна вологість повітря, %			
				24 і нижче	25–49	50–74	75 і більше
47,9	44,0	Ж – спекотна					
43,9	40,0						
39,9	36,0	Ж _с жарка суха		Т – тепла			
35,9	32,0						
31,9	28,0	Т		Т			
27,9	24,0						
23,9	20,0	К – комфортна		Т			
19,9	16,0						
15,9	12,0						
Температура, °С		Холодний період					
		Верхня межа	Нижня межа	Швидкість вітру, м/с			
				1,9 і нижче	2,0–4,9	5,0–9,9	10 і більше
11,9	8,0	П – прохолодна					
7,9	4,0						
3,9	0,0	Х – холодна					
-0,1	-3,9						
-4,0	-11,9	С – сувора					
-12,0	-19,9						
-20,0	-27,9						
-28,0	-35,9						
-36,0	-47,9						
-48,0	-59,9						
-60,0	-71,9						

У результаті досліджень професором Є. В. Вітвицькою була запропонована нова методика оцінки типологічних характеристик міст, визначення класів погоди і режимів експлуатації міст і будівель (табл. 5.3).

Відповідно до нової методики були введені перехідні класи погоди: комфортно-тепла – **КТ**, прохолодно-комфортна – **ПК**, прохолодно-холодна – **ПХ**, холодно-сувора – **ХС**; і відповідні їм перехідні режими експлуатації територій та будівель (табл. 5.3). Визначені режими експлуатації житла було доповнено перехідними: для комфортно-теплої погоди (**КТ**) – відкритий із захистом від перегріву (**В+**); напіввідкритий для більш високої

температури (**НВ+**), напіввідкритий для більш низької температури (**НВ-**); закритий з активним вітро-тепло-вологозахистом (**З-**).

Таблиця 5.3 – Номограма для визначення класів погоди (за Є. В. Вітвицькою)

Температура, °С		Теплий період					
		Верхня межа	Нижня межа	Відносна вологість повітря, %			
				24 і нижче	25–49	50–74	75 і більше
47,9	44,0	Ж _в – жарка волога					
43,9	40,0						
39,9	36,0					Ж _с – жарка суха	
35,9	32,0						
31,9	28,0	Т		Т			
27,9	23,6	Т – тепла	К _т – комфортно-тепла	Т			
23,5	20,0	К _т		К _т	Т		
19,9	14,6	К – комфортна					
14,5	12,0	П _к – прохолодно-комфортна					
Температура, °С		Холодний період					
		Верхня межа	Нижня межа	Швидкість вітру, м/с			
				1,9 і нижче	2,0–4,5	4,6–9,9	10 і більше
11,9	8,0	П – прохолодна					
7,9	4,0	ПХ – прохолодно-холодна					
3,9	0,0	Х – холодна					
-0,1	-3,9						
-4,0	-11,9			Х _с – холодно-сувора			
-12,0	-19,9						
-20,0	-27,9						
-28,0	-35,9						
-36,0	-47,9	С – сувора					
-48,0	-59,9						
-60,0	-71,9						

Уточнені дані показники (за новою методикою) усіх класів погоди, режимів експлуатації житла для них і типологічні вимоги щодо вибору архітектурних рішень подані в таблиці (табл. Г.1, дод. Г).

5.4 Кліматичний аналіз

Кліматичний аналіз ведеться від оцінки фонових закономірностей клімату району до локальних конкретних даних ділянки будівництва. Спочатку йде оцінка найбільш загальних фонових закономірностей клімату, характерних для великих територій, наприклад, клімат Степової зони або клімат Полісся. На фоновому рівні архітектор використовує готові кліматичні дані, подані в нормативних документах [47].

Початкові кліматичні характеристики, що використовують у проєктуванні, можуть бути подані у вигляді двох груп:

- комплексні – кліматичне районування, погодні умови (теплове тло), радіаційно-тепловий режим, тепловологісний, світловий клімат, снігоперенесення, пилоперенесення, косі дощі;

- пофакторні – сонячна радіація, температура, вітер, опади, вологість.

Фонові умови – найбільш загальні, характерні для великої території району, для міста загалом, без детального урахування впливу його поверхні.

Під фоновією оцінкою клімату необхідно розуміти загальну оцінку метеорологічних умов на значній площі території (район, підрайон). В Україні розрізняються п'ять укрупнених регіонів із затвердженою схемою архітектурно-будівельного районування. Регіони відзначені не тільки залежно від кліматичних умов, а також з урахуванням місцевих умов: рельєфу місцевості, сейсмічності, побутового укладу населення та народних архітектурних традицій. Кліматичне районування території України є, власне кажучи, фоновією оцінкою клімату [47].

Місцеві кліматичні умови є результатом зміни фонових умов клімату району особливостями місцевості – рельєфом, акваторіями, рослинністю та іншими компонентами ландшафту, а також міською забудовою різної поверховості, різними покриттями території в місті та ін.

На рівні оцінки мікроклімату архітектор вивчає:

- ландшафт, рельєф майданчика;
- мікроклімат схилів різної орієнтації;
- вітровий режим конкретних ділянок;
- режим інсоляції.

Для такого аналізу доводиться використовувати геодезичну підоснову ділянок будівництва з нанесеними горизонталями рельєфу, таблиці поправок мікроклімату на схилах.

Мікроклімат приміщень залежить від впливу сезонних, зовнішніх різноманітних кліматичних умов – від жаркої сухої до прохолодної погоди. Саме тому під час проєктування будівель різного призначення варто зважати на кліматичні умови певного регіону. Мікроклімат приміщень за своєю суттю є штучним, саме тому людина може активно впливати на його параметри.

Під час проєктування житлових та громадських будівель варто розрізняти вплив фонових та місцевих кліматичних умов [57].

Облік місцевих кліматичних особливостей, на противагу районуванню, дозволяє оцінити географічне положення певного конкретного району, оцінити напрям вітру, кількість сонячної радіації, характер поверхні (рельєф, ландшафт, водна акваторія, щільність забудови території) та інші місцеві особливості. Така оцінка дозволяє не тільки доповнювати, а в деяких випадках навіть змінювати комплекс типологічних вимог, які викликані фоновією оцінкою клімату. Без такої детальної оцінки клімату неможливо досягнення комфортних умов проживання, праці та відпочинку.

5.5 Рекомендації щодо проєктування житлової забудови в різних погодних умовах

Методика оцінювання погодних умов – більш точний, ніж районування, метод оцінки фонових умов клімату. За її допомогою можна визначити тривалість тих чи інших погодних умов і відповідно визначити основні кліматозахисні заходи під час проєктування житла. Типологічна сутність житла виражається через тривалість погодних комплексів протягом року [14, 55, 106].

Жаркий клімат передбачає відсутність типів погоди зі значним й надмірним охолодженням приміщень, а тривалість погоди із помірним та значним перегрівом приміщень понад 1–2 місяців (у Середній Азії тривалість погоди із помірним, надмірним і значним перегріванням спостерігається більше ніж 2 місяці).

В архітектурі застосовуються рішення, що ідеально підходять для тропічного клімату, такі як дахи з високими схилами й широкими виступами (рис. 5.28).

Жарка суха погода характерна для денних часів середньоазіатського літа, для найбільш спекотних днів на Чорноморському узбережжі Кавказу, де температури повітря складають 30–35 °С за вологості 60–25 %.



Рисунок 5.28 – Житло тропічного клімату [57]

сонця вікна під час роботи кондиціонерів і активну аерацію територій і будівель з метою зниження вологості в районі субтропиків, закритий – захист від зниження вологи повітря в місцях з посушливим кліматом у районах пустель [57].

Найкраща орієнтація вікон – на північ і південь (ранкові та вечірні промені падають на глухі торці будівель, нерідко екрановані з метою зниження перегрівання, а денні промені прямовисні, і навіть невеликий козирок добре захищає від них приміщення). Зниженню задухи сприяє активне провітрювання приміщень, організація наскрізного і кутового провітрювання квартир, яке можуть забезпечити вікна, орієнтовані на дві сторони. Уловлювання сприятливих вітрів забезпечує застосування відкритих і напіввідкритих сходів (рис. 5.29, 5.30).



Рисунок 5.29 – Забезпечення аерації завдяки відкритим сходам. Житловий будинок, м. Ашхабад [57]



Рисунок 5.30 – Будинок із галереями і терасами [57]

Доцільно застосовувати відкриті приміщення для вечірнього та нічного відпочинку (тераси, внутрішні дворики) і сонцезахисні

архітектурні засоби (козирки, жалюзі). Галереї по периметру будинків, захищають їх від прямих сонячних променів (рис. 5.30). Кухні ізолюються від кімнат, затіняються, добре провітрюються. Типовими є дірчасті стіни, надійна гідро- і теплоізоляція дахів [29, 34].

Перебування на відкритому повітрі за спекотного режиму погоди істотно обмежується.

Поліпшення умов перебування на території забудови й межах будинків досягається заходами, що ослабляють негативну дію сонячної радіації й створюють штучний мікроклімат: захист від сонця, застосування озеленення різних видів, затінювання пішохідних шляхів.

У міському середовищі цих районів необхідно застосовувати заходи для захисту від гарячих курних вітрів, уловлювання нічних гірських вітрів, активне затінення й зволоження повітря – фонтани, басейни (рис. 5.31, 5.32).

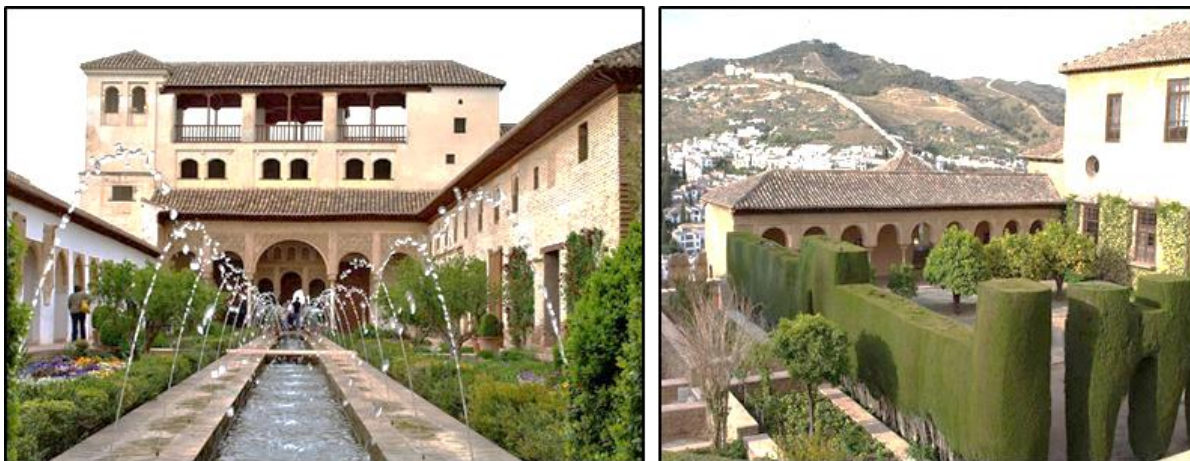


Рисунок 5.31 – Водні пристрої та атріуми у м. Альгамбра, Іспанія [57]



Рисунок 5.32 – м. Бухара, Узбекистан [57]

Для вечірнього і нічного перебування облаштовують відкриті приміщення з використанням охолоджувальної дії ґрунту.

Помірний клімат визначається за відсутності типів погоди з надмірним переохолодженням приміщень, тривалості погоди зі значним і помірним охолодженням приміщень від 2–4 місяців (у Прибалтиці, Білорусії, в Україні) [29].

В архітектурі будівель передбачаються помірний захист від переохолодження в холодний період та від перегрівання в теплий період; використовують сприятливі природно-кліматичні умови; активізацію сонячного впливу на південь від 57° пн. ш. і помірний сонцезахист у теплий період південніше цієї широти, помірний вітрозахист, захист від вологи на узбережжі моря.

Житло за прохолодної погоди захищає людину від легкого охолодження; режим експлуатації напіввідчинений. Для такого житла характерні: орієнтація кімнат на сонячні сторони горизонту; помірно компактні об'ємно-планувальні рішення; використання огорожувальних конструкцій, які мають високі теплозахисні властивості; у квартирах необхідно улаштувати місця для зберігання верхнього одягу; повітрообмін варто створювати через кватирки, фрамуги, клапани; застосовувати опалювальні пристрої малої потужності; варто унеможливити процес накопичення внутрішніх тепловиділень (від приготування їжі, прання). У міському середовищі захист від вітру і використання інсоляції створюють умови, близькі до комфортних. Характерні температури 6–10 °С (квітень-травень, жовтень у Лондоні) [55].

Холодний клімат визначається за загальної тривалості погоди із помірним, значним й надмірним переохолодженням, у містах із таким кліматом передбачається максимальний захист людей від переохолодження, активізація сонячного впливу; захист від низьких температур (обмеження часу перебування людини на відкритому повітрі в холодний період до 15–30 хвилин; захист території від вітру і завірюхи.)

Житло за холодної погоди захищає людину від сильного охолодження, режим експлуатації житла – закритий, для якого характерно компактне об'ємно-планувальне рішення, що забезпечує мінімальні тепловтрати – вибір огорожувальних конструкцій з високими теплозахисними властивостями, закриті сходи, обладнані опалювальною системою. За подібного типу погоди необхідно влаштувати закриті, ущільнені вікна, центральне опалення середньої потужності, витяжну каналну вентиляцію.

У міському середовищі вітрозахист і інсоляція пом'якшують умови охолодження. Холодна типова погода взимку спостерігається в північній частині європейської території й на півдні Східного Сибіру, для якої притаманні негативні температури: до –25 °С, зі швидкістю вітру в деяких випадках 3–10 м/с. В окремих районах спостерігаються снігові замети, що вимагають захист території та входів в будівлі [55].

За *суворої погоди*, для якої характерні найбільш несприятливі сполучення низьких температур зі швидкістю вітру: температура від $-36\text{ }^{\circ}\text{C}$ (за швидкості вітру 2 м/с) – зима в Центральній Якутії, до $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ (за швидкості понад 10 м/с) – зима на узбережжях морів Північного Льодовитого океану, для житлових приміщень застосовують засоби щодо захисту людини від вкрай сильного охолодження – режим ізолюваний, що вимагає влаштувати припливно-витяжну вентиляцію з підігрівом і зволоженням повітря. Для таких умов клімату характерне максимально компактне об'ємно-планувальне рішення будівель, закриті опалювальні сходи, мінімальна кількість входів у будівлю, подвійні тамбури при входах (тамбури-шлюзи), дуже високі теплозахисні властивості зовнішніх огорожувальних конструкцій; опалення переважно центральне, великої потужності [57].

У міському середовищі з подібними кліматичними умовами перебування людини на вулиці різко обмежено через загрозу обмороження відкритих частин тіла, тому для ефективного теплозахисту та вітрозахисту застосовують теплі переходи-галереї між житловим середовищем і підприємствами повсякденного обслуговування. Щодо компенсування відсутності зелених насаджень унаслідок кліматичних умов виникає необхідність для створення зимових садів та зелених рекреації загального користування [7, 92].

У проєктах будинків із метою захисту від суворих природно-кліматичних умов доцільне проведення таких заходів:

- збільшення ширини корпусу будинку;
- скорочення периметра зовнішніх стін – компактне планування будинку без зламів зовнішніх стін;
- застосування вікон із потрійним склінням і подвійними притворами;
- улаштування біля вікон захисних екранів з подачею підігрітого повітря;
- утеплення підлоги першого поверху, а в районах вічної мерзлоти – організація в підлогах систем опалювання;
- збільшення площі входних тамбурів із трьома послідовно розташованими дверима;
- блокування житлових будинків;
- комплексні будинки, які мають не тільки житлові та підсобні приміщення, а й приміщення спеціального призначення (рис. 5.33);
- з'єднання об'єктів забудови опалювальними критими переходами.



Рисунок 5.33 – Житловий комплекс для Крайньої півночі [57]

З характером погодних умов пов'язані категорії архітектурної композиції, наприклад архітектурний простір, маса (пластика об'ємного рішення), пластика поверхні. Зокрема, для класів погоди «комфортна» і «тепла» типові відкритий характер архітектурних просторів (вільна забудова мікрорайонів, площ, планування внутрішніх приміщень, що забезпечує аерацію і розкриття

в зовнішнє середовище), розчленована маса будівлі (дворики, курдонери, поділ будівель на блоки), розчленована (нерідко активно розчленована) пластика поверхні (лоджії, балкони, вікна значних розмірів, затінювальні козирки, навіси, перфоровані стіни). Для класів погоди «сувора», «холодна», «посушлива» типові замкнений і напівзамкнений характер архітектурних просторів (щільна, периметральна забудова кварталів, закритий тип площ, закриті зв'язки-галереї між будівлями, однобічне планування квартир), нерозчленований або мало розчленований об'єм будівлі (компактне планування, проста конфігурація, обсяги, близькі до куба, кулі, внутрішні закриті атріуми), нерозчленована пластика поверхні (невеликі вікна, відсутність лоджій, переважно гладкі поверхні стін) [11].

Контрольні запитання

1. Які основні завдання комплексного аналізу природно-кліматичних умов місцевості?
2. Під впливом яких кліматичних факторів відбувається формування погоди?
3. За якими ознаками проводиться класифікація типів погоди?
4. Доведіть ступень впливу погоди на формування житлового середовища.
5. У яких випадках необхідно враховувати показники сукупної дії вітру зі снігом?
6. Наведіть приклади комплексних кліматичних характеристик.
7. Для чого проводиться оцінка території за комплексом чинників?
8. З якою метою використовують дані температурно-вологісного режиму?

РОЗДІЛ 6 КЛІМАТ МІСТА

6.1 Розбіжності клімату у великих містах та прилеглої до них території

Кліматичні умови великого сучасного міста створені самим містом. Дахи й стіни міських будівель і штучні покриття вулиць нагріваються більше, ніж природна поверхня, і підвищують температуру повітря в місті. Промислові підприємства, опалювальні системи та автотранспорт нагрівають повітря над містом і забруднюють його димом і газоподібними продуктами згоряння, а тим самим і збагачують ядрами конденсації.

У результаті тривалість сонячного сяйва в містах знижена на 25–30 хв у день (Лондон), приплив сонячної радіації також знижений (у великих містах США в середньому на 15 %), а температура повітря підвищена, особливо вночі і взимку. У середньому температура повітря великого міста на 1–2 °С вище, ніж навколишньої місцевості, а максимальні температурні відмінності між ними досягають 5–8 °С і більше. У зв'язку з цим іноді спостерігається приплив повітря від околиць до центру міста (міський бриз), а також посилення висхідних рухів повітря над містом [114].

У місті менше днів зі снігом, довший вегетаційний період у садах і період без морозу. Відносна вологість повітря в місті знижена в середньому на 6 %, хмарність та річна сума опадів збільшені на 10–15 %. Підвищений вміст ядер конденсації в міському повітрі й ослаблення швидкості вітру в місті (у середньому на 25 %) призводять до збільшення повторюваності туманів (у містах США на 30 % влітку і на 100 % взимку) і до зростання їхньої інтенсивності. Димні тумани (смоги) у низці великих міст призводять до збільшення захворюваності та смертності, особливо від хвороби дихальних шляхів і серцево-судинних. Розподіл температури, забруднення повітря, напрям і швидкість вітру залежать від розташування вулиць, площ і зелених зон (табл. 6.1) [109].

Загальні закономірності міського клімату повинні враховуватися під час планування нових міст і кварталів.

Параметри мікроклімату, що змінюються у великих містах:

- температура;
- вітровий режим (порушено);
- повітрообмін (ускладнений);
- режим опадів (слабкі частіше, ніж за містом);
- зміни в хмарному покриві, прозорості повітря (тумани з дальністю видимості до 1 км у великих містах бувають рідше, ніж в околицях).

У 30-х роках ХХ століття було введено термін «теплі острови», яким кліматологи характеризували стійке перевищення температури повітря на території великих міст світу над його температурою в прилеглих до міст місцевостях.

Насамперед, подібна статистика характерна для промислових міст із населенням понад 1 млн (до 2000 року їх налічувалось понад 300).

Середньорічні температури у таких великих містах, як Лондон, Нью-Йорк, Москва, вищі, ніж у приміській місцевості на 1–2 °С. У різний час року і доби та в різних умовах погоди це розходження може бути більше і досягати 8–10 °С (тепліше).

Збільшення температури міст сприяють такі чинники:

- ясна, малохмарна погода (влітку і взимку);
- нічний час доби.

До зниження температури міст (нижче, ніж у навколишній сільській місцевості) призводить велика щільність забудови й низька хмарність.

Великі міста «потеплішали» за останні 100 років приблизно на 2 °С, основна причина цього факту полягає в тому, що в містах спостерігається велика концентрація транспортних засобів, саме тому в найбільших містах спалюється палива більше, ніж у сільській місцевості, отже, більше тепла віддається навколишньому повітрю; підвищення температури в містах пов'язано також із задимленістю повітря міст і особливо з високим вмістом у міському повітрі CO₂; H₂O та інших домішок, що створюють так званий «парниковий» ефект, про що вже говорилося вище.

Відмінності між мікрокліматичними показниками міст та сільською місцевістю чітко прописані в поданій нижче таблиці (табл. 6.1) [57, 114].

Гази, що мають трикутну структуру, відрізняються вибірковою здатністю поглинання променевої енергії. Пропускаючи більшість променів короткохвильової частини спектра, спрямованих «зверху вниз» (від Сонця до земної поверхні), вони поглинають значну частину випромінювання земною поверхнею довгохвильової променевої енергії, спрямованої «знизу вгору». Отже, віддача тепла земною поверхнею в космічний простір знижується, тепло залишається в межах нижнього приземного шару повітря, що особливо відчутно в ясні ночі.

Головна причина підвищеної температури повітря в містах – зміна умов радіаційно-теплогового балансу над територією міста порівняно з приміською територією.

Тепловіддача міських опалювальних будівель також відіграє свою роль – близько 10 % загальної різниці температур між містом і приміськими територіями. Між містом і приміськими територіями існує

різниця не клімату взагалі, а тільки мікроклімату, тому що в цілому фактори, що визначають клімат, для міста і його околиць залишаються одними й тими ж.

Таблиця 6.1 – Розбіжності клімату

Метеорологічні фактори	У місті порівняно з сільською місцевістю
Радіація загальна	на 15–20 % нижче
Ультрафіолетове випромінювання взимку	на 30 % нижче
Ультрафіолетове випромінювання влітку	на 5 % нижче
Тривалість сонячного сьйва	на 5–15 % нижче
Температура: середньорічна	на 0,5–1,0 °C вище
середня зимова	на 1–2 °C вище
Тривалість опалюваного сезону	на 10 % менше
Швидкість вітру середньорічна:	на 10–30 % нижче
штормова	на 10–20 % нижче
штилі	на 5–20 % частіше
Опади сумарні	на 5–10 % більше
Опади у вигляді снігу	на 5 % менше
Кількість днів з опадами	на 10 % більше
Кількість хмар	на 5–10 % більше
Повторюваність туманів: взимку	на 100 % більше
улітку	на 30 % більше
Відносна вологість: узимку	на 2 % менше
улітку	на 10–30 % нижче
іноді	на 10–20 % менше
Імовірність гроз	в 1,5–2 разів рідше

У приміських територіях великих міст багаторічні метеорологічні спостереження доводять, що туманів тут щорічно буває більше, ніж у самих містах. Підвищення температури міського повітря порівняно з приміськими територіями помітно знижує відносну вологість повітря, а, отже, і ймовірність досягнення повітрям стану насичення, необхідного для виникнення туманів значно знижується. Наприклад, збільшення температури на 1 °C за того самого вмісту в повітрі H₂O призводить до зниження відносної вологості повітря на 10 %. Якщо щільних туманів у великих містах з видимістю менше ніж 1 км буває в 2–3 рази менше, ніж за

містом, то димок з видимістю від 1 км до 9 км буває в 2–3 рази більше, ніж в околицях [21].

Енергія сонячних променів у великих містах ослаблена порівняно з замиською місцевістю. У ранкові та вечірні години за низького положення сонця над горизонтом (узимку і в денний час) кількість Сонячної радіації нижче в місті в 2 рази, причиною чого є міський дим і пил, які затримують найважливішу частину сонячного спектра для живих організмів – ультрафіолетову. Кількість частинок твердих речовин у міському повітрі стимулює утворення крапельок і сніжинок. Це призводить до утворення хмар, у результаті чого частіше випадають опади (особливо невеликі – мряка, слабкий сніг).

Архітектурно-планувальні та техногенні особливості міської території сприяють формуванню місцевого клімату, відмінного від клімату території приміської [114].

6.2 Вплив кліматичних факторів на формування міських територій

У великих містах формується свій місцевий клімат, а на окремих його вулицях і майданах – мікроклімат. Останній формується під впливом забудови, зелених насаджень, покриття вулиць бруківкою чи асфальтом, розташування промислових підприємств тощо.

Велике забруднення повітря у містах зменшує доступ прямої сонячної радіації на 20 % і водночас зменшує ефективне випромінювання, а отже, й нічне охолодження. Будівлі та вулиці нагріваються сильніше, як ґрунт, і більше віддають тепла атмосфері, тому над містами виникає «острів» тепла у вигляді теплого «плато», яке поступово підвищується від периферії до центра міста. На околицях міста температурні градієнти досягають 4 °С на 1 км. У місті підсилюється турбулентність, розвивається конвекція, а з нею й купчаста хмарність. Через це тепловий ефект міста проявляється до висоти 200–500 м. Значний вміст ядер конденсації в повітрі спричиняє більше опадів [91].

На клімат міської забудови впливають такі фактори:

- прямі викиди тепла і зміни режиму сонячної радіації;
- пилові й газові викиди промислових підприємств і транспорту;
- зміна теплового балансу шляхом випарювання, незначної проникності підстильної поверхні, що сприяє швидкому стоку води й значної теплопровідності покриття (покрівлі, стін, будівель, мостових тощо).

Перелічені фактори діють комплексно, але неоднаково в різних умовах клімату і погоди.

Сонячна радіація в промислових великих центрах знижена, унаслідок зменшення прозорості повітря (велика кількість пилу й аерозолів, висока забудова, вузькість вулиць), тому в комплексі з сонячною радіацією приєднується відбиття стінами й мостовими відчуття спеки й задухи влітку [91].

Унаслідок відбиття повітряного басейну в містах знижується ефективне випромінювання – нічне випромінювання. Зміна радіаційного балансу, додаткове постачання тепла в атмосферу при спалюванні палива та малі витрати тепла на випарювання призводять до підвищення температури безпосередньо в місті порівняно з прилеглою місцевістю.

Більша частина міста – «Плато» частина атмосфери над міською територією, у якій зміститься тепле повітря з підвищеною температурою в напрямку центра міста (рис. 6.1). Термічна однорідність «Плато» порушується «розривами» загального характеру поверхні у вигляді областей холоду – парки, водоймища тощо, областей тепла – промислові підприємства, щільна забудова [91].

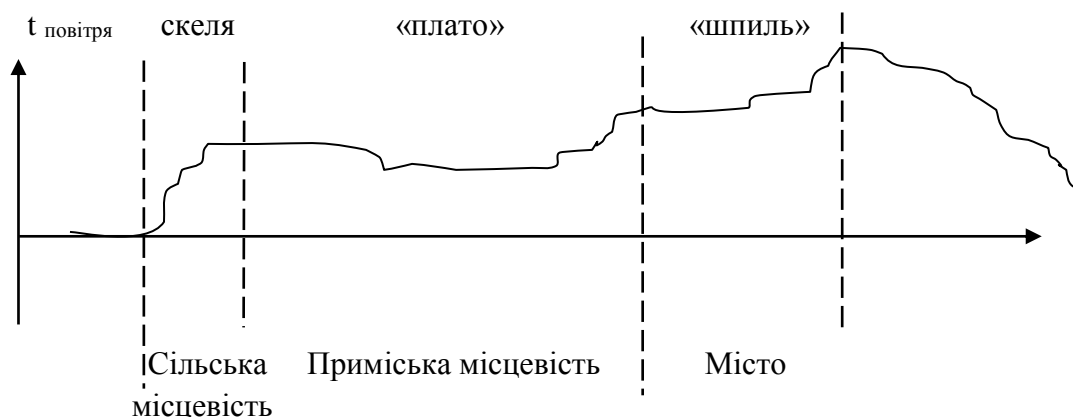


Рисунок 6.1 – Перетин «острову тепла» над містом [57]

Центр міста – «шпиль острова тепла», де спостерігається максимальна температура в містах – мегаполісах із належністю декількох типів підприємств у щільній забудові. Тепловий вплив міст виявляється в межах 100–150 м шару атмосфери (до 1 км).

Велика аеродинамічна жорсткість поверхні, що підстеляє, в присутності «острова тепла» визначає особливості вітрового режиму міста.

Вітровий режим міста характеризується суттєвою місцевою циркуляцією повітря.

За слабких вітрів до 2–3 м/с у поверхні землі існує можливість виникнення потоку холодного повітря, спрямованого до «острова тепла» у верхів'я «острова тепла» формується потік теплого повітря до краю міста.

Східний потік виникає над поверхнею зігрітої забудови. Сходовий потік виникає над затіненими стінами будівель, над вулицями, дворами.

Водоймища формують денну місцеву циркуляцію, подібну бризам від водоймища до забудови, що особливо бажано в літний період [91].

Зелені насадження знижують швидкість повітря.

Швидкість вітру в місті знижується порівняно з відкритими територіями, але можливо й посилення вітру у разі розміщення міст на пагорбах, а також у разі збігання напрямку панівних вітрів із напрямком вулиці, що створює так званий «ефект аеродинамічної труби».

Вологість повітря в великих містах нижче, ніж у місцевостях, що пов'язано з підвищенням температури й загальним змістом вологи в атмосфері, що також є результатом зменшення випарювання (табл. 6.2) [91].

Найбільший контраст вологості повітря спостерігається влітку, у вечірні часи.

У разі прояву опадів у вигляді снігу або при замерзанні поверхні землі повітря в місті стає вологим унаслідок техногенних джерел пари.

За високих температур повітря спостерігається конвективна несталість і забруднення повітряних мас, що викликає хмарність.

Опади випадають переважно в підвітряних районах міста та за його межами.

Якщо вологість повітря недостатня для створення хмар, то над центром міста створюються потужні конвекційні потоки, які є перешкодою для горизонтальних повітряних мас, які надходять у навітряну частину міста. Надходячи, повітряні маси змушені додатково підійматися, унаслідок чого виникає створення хмар і випадіння опадів.

Розбіжності в температурно-вологодому режимі міста і місцевості впливають на розподіл атмосферних явищ – туманів. Найбільший показник туманності неба спостерігається у разі послаблення швидкості вітру (забрудненні повітря). Підвищення температури й зниження відносної вологості повітря викликає зменшення кількості туманів.

6.3 Засоби поліпшення клімату міст

Бурхливий розвиток науково-технічної революції, що спричинив концентрацію промисловості у великих населених пунктах, став причиною

інтенсивного притоку населення в міста і викликав неймовірно високі темпи їхнього будівництва. З'явилися не лише великі міста, а й агломерації, мегаполіси. Забруднення ґрунтів у містах пов'язане переважно з викидами автотранспорту та промислових підприємств. Забруднювальні речовини осідають або вимиваються атмосферними опадами із повітряного басейну в радіусі до 5 км від стаціонарного джерела викиду. Основними джерелами забруднення ґрунтового покриву стали теплові електростанції, підприємства кольорової та чорної металургії [70].

Покращення стану навколишнього середовища досягається за допомогою різних заходів: технологічних (перехід на більш досконалі, «чисті» технології), технічних (вдосконалення пристроїв очищення скидів у водойми та викидів в атмосферу), структурних (закриття та виведення за межі міста виробництв-забруднювачів і, навпаки, розвиток виробництв, екологічно орієнтованих), архітектурно-планувальних (організація промислових зон, створення санітарно-захисних розривів).

Існує низка заходів щодо покращення клімату міст:

- зниження швидкості вітру і забезпечення аерації міста (планування міської забудови й вуличної мережі міста, орієнтація будинків, створення дерев і чагарників й трав'яних насаджень різного типу, створення систем водоймищ тощо);

- зменшення витрат тепла будівлями (конструкції вікон, орієнтація будинку, планувальне рішення забудови й взаємне розміщення будинків і груп зелених насаджень);

- урегулювання відносної вологості повітря (створення водоймищ, водостоків, збільшення площі поверхні з природними покривом, мийка, поливання вулиць тощо);

- боротьба з забрудненням повітряного басейну (планувальне рішення приміських промислових зон, створення високих (до 25 м) димових труб);

- урегулювання надходження сонячної радіації (планування вулично-квартальної мережі, зелених насаджень, використання різнорівневої забудови, кольорове рішення стін, покрівлі, підбір конструкцій будівель і їхніх елементів тощо).

Усі заходи мають ефект лише у разі інтегрованого використання, для чого розробляють програми екологічної безпеки місцевого, регіонального та державного рівнів.

Отже, через нераціональне використання навколишнього середовища в кліматі всієї планети відбуваються часом незворотні зміни, особливу

силу вони проявляють у найбільших центрах промисловості – місцях скупчення різноманітного транспорту, опалювальних систем, насамперед, у великих містах. Мікроклімат у будь-якому великому місті має особливий характер – це потепління, підвищення вмісту шкідливих речовин у повітрі, воді, ґрунтах тощо [114].

Концентрація шкідливого виробництва на певних територіях деяких країн третього світу, що використовують як місця для видобутку і перероблення сировини, настільки сильне, що його не можна буде ліквідувати лише силами природи, отже і отруєння жителів цих країн у таких випадках також неминучі.

Найбільш стійким до антропогенних навантажень є мозаїчний ландшафт – чергування природних і видозмінених ділянок на території міста. Необхідно пам'ятати, що всі «дикі» ділянки в містах, що не придатні для забудови (заболочені ділянки, яри, струмки тощо), відіграють важливу роль в урбоекосистемі, найдовше протидіють антропогенному впливу. Їхнє змінення є екологічно невивідним.

Зелені насадження не лише поліпшують мікроклімат у містах, очищають повітря, виконують рекреаційні функції, вони захищають будинки і тротуари від перегріву, поглинають шуми. У зв'язку зі зростаючою необхідністю вирішення проблем раціонального планування структури міст, із розвитком ландшафтної архітектури виник новий напрям урбоекології – архекологія. Це екологічна архітектура, що досліджує питання забудови міст із максимальним урахуванням екологічних факторів, збереженням і поширенням зелених зон, створенням сприятливих умов для праці й проживання людини [3, 57].

6.4 Негативні і позитивні приклади містобудування та архітектури

Основні категорії якості архітектури: об'ємно-просторова композиція, планувальне рішення, образ, масштаб, національні ознаки, які спираються насамперед на кліматичний фактор як основу формування життєвого середовища біосфери Землі. Саме кліматичні умови суттєво впливають на комфортність міських просторів та інтер'єрів, будинків, їхню виразність, надійність і екологічність [57].

З давнини в архітектурно-планувальному формуванні навколишнього середовища був екологічний підхід. Він визначав методи пристосування суспільства до природно-ландшафтного оточення та різні форми екологічної й соціально-культурної адаптації.

Протягом багатьох століть люди, які заселяли міста в жарких районах, розробляли й застосовували засоби від жару, вітру і пилу. І не випадково ці міста мали винятково щільну забудову. У середньовічних містах будинки, зазвичай притиснуті один до іншого, створювали невеликі внутрішні дворики, які були певною мірою захистом від різних природних факторів, сприяючи створенню мікрокліматичного комфорту. Основними місцями спілкування між мешканцями міста були невеликі двори, закриті від вуличного шуму і пилу.

Протягом тисячоліть архітекторам було відомо, що «... міста та будівлі на півдні необхідно проєктувати й будувати згідно з теплим кліматом, і зовсім по-іншому на півночі» (Вітрувій), що «... ширину вулиць, висоту будівель і розміри вікон потрібно вибирати з урахуванням орієнтації і глибини приміщень» (Альберті, Палладіо), що «матеріалами для забудови міста є: сонце, простір, повітря, рослинність, сталь, бетон. Їхня значущість точно відповідає порядку перерахування» (Корбюзьє), що «... вписувати архітектуру в природу необхідно дбайливо і композиційно виправдано» (Жолтовський) і що «для того, щоб освітити приміщення, недостатньо зробити отвір у покрівлі, а необхідно переконатися в тому, що ритм світла і тіні буде відповідати композиції інтер'єру...» (Кан).

Усі архітектурні та містобудівні шедеври створювалися з урахуванням цих вічних істин.

Архітектура становить один із найважливіших аспектів життєдіяльності людини, відрізняється від усіх інших видів і форм діяльності постійністю, всюди впливає на живу і неживу природу.

Від того, наскільки комфортно, у широкому сенсі цього слова, побудовано місто, будівлю або споруду і наскільки гармонійно вони вписуються в природу, залежить життя людини й саме існування природи. Ніколи ще в історії людства це питання не стояло настільки гостро. Тільки ХХІ століття з його науково-технічним і демографічним «вибухом», глобальною урбанізацією, міграцією населення і масовим індустріальним будівництвом безпрецедентно загостило цю проблему.

У сучасних містах при вільному плануванні житлової забудови пристосування до природно-кліматичних умов також засновано на урахуванні природних процесів і потенційних можливостей місцевості.

Одним із найважливіших компонентів комфорту у внутрішньому просторі будь-якого будинку є провітрювання приміщення за допомогою потоків повітря, що рухаються скрізь віконні й дверні прорізи через усі приміщення. Інтенсивний природний повітрообмін потрібний передусім

для дотримання правил гігієни й санітарії. Наскрізнi провiтрювання особливо необхіднi в районах iз жарким клiматом.

Для наскрiзного провiтрювання використовують рiзнi елементи будинку, зокрема, жалюзi, що спрямовують повiтрянi потоки.

Як приклад найкращого використання впливу вiтру можна навести дах багатоквартирного будинку, що запроєктований вiдомим англiйським архiтектором Олександром Левi та фiрмою ТЕКТОН Architekten яка була заснована в 1990 році Бертом Тiхi та базується в Амстердамі. Ідея цього даху полягала в створенні спрямованого повiтряного потоку, що проходить через вiдкритий простiр. Дах пристосовано для сушіння бiлизни [11].

Для одно- i двоповерхових будинкiв особливе значення має безпосереднє їхнє оточення, тобто елементи садово-паркової архiтектури. У разi розмiщення зелених насаджень i зеленого паркану без урахування напрямку вiтрових потокiв будинок i дiлянка можуть бути позбавленi природного провiтрювання. Характерно, що в цьому випадку зеленi насадження створюють тiнь на дiлянцi й водночас можуть сприяти пiдвищенню рiвня сонячної рiдiацiї [92].

Рiзнi економiчнi й соціальнi умови призвели в минулому до розпланування територiї мiст, з вузькими вулицями, на яких будинки, розташованi по прямiй суцiльнiй лiнiї, глуха стiна до стiни, висота будинкiв найчастiше бiльше ширини простору мiж фасадами, що призвело до порушення природного освiтлення i недостатньої iнсоляцiї ряду будинкiв (рис. 6.2).



Рисунок 6.2 – Негативні приклади в мiстобудуванні
(<https://www.bbc.com/ukrainian/features-russian-47953888>)

Пізніше генплани забудови стали поліпшуватися, але з'явилася небезпека марнотратного відношення до землі. Саме тому варто правильно сформулювати й вирішити проблеми інсоляції щодо умов проживання населення.

Міста південних сухих районів завжди мали характер «самозатіненої структури», а будівлі – своєрідних «термосів» з масивними стінами, для цих кліматичних умов характерна замкнена компактна планувальна структура та невелика кількість маленьких за розмірами вікон. Яскраво виражений образ такої архітектури був прямим наслідком характерних кліматичних умов і набув чіткого національного характеру.

Більшість південних районів відрізняється великою кількістю сонячних днів на протязі року, дуже високою радіацією і контрастністю освітлення. Це зумовлює специфічний характер архітектурної пластики й колірних співвідношень елементів і деталей будівель: тонку пластичну модуляцію декору, велику насиченість кольору та його контрастне поєднання (ці особливості поширюються також на одяг і начиння).

Одним із класичних прикладів недостатнього розуміння чи невизнання архітектором впливу фізичних параметрів навколишнього середовища є будівля Фарнсуорт Хауз, яка абсолютно не обігривається взимку, а перебування в ній в літню пору – нестерпно завдяки перегріву (рис. 6.3). Власник будівлі навіть порушив справу проти архітектора, мотивуючи тим, що будинок непридатний для житла.



Рисунок 6.3 – Фарнсуорт Хауз (The Farnsworth House) у Пленс, штат Іллінойс, США (арх. Ludwig Mies van der Rohe, 1950) (<https://traverse360.wordpress.com/2013/07/09/farnsworth-house-1951/>)

Скляна коробка настільки невдала з погляду вибору матеріалу для оболонки будівлі, що будівля може бути вибрана як яскравий приклад

серйозного архітектурного дослідження щодо неприпустимості використання форми без урахування природних факторів.

У північних та більшості центральних районів спостерігається переважно хмарне небо, що обумовлює велику пластику стін і деталей та передбачає пастельні колірні сполучення, що повністю відповідає природному оточенню і м'якому розсіяному освітленню. Двадцяте століття залишило сліди своєї бурхливої діяльності. З'явилися нові матеріали й технічні нововведення, катастрофічно розрослися міста, транспорт, промисловість, шкідливі викиди в атмосферу і водостоки, міський та технологічний шум, виникли передумови для енергетичних, екологічних, демографічних і навіть моральних криз.

«У хорошій архітектурі оболонка будівлі повинна ефективно об'єднувати всі проєктні параметри, включаючи планування, конструкцію, тепловий та світловий комфорт та технологічні функції, за оптимальних капітальних і експлуатаційних витрат як в грошовому вираженні, так і в одиницях енергії» – вважав Е. Харкнесс [100].

Контрольні запитання

1. Які показники враховують місцеві кліматичні умови?
2. Фактори, що впливають на клімат міста.
3. Що розуміється під терміном «аерозолі» у повітрі міста?
4. На які показники впливають частки пилу і потоки, зважені в повітрі міста?
5. Причини різниці температур у місті й околицях.
6. Який вплив переміщення повітряних мас у місті зветься «Вітер полів»? Коли воно виникає?
7. Назвіть причини сухості міського повітря.
8. Назвіть причину утворення міських туманів.
9. Яке явище має назву «смог»?
10. Поясніть збільшення хмарності над містом.

ЧАСТИНА II ТЕПЛОФІЗИКА

РОЗДІЛ 7 ТЕПЛОФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ

7.1 Загальні теплофізичні основи проєктування

7.1.1 Предмет і методи архітектурної теплофізики

Одне з призначень проєктування забудови – захист людей і обладнання, що знаходяться в будинку, від несприятливих впливів природи. Це забезпечується створенням у приміщеннях внутрішнього клімату (мікроклімату), якість якого має відповідати сукупності технологічних і гігієнічних вимог [100].

Оптимальний стан повітряного середовища приміщення оцінюють за такими параметрами: температура, вологість і швидкість руху повітря, та забезпечується таким комплексом заходів: розташуванням будівлі в забудові, відповідністю об'ємно-планувального рішення будівлі до природно-кліматичних умов, вибір оптимальних систем опалення, вентиляції та кондиціонування, й вибором конструкцій зовнішніх огорожень, які здатні забезпечити необхідний теплозахист приміщень.

Будівельна теплофізика базується на загальній теорії теплообмінних і масообмінних процесів. Зовнішні огорожувальні конструкції розглядаються в цих процесах як відкриті системи, що обмінюються із зовнішнім середовищем тепловою енергією (теплообмін) і речовиною (волого- і повітрообмін) [9].

У процесі проєктуванні будинків вирішують такі теплотехнічні завдання:

- забезпечення необхідного рівня теплозахисту зовнішніх огорожувальних конструкцій взимку;
- забезпечення на внутрішній поверхні огороження рівня температур, які запобігають утворенню конденсату;
- забезпечення теплотривкості огорожі в літні місяці;
- створення вологого режиму – осушення зовнішніх огорожень;
- обмеження повітропроникності огорожувальних конструкцій.

Щоб оптимізувати тепловтрати в будинках узимку, а також їхні холодовтрати влітку, необхідно так запроєктувати огорожувальні конструкції, щоб вони задовольняли основним нормативним вимогам до опору теплопередачі, теплотривкості, вологому режиму і повітряної

проникності (гігроскопічності). Усі ці питання розглядає *будівельна теплотехніка* [79].

Раціонально запроєктовані зовнішні огорожувальні конструкції будинків повинні відповідати таким теплотехнічним вимогам:

- мати достатні теплозахисні властивості, охороняючи приміщення від холодів у зимовий період і восени, і захищати їх від перегріву сонячним опромінюванням у літню пору;
- під час експлуатації не мати на внутрішній поверхні занадто низьку температуру, щоб запобігти створення на неї конденсату;
- повітропроникність їх не повинна перевищувати припустимої межі, вище якого повітрообмін буде переохолоджувати приміщення;
- зберігати нормальний вологісний режим, з огляду на те, що зволожені огороження погіршують його теплозахисні властивості та недовговічні.

7.1.2 Основні теплофізичні поняття

Перенесення тепла з одного середовища з більш високою температурою в інше з більш низькою температурою через зовнішнє огороження називають *теплопередачею*.

Цей процес містить:

- 1) теплообмін між поверхнею огороження і прилеглим до неї нагрітим повітряним середовищем – *теплосприйняття*; такий теплообмін відбувається, наприклад, в опалювальних приміщеннях у разі зіткнення внутрішньої поверхні стіни з внутрішнім повітрям;
- 2) теплообмін між поверхнею огороження і прилеглим до неї охолодженим повітряним середовищем; подібний теплообмін спостерігається у разі зіткнення стіни (її зовнішньої поверхні) із зовнішнім повітрям [79].

Теплопередача в огорожувальних конструкціях

Необхідною умовою теплопередачі в будь-якому середовищі є різниця температур у різних точках середовища. Теплова енергія поширюється від точок із більш високою температурою до точок із більш низькою. Зовнішні огорожувальні конструкції поділяють середовища за різними температурами, що і викликає в них процеси теплопередачі [79].

Розрізняють три види теплопередачі: теплопровідність, конвекція і випромінювання. Наприклад, більшість будівельних матеріалів є капілярно-пористими тілами, у них можливі всі види теплопередачі. Однак

у практичних розрахунках звичай вважають, що теплопередача всередині будівельних матеріалів відбувається за законами теплопровідності. Теплопередача конвекцією і випромінюванням відбувається в повітряних прошарках і у поверхонь конструкцій на межах із зовнішнім і внутрішнім повітрям.

Теплоінерційність (теплостійкість) будинку – основна теплотехнічна характеристика, яка залежить від ступеня передачі огорожувальними конструкціями (стінами, покриттями, вікнами, ліхтарями) тепла, повітря вологості. Здатність огорожувальних конструкцій регулювати передачу цих фізичних параметрів із зовнішнього середовища в будинок (або навпаки) і визначає, здебільшого, комфортність мікроклімату та енергетичні втрати [57].

Теплотехнічні показники огорожувальних конструкцій встановлюються теплотехнічним розрахунком. Необхідною умовою для правильного теплотехнічного розрахунку і подальшого проектування огорожі є знання теплотехнічних властивостей будівельних матеріалів і правильне використання їх залежно від особливостей зовнішнього та внутрішнього клімату будівлі [40, 96].

У теплотехнічних розрахунках прийнято розрізняти однорідні (одношарові) і шаруваті (багатошарові) огорожувальні конструкції, які складаються відповідно з одного або декількох однорідних плоских шарів, розташованих перпендикулярно напрямку теплового потоку (зазвичай паралельно зовнішній і внутрішній поверхонь конструкції), а також неоднорідні конструкції, які мають різні характеристики теплопровідності за площею огорожі (дод. И.1, И.2, И.3).

7.2 Основи теплотехнічних розрахунків

7.2.1 Особливості теплотехнічного розрахунку неоднорідних огорожувальних конструкцій

Реальні огорожувальні конструкції зазвичай неоднорідні в теплотехнічному відношенні завдяки присутності в них отворів, кутів, стиків, теплопровідних включень. Наприклад, температура в зовнішньому куті стіни значно (на 4–7 °С) нижче температури внутрішньої поверхні ділянки стіни, віддаленої від кута будівлі. Це пояснюється тим, що площа теплосприйняття значно менше площі тепловіддачі, з одного боку, і зниженням коефіцієнту теплосприйняття (через зменшення променистого теплообміну і ослаблення конвекційних струмів повітря) – з другого. Таке

зниження температури може призвести до появи вологості у кутах будівлі. Для попередження цього явища необхідно влаштувати потрібне додаткове утеплення кутів приміщення або розміщення в цих кутах стояків опалення [40].

Температура на таких ділянках змінюється не тільки на товщі конструкції, але також на її довжині або висоті, тобто зміна не є однорідною.

Для зовнішніх огорожувальних конструкцій опалювальних будинків та споруд і внутрішніх міжквартирних конструкцій, що розділяють приміщення, температури повітря в яких відрізняються на 3 °С та більше, обов'язкове виконання умов:

$$R_{\Sigma np} \geq R_{min}, \quad (7.1)$$

$$\Delta t_{np} \leq \Delta t_{cr}, \quad (7.2)$$

$$\tau_{e min} > t_{min}, \quad (7.3)$$

де $R_{\Sigma np}$ – приведений опір теплопередачі огорожувальної конструкції або частини огорожувальних конструкцій, м² К/Вт;

R_{min} – мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції чи частини огорожувальних конструкцій, м² К/Вт;

Δt_{np} – температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, °С;

Δt_{cr} – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, °С;

$\tau_{e min}$ – мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальних конструкціях, °С;

t_{min} – мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні розрахункових значеннях температур внутрішнього і зовнішнього повітря, °С [40].

Теплопередача в нестационарних умовах

Викладені раніше розрахунки засновані на сталості температур із зовнішньої й внутрішньої сторін огорожувальних конструкцій, унаслідок чого через сторони огорожувальних конструкцій проходить сталий тепловий потік. У реальних умовах це спостерігається рідко. Постійно

відбуваються коливання температури зовнішнього повітря, змінюється температура в приміщенні (особливо в будинках з періодично працюючим опаленням), у літній час зовнішня поверхня нагрівається ще й завдяки сонячній радіації. Усе це вносить похибки в теплофізичні розрахунки за стаціонарними умовами, тому в деяких випадках необхідно виконувати розрахунки за нестационарних умов теплопередачі [57].

Теплотривкість огорожувальних конструкцій

Теплозахисні якості огорожувальних конструкцій, експлуатовані в жарких районах (із середньомісячною температурою), оцінюються за теплотривкістю. Така властивість конструкції зберігати під час коливань теплового потоку відносну сталість температури на зверненій до приміщення поверхні є однією з умов комфортності перебування людини в приміщенні. Кількісна оцінка теплотривкості проводиться шляхом загасання в конструкції температурних коливань. Величина загасання визначається як відношення амплітуди коливань температури на поверхні, яка безпосередньо сприймає температурний вплив, до амплітуди коливань температури на протилежній поверхні [57].

Повітропроникність огорожень

Ще однією властивістю, що характеризує теплотехнічні якості конструкції, є її повітропроникність. Проникнення (фільтрація) повітря через огорожу виникає внаслідок різниці тисків теплого і холодного повітря (тепловий опір), а також у результаті вітрового тиску.

Повітропроникність матеріалів характеризується коефіцієнтом повітропроникності, який визначає кількість повітря (в кг), що проходить через 1 м² матеріалу товщиною 1 м протягом одиниці часу за різниці тисків у 1 Па (кг/ м · год · Па) [40].

Вологісний режим огорожувальних конструкцій

У підвищеннях вологості матеріалів зростає їхня теплопровідність. Це призводить до зниження опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. Для збереження їхніх теплозахисних властивостей варто передбачати заходи із запобігання можливого зволоження.

Узагалі підвищення вологості конструкцій небажано з багатьох причин. З гігієнічного погляду зволоження конструкцій призводить до підвищення вологості в приміщеннях, що негативно позначається на самопочутті людей. Зволожені матеріали становлять сприятливе середовище для розвитку мікроорганізмів, які викликають низку

захворювань. Із технічного погляду вологість матеріалів швидко руйнується через розширення вологості під час замерзання в порах і капілярах, корозії (окислення металу, вилуговування вапна з розчинів), біологічних процесів [40].

Причини появи вологи в конструкціях

Будівельна вологість обумовлена мокрими процесами під час виробництва будівельних конструкцій (кладка з цегли на будівельних розчинах, тепловологісне оброблення залізобетонних виробів). У правильно запроектованих конструкціях ця вологість встановлюється в допустимих межах протягом перших років експлуатації будівлі. Грунтова волога проникає в конструкцію в результаті капілярного підсосу у разі порушення гідроізоляції. Залежно від структури матеріалу капілярна вологість може підніматися на висоту 2,5–10 м [107].

Атмосферна вологість у вигляді косих дощів під час вітру або інею, що випадають на зовнішній поверхні, зволожує конструкцію на глибину декількох сантиметрів. Експлуатаційна вологість зволожує частини стін, що примикають до підлоги під час миття підлог, у разі протікання технологічних рідин [40].

Останні три види зволоження конструкцій можна усунути або різко скоротити конструктивними заходами.

Гігроскопічна вологість – наслідок сорбційної властивості капілярно-пористих матеріалів поглинати вологу з повітря (гігроскопічність). Ступінь гігроскопічного зволоження зумовлюється режимом температурної вологості навколишнього середовища. В огорожувальних конструкціях, експлуатованих в агресивних середовищах, гігроскопічність матеріалів підвищується в 4–5 разів завдяки підвищенню вмісту водорозчинної сполуки [40].

Конденсаційна вологість викликається відхиленнями температурно-вологісних параметрів повітряного середовища приміщень та найчастіше є причиною перезволоження конструкції. Конденсація вологи може відбуватися як на поверхні конструкції, так і в її товщі в процесі дифузії водяної пари. Гігроскопічне і конденсаційне зволоження можуть бути стабілізовані раціональним конструюванням огорожі на основі теплотехнічних розрахунків [40].

Оцінка вологісного режиму огорожувальних конструкцій

Для зовнішніх огорожувальних конструкцій, що опалюються, обов'язкове виконання умови:

$$\Delta w \leq \Delta w_{\partial}, \quad (7.4)$$

де Δw – збільшення вологості матеріалу в товщі шару конструкції, у якому може відбуватися конденсація вологи за холодний період року, відсоток за масою;

Δw_{∂} – допустиме за теплоізоляційними характеристиками збільшення вологості матеріалу, у шарі якого може відбуватися конденсація вологи, відсоток за масою, що встановлюють згідно з таблицею 7.1 залежно від типу матеріалу.

Таблиця 7.1 – Допустиме за теплоізоляційними характеристиками збільшення вологості матеріалу, Δw_{∂} , у конструкції в холодний період року

Найменування матеріалу	Значення Δw_{∂} , %
Мінераловатні та скловолонисті вироби	2,5
Пінополістирол	2,0
Пінополіуретан	3,0
Плити з карбамідоформальдегідних пінопластів	7,0
Ніздрюваті бетони (газобетон, пінобетон, газосилікат тощо)	1,2
Бетони легкі	1,2
Вироби перлітові	2,0
Плити з природних органічних та неорганічних матеріалів	7,0
Вироби з кремнезиту	2,5
Цегляне мурування	1,5
Піногазоскло	1,5
Мурування з силікатної цегли	2,0
Засипки з керамзиту, шунгізиту	3,0
Важкий бетон, цементно-піщаний розчин	2,0

Абсолютна і відносна вологість повітря

Поняття про абсолютну і відносну вологість повітря наведено в розділі 2 підручника.

Відносна вологість повітря впливає на цілий ряд показників. Серед яких:

- інтенсивність випаровування вологи із зволжених поверхонь (зокрема, з поверхні тіла людини);
- процес поглинання вологи будівельними матеріалами (процес сорбції);
- процес конденсації вологи в повітрі і на поверхні конструкцій.

У разі підвищення температури повітря з заданим змістом вологи (за сталої пружності водяної пари), відносна вологість зменшується, у наслідок зростання значення максимальної пружності водяної пари (E). У разі зниженні температури відносна вологість зростає, оскільки E знижується. У процесі зниження температури за деякого її значення максимальна пружність дорівнює дійсній пружності водяної пари. Водночас $j = 100\%$ і настає стан повного насичення повітря водяною парою. Відповідна цьому моменту температура називається температурою точки роси t_p для цієї вологості повітря. У разі зниження температури нижче точки роси максимальна і дійсна пружності будуть знижуватися, залишаючись рівними, а надлишок вологи буде конденсуватися, тобто переходити в крапельно-рідкий стан [100].

У зимовий час тонкий шар повітря, що безпосередньо примикає до внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, охолоджується до її температури, яка може досягти точки роси. Отже, необхідно забезпечити на внутрішній поверхні таку температуру, відповідну значенню: $t_e > t_p$.

Температура в зовнішніх кутах приміщень, на поверхні теплопровідних включень зазвичай нижче, ніж на інших ділянках огорожі. Зважаючи на це, можливість утворення конденсату варто, насамперед, перевіряти зовнішні кути приміщень, передбачаючи в необхідних випадках заходи для підвищення їхньої температури (додаткове утеплення, розміщення стояків опалення тощо).

Дифузія водяної пари скрізь захисну конструкцію

У холодну пору року зовнішня захисна конструкція опалювальної будівлі розділяє два повітряні середовища з однаковим барометричним тиском, але з різними температурами і пружністю водяної пари. Навіть за більш високої відносною вологості холодне зовнішнє повітря містить менше водяної пари, ніж тепле внутрішнє, тобто парціальний тиск водяної пари усередині приміщення e_e буде значно більше зовнішнього e_n . Їхня різниця для житлових будівель досягає значних величин: 1,2–1,3 Па, а для будівель із підвищеною температурою і вологістю може бути істотно вища. Під впливом різниці парціальних тисків виникає потік водяної пари, спрямований від внутрішньої поверхні до зовнішньої. Цей процес має назву «дифузія водяної пари» [40].

Коефіцієнт паропроникності m відображає здатність матеріалу пропускати дифузovanу водяну пару, який дорівнює кількості вологи (мг), що дифузує за одиницю часу крізь шар матеріалу товщиною 1 м і площею 1 м^2 за різниці парціальних тисків на поверхні шару 1 Па (мг/м · год)

(дод. И.2). Із будівельних матеріалів найбільший коефіцієнт паропроникності мають мінераловатні плити (до 0,6 мг/ м · год · Па), а найменший – руберойд (0,0014 мг/ м · год · Па), лінолеум (0,002 мг/ м · год · Па), бітумні покрівельні матеріали (0,008 мг/ м · год · Па).

Якщо внутрішнє повітря має високу вологість або конструкція огорожі запроєктована неправильно, водяна пара може конденсуватися всередині захисної конструкції. Вважається, що площина можливої конденсації розташовується на відстані, що дорівнює 2/3 товщини однорідної конструкції і збігається із зовнішньою поверхнею утеплювача в багатошаровій. Для запобігання цього явища застосовують багатошарові огорожувальні конструкції, розмір шарів якої встановлюється відповідно розрахунку опору паропроникненню [40].

Опір паропроникненню R_n огорожі в межах від внутрішньої поверхні до площини можливої конденсації має бути не менше необхідної величини, яка встановлюється ДБН В.2.6–31:2006 «Теплова ізоляція будівель» [39]. Для цього рекомендується внутрішні шари огорожі виконувати з більш щільних матеріалів, розташовуючи утеплювач ближче до зовнішньої поверхні. Крім ускладнення доступу парів води в більш холодні шари, це забезпечує кращі умови видалення вологи з конструкції в теплі місяці [40].

Опір паропроникненню огорожувальних конструкцій та окремих її шарів розраховується за формулами:

$$R_{e\Sigma} = \sum_{s=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i}, \quad (7.5)$$

$$R_{ex} = \sum_{i=1}^m \frac{\delta_i}{\mu_i} + \frac{x - \sum_{i=1}^m \delta_i}{\mu_{m+1}}, \quad (7.6)$$

де n – загальна кількість шарів у конструкції;

m – кількість повних шарів від внутрішньої поверхні до періоду;

δ – товщина i -го шару, м;

μ_i – паропроникнення матеріалу i -го шару, мг (м · год · Па), що визначається за додатком X;

μ_{m+1} – паропроникнення матеріалу i -го шару, мг (м · год · Па), де розташований переріз [40].

7.2.2 Основні засоби із запобігання створення надлишкової вологості в зовнішніх огорожувальних конструкціях будівель

Огорожувальні конструкції будівель потребують надійного захисту від надлишкової вологості для збереження несучих здібностей подібного типу конструкцій. Існує декілька основних засобів щодо захисту зовнішніх конструкцій від надлишкового зволоження, яких необхідно дотримуватися:

- для захисту від зволоження утеплювача в зовнішніх огорожувальних конструкціях будинків варто передбачати пароізоляцію (нижче теплоізоляційного шару);

- варто передбачати пароізоляцію теплоізолювальних ущільнювачів стиків елементів огорожувальних конструкцій з боку приміщень;

- необхідно також передбачати конструктивні заходи для захисту огорожень від зволоження безпосередньо крапельно-рідкою вологою (атмосферні опади, експлуатаційні джерела) – водонепроникність або гідрофобність поверхонь (штукатурка, забарвлення водостійкими складами), правильна конструкція і герметизація стиків тощо;

- за постійного зволоження можна передбачати вентилявані повітряні прошарки [79].

Об'ємна вага і пористість будівельних матеріалів

Одним із основних показників будівельних матеріалів є об'ємна вага (формула 7.7):

$$\gamma = \frac{P}{V}, \quad (7.7)$$

де γ – об'ємна вага матеріалу, кг/м³;

P – вага матеріалу, кг;

V – об'єм матеріалу, м³.

Об'ємна вага будівельних матеріалів коливається в межах від 25–30 кг/м³ (матеріали з пористих пластмас) до 2 800–3 000 кг/м³ (граніт, мармур).

Майже всі будівельні матеріали містять пори, заповнені повітрям. Унаслідок цього об'ємна вага багатьох однорідних матеріалів неоднорідна.

Пористість матеріалу виражається процентним відношенням об'єму пір у матеріалі до об'єму всього матеріалу (див. формулу 20 [79]). За відомих значень питомої ваги матеріалу і його об'ємної ваги значення ступеня пористості визначається за формулою:

$$P = \frac{g - \gamma}{g} \cdot 100 \% , \quad (7.8)$$

де P – пористість матеріалу (%);

γ – об'ємна вага матеріалу, кг/м³;

g – питома вага матеріалу, кг/м³.

Питома вага органічних матеріалів $g = 1\,450\text{--}1\,550$ кг/м³,
неорганічних – $g = 2\,400\text{--}3\,000$ кг/м³.

Для таких будівельних матеріалів, як силікатна цегла, походження пористості змінюється від нуля (щільні породи – граніт) до 75 % (високопориста цегла).

Вологість будівельних матеріалів

Будівельні матеріали в огорожувальних конструкціях будівлі завжди знаходяться в зволоженому стані. Стан вологості матеріалу характеризується у відносних вагових і об'ємних величинах (формули 7.9–7.10 [61]).

Вагова вологість матеріалу:

$$\omega_B = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \cdot 100\% , \quad (7.9)$$

де ω_B – вагова вологість матеріалу, %;

P_1 – вага вологого матеріалу, грам;

P_2 – вага сухого матеріалу, грам.

Об'ємна вологість матеріалу:

$$\omega_o = \frac{V_1}{V_2} \cdot 100\% , \quad (7.10)$$

де ω_o – об'ємна вологість матеріалу, %;

V_1 – об'єм води, що міститься в матеріалі, см³;

V_2 – об'єм сухого матеріалу, см³.

Залежність між об'ємною і ваговою вологістю одного і того саме зразка матеріалу визначається в такому вигляді:

$$\frac{\omega_o}{\omega_B} = \frac{\gamma}{1000} . \quad (7.11)$$

У більшості випадків пори всередині будівельних матеріалів незамкнені і взаємодіють один із одним і навколишнім середовищем.

Під час контакту матеріалу з вологістю остання під дією капілярних сил проникає в матеріал. Таким шляхом відбувається зволоження матеріалу атмосферними опадами і вологістю, яка конденсується на

поверхні матеріалу; крім цього, зволоження може відбуватися у разі внутрішньої конденсації водяної пари повітря, яка проникає в пори матеріалу [39].

Стан вологості матеріалу огорожувальних конструкцій за її вологісної рівноваги з навколишнім повітряним середовищем залежить від вологості повітря, експлуатаційних умов, виду матеріалу і конструктивного рішення огорожувальних конструкцій.

У нормальних умовах експлуатації будівлі для кожного виду матеріалу характерно певний зміст вологи. Це стан вологості матеріалу називається нормальним, а вологість матеріалу – нормальною вологістю матеріалу.

Таблиця 7.2 – Градація вологісного режиму приміщення

Вологісний режим	Вологість внутрішнього повітря φ_v , %, залежно від температури t_v		
	$t_v \leq 12$ °C	$12 < t_v \leq 24$ °C	$t_v > 24$ °C
Сухий	$\varphi_v < 60$	$\varphi_v < 50$	$\varphi_v < 40$
Нормальний	$60 \leq \varphi_v \leq 75$	$50 \leq \varphi_v \leq 60$	$40 \leq \varphi_v \leq 50$
Вологий	$75 < \varphi_v$	$60 < \varphi_v \leq 75$	$50 < \varphi_v \leq 60$
Мокрий	–	$75 < \varphi_v$	$60 < \varphi_v$

Приміщення різного призначення нормуються за ступенем вологісного режиму згідно з діючими нормативними положеннями документу ДБН В.2.6–31:2021 (табл. 7.2 [40]).

7.2.3 Теплопровідність будівельних матеріалів

Основним теплотехнічним показником будівельних матеріалів є теплопровідність – здатність матеріалу проводити тепло скрізь свою масу.

Теплопровідність матеріалу характеризується величиною коефіцієнта теплопровідності – λ , який виражає собою кількість тепла в мДж, яке проходить в 1 ч через 1 м² плоскої стіни товщиною в 1 м і певного матеріалу за різниці температури на внутрішній і зовнішній поверхнях у 1°.

На коефіцієнт теплопровідності впливає об’ємна вага (пористість), вологість, температура і хіміко-мінералогічний склад матеріалу [61].

Залежність коефіцієнта теплопровідності від пористості матеріалу

Основні будівельні матеріали мають пористу структуру, яка складається з твердої речовини, яка, зі свого боку, утворює остов (скелет) матеріалу, і повітря, заповнює простір (пори) між твердою речовиною. Складові матеріалу мають різний коефіцієнт теплопровідності. Коефіцієнт теплопровідності речовини матеріалу приблизно в 100 разів перевищує коефіцієнт теплопровідності повітря, укладеного в порах матеріалу.

Коефіцієнт теплопровідності пористого матеріалу становить деяку проміжну величину між коефіцієнтами теплопровідності основного матеріалу і повітря, укладеного в його порах.

Зміна співвідношення між загальним обсягом пір і об'ємом твердої речовини викликає відповідні зміни величини коефіцієнта теплопровідності матеріалу [61].

Залежність коефіцієнта теплопровідності від хіміко-мінералогічного складу матеріалу

Будівельні матеріали у своїй основній масі можуть містити в різних співвідношеннях за одного і того самого хімічного складу. Коефіцієнт теплопровідності кристалічних речовин перевершує в кілька разів коефіцієнт теплопровідності аморфних речовин подібного хімічного складу. Велика кількість кристалічних речовин може міститися в бетонах на кварцовому піску, гравії або на щебінці з щільних вивержених порід [61].

Залежність коефіцієнта теплопровідності від температури матеріалу

Коефіцієнт теплопровідності будівельних матеріалів залежить від середньої температури матеріалу, за якої відбувається теплопередача. Із підвищенням температури підвищується і коефіцієнт теплопровідності матеріалу.

В інтервалі позитивних температур від 0 °С до 100 °С залежність між коефіцієнтом теплопровідності і температурою матеріалу визначається емпіричною формулою (8 [40]):

$$\lambda_p = \lambda_0 (1 + \rho t), \quad (7.12)$$

де λ_0 – коефіцієнт теплопровідності матеріалу за $t = 0$ °С;

λ_p – коефіцієнт теплопровідності матеріалу за температури t ;

t – температура матеріалу;

ρ – коефіцієнт пропорційності, що дорівнює 0,0025.

Залежність коефіцієнта теплопровідності від вологості матеріалу

Під час зволоження матеріалу волога витісняє повітря з пор матеріалу і заповнює їх частково або повністю. Пори матеріалу заповнюються речовиною, теплопровідність якого приблизно в 20 разів перевищує теплопровідність повітря. У разі замерзання вологи і перетворення її на лід коефіцієнт теплопровідності останнього перевищує в чотири рази коефіцієнт теплопровідності рідкої вологи, і в вісімдесят разів коефіцієнт теплопровідності повітря, що заповнює повністю пори цього матеріалу. Залежно від ступеня заповнення пор вологою і від агрегатного її стану коефіцієнт теплопровідності матеріалу як середня величина між коефіцієнтами теплопровідності твердої речовини, повітрям і вологості, що заповнюють пори матеріалу, має різні значення. Із підвищенням вологості матеріалу зростає коефіцієнт теплопровідності. Найбільше підвищення коефіцієнта теплопровідності спостерігається у разі замерзання вологи в порах матеріалу, що призводить до подальшого зниження його теплозахисних властивостей. Під час переходу рідкої вологи в іней коефіцієнт теплопровідності матеріалу, навпаки – знижується. Залежно від ступеня заповнення пор вологістю коефіцієнт теплопровідності матеріалу має різні значення. Із підвищенням вологості матеріалу зростає коефіцієнт теплопровідності і тим самим знижуються теплозахисні властивості цього матеріалу [57, 61].

Теплоємність будівельних матеріалів

Для підвищення температури матеріалу на $\Delta^{\circ}t$ потрібно витратити певну кількість теплової енергії. У разі зниження температури цього ж матеріалу на $\Delta^{\circ}t$ така ж кількість тепла (Q) виділяється з нього. Властивість матеріалу поглинати (акумуляувати) тепло під час нагрівання і виділяти його під час охолодження називається *теплоємністю* матеріалу [57].

Показником теплоємності матеріалу є питома теплоємність, яка в числовому еквіваленті дорівнює кількості тепла в Дж, яким необхідно охопити 1 кг матеріалу для підвищення температури всієї його маси на 1°C у Дж/(кг · град). Потрібна кількість тепла для підвищення температури на $\Delta^{\circ}t$ визначається за формулою 7.13 [61]:

$$Q = c\gamma V\Delta t, \quad (7.13)$$

де Q – кількість тепла, Дж;

c – питома теплоємність матеріалу, кДж/(кг · К) ;

γ – об'ємна вага матеріалу, кг/м³;

V – об'єм матеріалу, м³;

Δt – зміна температури матеріалу в градусах.

Теплоємність (c) будівельних матеріалів змінюється в межах від $c = 0,18$ (бетон) до $c = 0,6$ (деревина) і залежить від вологості матеріалу. Із підвищенням вологості матеріалу підвищується його теплоємність (теплової кількості води $c = 1$ кДж/(кг · К)).

7.2.4 Стаціонарні умови теплопередачі (одновимірний тепловий потік), теплопровідність будівельних матеріалів

Через плоску і доволі протяжну конструкцію тепловий потік проходить перпендикулярно до її поверхні в напрямку від більш високої температури до низької.

Будівельні матеріали складаються з твердої фази, а також пір і капілярів, які заповнені повітрям, водяною парою або рідиною. Співвідношення і характер цих елементів і визначають теплопровідність матеріалу [79].

Таблиця 7.3 – Теплофізичні характеристики деяких будівельних матеріалів

Матеріал	Теплопровідність, Вт/(м · °С)	Матеріал	Теплопровідність, Вт/(м · °С)
Алюміній	221	Пінополістирол	0,04, 0,06
Сталь	58	Вода	> 0,58
Залізобетон	> 2	Лід	> 2,33
Кладка з цегли	0,58, 0,81	Повітря (у порожнинах розміром 15 см)	> 0,023
Мінераловатні мати	0,05, 0,08	Повітря (у замкнутих порах розміром до 1 мм)	> 0,72

У металів теплопровідність висока завдяки визначенням цієї величини потоком електронів. Чим вище електропровідність, тим вище і теплопровідність. Теплопровідність кам'яних матеріалів обумовлена тепловими коливаннями структури. Чим важче атоми цієї структури і чим слабкіше вони пов'язані між собою, тим менше теплопровідність. Каміні матеріали з кристалічною структурою мають більшу теплопровідність, ніж склоподібні матеріали [61].

Коефіцієнт теплопровідності капілярно-пористих матеріалів залежить від їхньої середньої щільності (пористості) і вологісного стану. Разом з цим значення має також середній розмір пір та їхній характер (відкриті, сполучені чи закриті). Нижчу теплопровідність мають пористі матеріали із закритими порами малого (1 мм) розміру. Із підвищенням

змісту вологи в матеріалі його теплопровідність зростає. Особливо це помітно взимку, коли вода, що міститься в порах замерзає.

Зміни коефіцієнтів теплопровідності будівельних матеріалів під час зміни змісту вологи настільки істотні, що їхні значення встановлюють залежно від характеристики вологості клімату та вологих умов експлуатації приміщень. Під час визначення зони вологості й вологісного режиму приміщень призначаються умови експлуатації огорожувальних конструкцій (А чи Б) залежно від яких підбирають коефіцієнти теплопровідності (табл. 7.4) [40].

Для захисту від зволоження ґрунтовою вологою варто передбачати гідроізоляцію стін: горизонтальну – у стінах вище вимощення, а також нижче рівня підлоги цокольного чи підвального поверху; вертикальну – підземної частини стін з урахуванням гідрогеологічних умов та призначення приміщень.

Таблиця 7.4 – Вологісні умови експлуатації матеріалу в огорожувальних конструкціях

Вологісний режим приміщень	Умови експлуатації
Сухий	А
Нормальний	Б
Вологий	Б
Мокрий	Б
Примітка. Матеріали внутрішніх конструкцій будинків із нормальним режимом експлуатації розраховуються для умов експлуатації А.	

Визначення теплообміну

Відповідно до зазначених вище вимог до огорожень у будівельній теплотехніці розглядають такі питання: теплопередачу в огороженнях, повітропроникність і вологий стан огороження, тобто ті вимоги, що здатні створити сприятливий мікроклімат у будинках і спорудженнях різного призначення, де перебуває людина.

Теплообмін становить сукупність явищ, пов'язаних із поширенням теплової від більш нагрітих тіл до інших (рис. 7.1). Розрізняють три види теплообміну: теплопровідність, конвекцію і випромінювання [40].

Теплопровідністю (кондукцією – conductivity *англ.* електропровідність) називають теплообмін між частками тіла, що знаходяться в зіткненні один із одним. Передача енергії в цьому випадку відбувається в газах у результаті зіткнення молекул, у твердих діелектриках – під час коливань сусідніх молекул, а в металах – завдяки

тепловому рухові електронів. Цей вид передачі тепла характерний для огорожень із твердих матеріалів (бетон, цегла й ін.) [40].

Конвекція (лат. «convectio» привезення, привнесення) становить процес поширення тепла, що виникає в результаті механічного переміщення частки речовини газоподібного або рідкого середовища з однієї частини простору в іншій. Цей вид теплопередачі спостерігається, наприклад, в опалювальних приміщеннях, в огорожувальних конструкціях із повітряними прошарками [57].

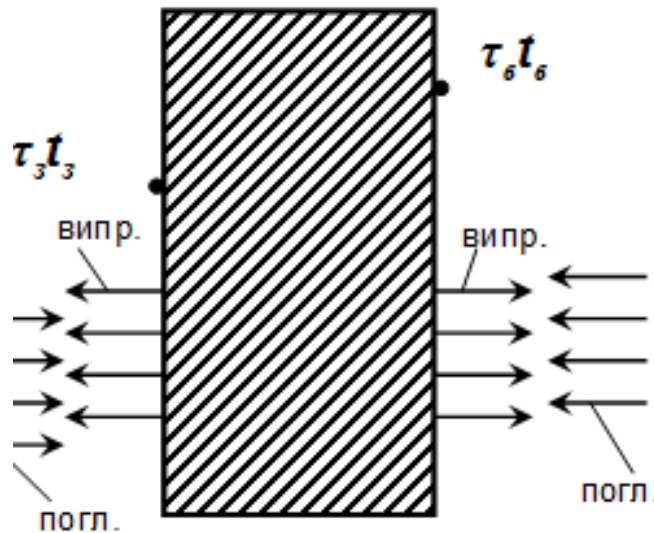


Рисунок 7.1 – Теплообмін випромінюванням між поверхнею твердої стінки і зовнішнім простором [57]

Передача тепла **випромінюванням (радіацією)** відбувається між тілами через простір. Сутність променистого теплообміну полягає в тому, що частина внутрішньої енергії тіла перетвориться в енергію випромінювання, що передається у формі електромагнітних хвиль. Зустрічаючи на своєму шляху інші тіла, промениста енергія поглинається ними в тій або іншій мірі і перетворюється знову в теплову енергію. Цей вид теплообміну має велике значення під час впливу на будинок сонячної радіації, а також у цехах підприємств (металургійних та ін.), де здійснюється плавлення металу або збереження виробів із розпеченого металу [57].

Виділяють три типи випромінювань: електромагнітне, корпускулярне і хвильовий рух середовища.

Електромагнітне випромінювання – це електромагнітні хвилі, що випускаються зарядженими частками, атомами, молекулами, антенами й іншими випромінювальними системами. Залежно від довжини хвилі (частоти коливання) і джерел випромінювання розрізняють рентгенівське

випромінювання, гамма-випромінювання, оптичне випромінювання (інфрачервоне випромінювання, світло, ультрафіолетове випромінювання), радіовипромінювання (рис. 7.2) [57].

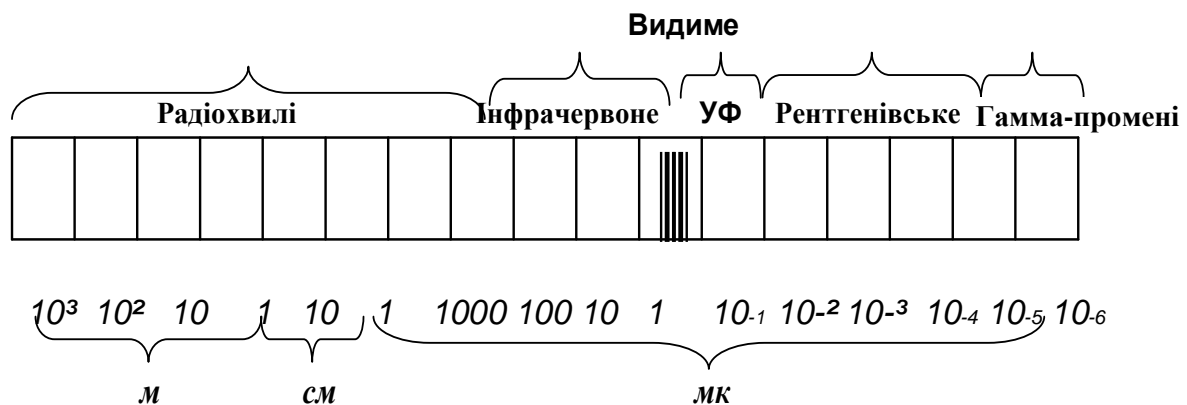


Рисунок 7.2 – Схема шкали спектра різних видів електромагнітних випромінювань [57]

Корпускулярне випромінювання становить потік атомних частинок: електронів, позитронів, протонів, нейтронів, альфа-частинок та ін., що супроводжують природний і штучний розпад ядер [57].

На практиці один із перерахованих видів теплообміну, хоча і супроводжується іншими, однак настільки переважає над ними, що практично розглядають тільки цей вид. Зокрема, під час передачі тепла через суцільні огорожувальні конструкції теплообмін здійснюється переважно шляхом теплопровідності. Теплообмін конвекцією і випромінюванням відбувається через повітряні прошарки огорожень, а також у їхній внутрішній і зовнішній поверхнях.

Перенесення тепла – процес, який охоплює всі види теплообміну від одного нагрітого газоподібного середовища до іншого через стінку (звичайно тверду), що їх поділяє, називається **теплопередачою** R_0^{mp} ($\text{м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$), відповідно до вимог ДБН В.2.6–31:2021 [40].

Опір теплопередачі огорожувальної конструкції R_0 , має бути більше або дорівнювати необхідному значенню R_0^{mp} [57]. Необхідний опір теплопередачі огорожувальної конструкції R_0^{mp} визначається за більшою з двох величин:

R_{ce}^{mp} – необхідний опір за санітарно-гігієнічними нормами, $\text{м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

R_{En}^{mp} – необхідний опір згідно з енергозбереженням.

R_{ce}^{mp} визначається за формулою:

$$R_{cz}^{mp} = \frac{(t_{вн} \cdot t_{зр})n}{\Delta t^H \cdot \alpha_e}, \quad (7.14)$$

де $t_{вн}$ – характерна температура опалювального приміщення, °С;

$t_{зр}$ – температура зовнішнього повітря найбільш холодної п'ятиденки, °С, яка приймається за ДБН В.2.6–31:2021 [40];

n – коефіцієнт, який приймається залежно від положення зовнішньої поверхні огорожувальних конструкцій щодо зовнішнього повітря, що приймається за таблицею 7.5.

Таблиця 7.5 – Допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції Δt_{cr} °С

Призначення будинку	Вид огорожувальної конструкції		
	Стіни (зовнішні, внутрішні)	Покриття та перекриття горищ	Перекриття над проїздами та підвалами
Житлові будинки, дитячі установи, школи, інтернати	4,0	3,0	2,0
Громадські будинки, крім зазначених вище, адміністративні та побутові, за винятком приміщень із вологим або мокрим режимом експлуатації	5,0	4,0	2,5
Виробничі будинки з сухим та нормальним режимом експлуатації	7,0	5,0	–
Виробничі будинки з вологим та мокрим режимом експлуатації	$t_e - t_p$	0,8 ($t_e - t_p$)	–
Виробничі будинки з надлишками тепла (більше 23 Вт/м ³)	12	12	–

Процес теплообміну між твердою стінкою й оточуючим його газоподібним або рідким середовищем іноді називають тепловіддачею [57].

Розглянуті види теплового обміну в огорожувальних конструкціях і будинках не існують окремо, вони завжди взаємозалежні, проте в огороженнях із щільних матеріалів, наприклад бетон, цегла, основним видом теплопередачі є теплопровідність, а в пустотних огороженнях із прошарками, наприклад подвійне скління, шаруваті стіни й покриття переважає теплообмін конвекцією і випромінюванням.

Контрольні запитання

1. Які завдання вивчає будівельна теплофізика та теплотехніка?
2. У чому полягає сутність основних теплофізичних понять?
3. Що таке теплопровідність будівельних матеріалів?
4. У чому полягає сутність методики проведення теплотехнічного розрахунку неоднорідних огорожувальних конструкцій.
5. У чому полягає зміст визначення процесу теплообміну?

РОЗДІЛ 8 ТЕПЛОВИЙ МІКРОКЛІМАТ ПРИМІЩЕНЬ

8.1 Критерії оцінки мікроклімату за ознакою тепловідчуття людини

8.1.1 Критерії визначення мікроклімату приміщень

Коли основні фактори мікроклімату приміщення знаходяться в допустимих межах, людина відчуває себе в такому приміщенні комфортно. Якісним мікрокліматом приміщення вважається сукупність мікрокліматичних показників, які під час постійного впливу на організм забезпечують йому норму в тепловому стані за мінімальної напруги терморегуляції людського тіла. Порушення мікрокліматичних норм вважаються доволі частими з порушень санітарно-гігієнічних норм [79].

Мікроклімат приміщення – сукупність метеорологічних факторів у квартирі: відносна вологість, температура повітря, повітрообмін руху повітря, об'єм у повітрі пилу, вміст аерофонів та інше. Стандартними показниками для мікроклімату квартири влітку вважаються: температура повітря 23 °С, відносна вологість 50 %, повітрообмін не більше 0,30 м/с [57].

Узимку показники мікроклімату приміщення знаходяться в межах: температура повітря 20–22 °С, відносна вологість близько 40 %, повітрообмін знижується до 0,1–0,15 м/с відповідно до норм, до того ж різниця температур від вікна до протилежної стіни не повинна перевищувати 2 °С. Квартиру можна уявити як осередок, куди надходить маса різних супутніх життю людини елементів і звідки виходить вже інша маса елементів із зміненими властивостями [40, 47]. За такого підходу можна говорити про необхідність вивчення екології житла, при постановці цієї проблеми необхідно визначити закономірності взаємодії метеорологічних факторів у квартирах та знайти способи вирішення основних завдань екології житла на основі сучасних досліджень.

Регульований мікроклімат у приміщеннях створюється:

– заходами архітектурно-планувального або будівельного проектування. Мається на увазі не тільки захист від атмосферних впливів, але і найкраще використання природних ресурсів енергії (променистої, вітру та інших), тобто погодженість архітектури й клімату;

– застосуванням штучних способів кліматизації приміщень: опалення, вентиляції і кондиції внутрішнього повітря. Це завдання вирішується в тісній взаємодії з обраними характеристиками конструкцій, що обгороджують: стін, покриття, підлоги [57].

Комфортний мікроклімат у будинках створюється природними і штучними засобами.

До природних засобів створення оптимального мікроклімату належать архітектурно-планувальні і конструктивні рішення будинків (композиційне рішення, орієнтація приміщень, розміри й герметичність заповнення світлопрорізів, теплоізоляція огорожень), що визначають експлуатаційну ефективність і економічність *штучних засобів* (опалення, вентиляція і кондиціонування повітря). Разом із цим архітектору важливо пам'ятати, що ідеальні в теплотехнічному відношенні стіни і покриття не сприяють очікуваному ефекту, якщо композиція будинку характеризується надмірним периметром зовнішніх стін, неглибокими приміщеннями, великими площами скління і нераціональною орієнтацією стосовно геліотермічної вісі й пануючих вітрів. Крім того, у цьому випадку опалення, вентиляція й особливо кондиціонування повітря або виявляються бездіяльними в підтримці гігієнічно необхідного мікроклімату в приміщеннях, або будуть працювати з великими витратами тепла та електроенергії [57].

Вимоги до мікроклімату приміщень і теплозахист будинків регламентуються ДБН В.2.6–31:2021 [40], де визначення вимог до окремого приміщення (оптимальний мікроклімат) залежить від його призначення. Наприклад, у картинних галереях цілий рік повинні зберігатися відносно постійна температура і вологість, що забезпечує збереження експозиції. У дитячих установах (лікарнях, школах) необхідно створювати гігієнічно припустимий мікроклімат (температура повітря, повітрообмін, інсоляційний режим), що виключає можливість перегрівання або переохолодження приміщень [40].

Мікроклімат – це комплекс фізичних факторів навколишнього середовища в обмеженому просторі, що впливає на тепловий обмін людини.

Мікроклімат визначається основними фізичними параметрами: температурою, швидкістю руху і вологістю повітря, температурою навколишніх поверхонь і променистою енергією.

Тепловідчуття людини під впливом мікроклімату навколишнього середовища є фізіологічною реакцією, що захищає організм від порушення теплового балансу, і спонукає вжити необхідних заходів захисту у випадку його порушення. Тепловий обмін людини визначається взаємовідношенням між утворенням тепла в результаті реакцій обміну речовин і віддачею або одержанням тепла з навколишнього середовища. Вивчення теплообміну людини в різних умовах мікроклімату дозволило

розробити санітарні норми мікроклімату, визначити ступінь пристосування організму і розробити міри захисту від надмірного впливу тепла, холоду та променистої енергії [57].

Санітарні норми мікроклімату поділяють на: оптимальні (зона теплового комфорту) і припустимі. *Оптимальні норми* дотримуються на об'єктах із підвищеними вимогами теплового комфорту: у лікарнях, дитячих установах, театрах, клубах та інших. Найважливіша галузь промисловості, у яких не тільки за гігієнічними, але і за технологічними вимогами необхідні оптимальні умови мікроклімату (радіотехніка, електронна техніка точне приладобудування й ін.). *Припустимі норми мікроклімату* забезпечують працездатність людини за деякої напруги системи терморегуляції організму. Цих норм дотримуються у тих випадках, коли з низки причин рівень сучасної техніки ще не може забезпечити оптимальних норм. Санітарні норми мікроклімату для об'єктів різного призначення зазвичай розробляють для холодного і теплого періоду року, у низці випадків і за кліматичними зонами, базуючись на роздільному визначенні температури, вологості і швидкості руху повітря [57].

Мікроклімат житла і громадських будинків визначається їхнім призначенням і пристроєм у них опалення, вентиляції, кондиціонування повітря тощо. Мікроклімат житла повинен забезпечити умови для сприятливого відновлення фізіологічних втрат після роботи, тобто повинні бути створені умови теплового комфорту.

Виробничий мікроклімат визначається технологічним процесом і кліматом місцевості і відрізняється великою різноманітністю. Мікроклімат різних виробничих приміщень повинен відповідати санітарним нормам і правилам, якими передбачені заходи щодо нормалізації умов праці у визначених галузях промисловості [32].

Створенню сприятливого мікроклімату в центрах і на робочих місцях сприяє раціональна конструкція будинків, механізація та автоматизація технологічного процесу, аерація, вентиляція і кондиціонування повітря, радіаційне нагрівання і охолодження відповідних поверхонь, засобу індивідуального захисту тощо.

8.1.2 Біокомфорт як синтез теплових і аераційних умов

Температура повітря є одним із основних факторів у комплексі метеорологічних умов, що визначають теплообмін і теплову рівновагу організму людини і зовнішнього середовища.

Іноді не видається можливим або є недостатнім застосування архітектурно-конструктивних методів і прийомів здійснення сприятливого перебування людини в приміщеннях. У таких випадках застосовуються додаткові засоби досягнення достатнього біокомфарту в приміщеннях, зокрема опалення і вентиляція, кондиціонування приміщень, відповідно в зимовий і літній періоди. Це спеціалізовані додаткові сучасні пристрої, і види оздоблювальних матеріалів. Наприклад, панелі з підігрівом, а також підлоги, що має назву – *радіаційне опалення*, за якого використовують нагрівальні прилади з великою плоскою нагрівальною поверхнею, а також стінові радіатори різних конструкцій або підвісні панелі з високою температурою випромінювальних поверхонь [79].

Гігієнічним вимогам найбільше відповідає система опалення, що переважає випромінювання тепла, тому що при цьому в приміщеннях зменшується негативна радіація від зовнішніх огорожень, що забезпечує комфортні умови за більш низької температури повітря.

Для забезпечення комфортного мікроклімату в приміщеннях є також засоби щодо автоматичної підтримки в закритих приміщеннях температури, відносної вологості, чистоти, складу і швидкості руху повітря, найбільш сприятливих для самопочуття людини. Найважливішим з цих засобів є заходи щодо кондиціонування повітря. Необхідність кондиціонування повітря особливо відчувається в районах із жарким кліматом, де здебільшого неможливо засобами звичайної штучної вентиляції забезпечити нормальний мікроклімат у житлових і громадських будинках [57].

Варто звернути увагу, насамперед, на архітектурно-планувальні питання, що впливають на якість мікроклімату в приміщеннях.

В основу визначення повітряного куба і норм повітрообміну покладений принцип обмеження нагромадження в повітрі приміщень продуктів життєдіяльності людини. Як індикатор їхньої присутності прийнятий двоокис вуглецю.

З огляду на кількість видихуваної людиною в годину двоокису вуглецю і гранично допустимої концентрації в житлах антропоксинів, повітряний куб повітря на людину повинен складати не менше 40–60 м³.

Велику роль у повітрообміні відіграє висота приміщення, тому що забруднений шар повітря найчастіше концентрується в просторі поблизу стелі. Висота приміщення, а також їхня глибина, відіграє визначену роль і у формуванні мікроклімату приміщень [40].

Більшість громадських будинків (адміністративні, навчальні, житлові тощо) належать до категорії приміщень із незначними виділеннями тепла, що вимагають опалення в холодний період року.

Гігієнічними нормами для цих будинків установлені межі природної вентиляції у вигляді мінімальної кратності повітрообміну (відношення обсягу повітря, що надходить у приміщення в плинні однієї години до кубатури приміщення [7]).

У літній період кратність повітрообміну значно підвищується; це необхідно враховувати під час проєктування приміщень і вибирати необхідну площу світлопрорізів (фрамуг, кватирок тощо), водночас для припливу свіжого повітря необхідні прорізи в нижній зоні приміщення, а для видалення забрудненого повітря – у верхній.

Тепловий комфорт приміщення сприяє регуляції температури тіла людини на постійному рівні. Досягти цього можна, якщо врахувати такі фактори: 1) температура повітря; 2) радіаційна температура; 3) вміст вологи в повітрі; 4) швидкість руху повітря. Потрібно відзначити, що, крім фізичної терморегуляції, на людину впливає хімічна терморегуляція, тобто вплив навколишнього середовища на споживання кисню, а отже, теплотворення в організмі людини. У терморегуляції людини чималу роль відіграє і психологічний фактор [57].

Однією з характерних рис громадських будинків є зосередження в них великої кількості людей, що може призвести до значної зміни в них мікрокліматичних умов, а також до підвищення пилового і бактеріального забруднення повітря. Отже варто прагнути до створення і підтримування в них максимально сприятливих умов зовнішнього середовища, що досягається санітарно-гігієнічними засобами, архітектурно-планувальними рішеннями – обґрунтованого внутрішнього планування окремих приміщень, їхнього функціонального зонування і шляхом оптимального оснащення цих приміщень сантехнічними пристроями для створення комфортних умов штучними засобами.

Вентиляція – напрямок потоків повітря із місць з найменшим забрудненням у місця з найбільшим забрудненням, де витяжка повітря повинна переважати над потоком (у вбиральнях, варильних цехах харчоблока тощо) – витяжна вентиляція з 5–10-кратним обміном повітря [40].

Іншим важливим питанням є створення в приміщеннях громадських будинків оптимального температурного режиму, що може бути досягнуте за допомогою відповідних систем опалення, застосуванням теплоізолювальних матеріалів, достатньою товщиною зовнішніх стін.

Оптимальна температура повітря в приміщеннях коливається від 18 °С до 24 °С за відносної вологості 40–60 % залежно від призначення приміщень. У північних районах температура повітря в приміщеннях має бути на 2–3 °С вище внаслідок більш низької температури зовнішніх стін.

Теплотехнічна класифікація приміщень

Суттєвий вплив на мікроклімат приміщень здійснює їхня теплотехнічна класифікація, яка дозволяє визначити пріоритети щодо створення комфортних умов у тих приміщеннях, де людина проводить максимальну кількість часу. З огляду на це приміщення існує така класифікація, що керується принципом вибору оптимальних засобів щодо створення комфортного мікроклімату приміщень:

- житлові, лікувально-профілактичні і дитячі установи, школи та інтернати;
- громадські, крім зазначених вище, адміністративних і побутові, за винятком приміщень із вологим або мокрим режимом;
- виробничі із сухим і нормальним режимами;
- виробничі й інші приміщення з вологим або мокрим режимом;
- виробничі будинки із значними залишками наявного тепла (більше 23 Вт/м²) [57, 79].

Відносна вологість внутрішнього повітря приймається для житлових будинків, лікувально-профілактичних, дитячих установ, будинків-інтернатів для старих і інвалідів та дитячих будинків – 55 %; для інших громадських будинків – 50 %.

Теплотехнічне нормування огорожувальних конструкцій

Мінімальну необхідну товщину зовнішніх стін визначають на основі теплотехнічного розрахунку з урахуванням таких характеристик:

- а) розрахункової температури зовнішнього повітря в районі будівництва (середньої температури найбільш холодної п'ятиденки в році, а для легких стін – середньої температури найбільш холодної доби);
- б) розрахункової температури і вологості внутрішнього повітря приміщень, обумовлених за нормами для будинків певного виду;
- в) нормованого для будинків і приміщень кожного виду припустимого перепаду температури внутрішнього повітря і температури внутрішньої поверхні огороження;
- г) розрахункових коефіцієнтів теплопровідності матеріалів проектованої конструкції [7, 57].

8.1.3 Фактори й методи визначення комфортного середовища

До найважливіших факторів, що дуже впливають на людей, які знаходяться в приміщенні, належать *температура і вологість повітря*, їхні зміни залежно від періодів року й особливостей технологічних процесів; розподіл у просторі *аеродинамічних тисків* і зв'язаний з цим природний повітрообмін і аерація приміщення; вплив *сонячної радіації*, переважно через вікна, покриття, легкі стіни, що впливає на якість мікроклімату в літній період.

Методи визначення оптимальних параметрів мікроклімату

Для визначення зон теплового комфорту в приміщеннях зручно користуватися графіками Пономарьової (визначення області температур, що забезпечують тепловий комфорт в опалювальних приміщеннях (рис. 8.1), також номограмою Корінькова, розробленої стосовно до житлових будинків для визначення ефективних температур у літній період (рис. 8.2) [57].

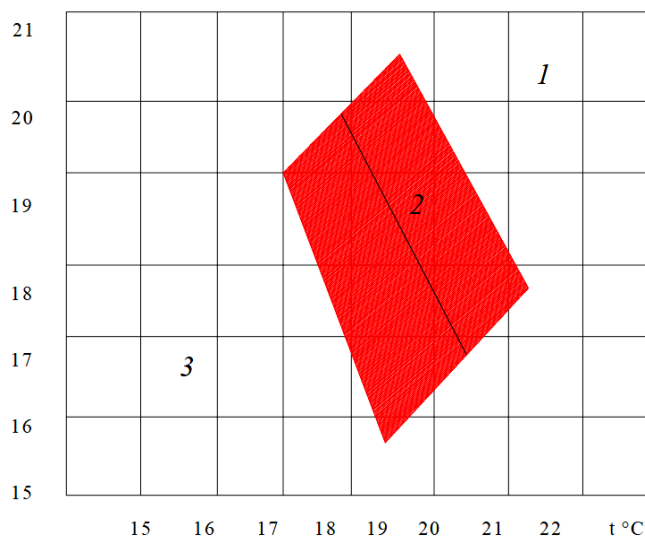


Рисунок 8.1 – Визначення області температур, що забезпечують тепловий комфорт в опалювальних приміщеннях: 1 – зона можливого комфорту; 2 – зона комфорту; 3 – зона можливого охолодження [57]

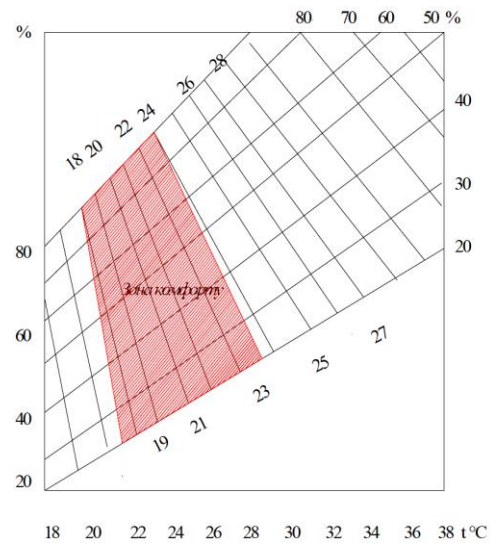


Рисунок 8.2 – Номограма для визначення ефективних температур у літню пору [57]

Користуючись номограмою, можна визначати параметри щодо забезпечення теплового комфорту приміщень. Сукупна дія на людину різних факторів теплового середовища безупинно пов'язана з особливостями геофізичного середовища і клімату, що зобов'язує

архітектора мати творчій підхід до проектування будівель та комплексно оцінювати фактори, що впливають на якість середовища, яке створюється в приміщеннях, та коливання фізичних параметрів цього середовища на протязі року. За комфортним станом організму людини в приміщеннях приймається середовище, яке характеризується тепловим балансом або рівновагою між втратами і кількістю тепла, що виробляється організмом людини у одиницю часу.

За незначного і рівномірного розподілу виділення тепла в приміщеннях (що спостерігається зазвичай у житлових, громадських та деяких виробничих будівлях) основним фактором повітрообміну є тепловий підпір, що характеризується зниженим тиском у нижній зоні приміщення (нижче атмосферного тиску) та підвищенням – у верхній зоні (підвищений тиск порівняно з атмосферним).

Від надлишкового тепла людина звільняється значно легше у разі зниження температури повітря і радіаційної температури (порівняно з температурою її шкірного покриву) та у разі зменшення вмісту вологи у приміщенні (порівняно з умістом вологості в шкірному покриві людини). Тепловіддачі шкіряного покриву в навколишнє середовище переважно сприяє швидкості руху повітря у приміщенні.

У таблиці 8.1 наведено рекомендовані параметри, що ураховують пристосування населення до клімату певного регіону та адаптацію організму людини до сезонної зміни теплового середовища в житлових приміщеннях [57].

Наведений метод оцінки мікроклімату доцільно використовувати не тільки для оцінки житлових, але й для громадських та деяких виробничих будівель. Однак для кожного конкретного випадку необхідно встановлювати оптимальні санітарно-гігієнічні параметри мікроклімату приміщень, які необхідно порівнювати із встановленими на базі необхідних розрахунків.

Наведений метод оцінки мікроклімату доцільно використовувати не тільки для оцінки житлових, але й для громадських та деяких виробничих будівель. Проте для кожного конкретного випадку необхідно встановлювати оптимальні санітарно-гігієнічні параметри мікроклімату приміщень, які необхідно порівнювати із встановленими на базі необхідних розрахунків.

Таблиця 8.1 – Рекомендовані основні параметри мікроклімату житла
(за Коріньковим В. Є.)

Параметри	Кліматичні райони		
	II	III	IV
Зимовий період			
Температура повітря, °С	18–20	18–19	17–18
Відносна вологість повітря, %	30–45	30–45	35–50
Швидкість руху повітря, м/с	0,08–0,1	0,08–0,1	0,08–0,1
Середня радіаційна температура поверхонь у приміщенні не нижче, °С	18	18	17
Літній період			
Температура повітря, °С	23–24	25–26	25–26
Відносна вологість повітря, %	35–50	30–60	30–60
Швидкість руху повітря, м/с	0,08–0,1	0,1–0,15	0,1–0,15
Середня радіаційна температура поверхонь у приміщенні не нижче, °С	27	28	30

Основи теплофізики дозволяють вирішувати найактуальніші проблеми сьогодення: створення оптимального мікроклімату житлового середовища, вирішення завдань із енергозбереження та зниження витрат теплоти в навколишнє середовище, що істотно впливає на екологічну ситуацію, техніко-економічні показники і капітальні витрати будівельних об'єктів [7].

Контрольні запитання

1. Якими засобами створюється комфортний мікроклімат приміщень?
2. Визначте санітарні норми мікроклімату.
3. Розтлумачте поняття біокомфورتу.
4. Назвіть критерії класифікації приміщень.
5. Фактори і методи визначення комфортного середовища.

ЧАСТИНА ІІІ СВІЛОТЕХНІКА Й ОСВІТЛЕННЯ

РОЗДІЛ 9 ОСНОВИ СВІЛОТЕХНІКИ

9.1 Основні поняття, величини, розмірності. Види та закони розповсюдження світлової енергії Сонця

9.1.1 Основні поняття та закони розповсюдження світлової енергії

Світло вважають потоком частинок, які не мають маси і називаються фотонами. Фотони також мають хвильові властивості. Світло – це тільки вузька смуга в спектрі електромагнітних коливань, де енергія може сприйматися людським оком. Світловий стимул тим яскравіший, чим більше фотонів відповідає тій чи іншій частоті [37].

Основна інформація про навколишній світ (близько 90 %) надходить через зорове сприйняття. Оптична зона сонячного спектра (10–340 000 нм) поділяється на інфрачервоне випромінювання (див. рис. 2.5) $\lambda = 34\ 000 \dots 760$ нм, видиме випромінювання $\lambda = 760 \dots 380$ нм, ультрафіолетове випромінювання (УФ) $\lambda = 380 \dots 10$ нм. Світло (видиме випромінювання) – це випромінювання, яке безпосередньо викликає зорове відчуття. За своєю природою це електромагнітні хвилі з довжиною хвилі $\lambda = 380 \dots 760$ нм [37].

Світло – це електромагнітне випромінювання, яке має хвильові і корпускулярні (квантові) властивості, що поширюються в просторі з граничною швидкістю до 300 000 км/с. На практиці під світлом розуміють електромагнітне вивчення обмеженого діапазону довжин хвиль або спектра, що викликає у разі дії на біологічні об'єкти відповідну специфічну реакцію.

Наука оптика (від грец. «*Ὀπτική*», «*optike*» – поява або погляд) – розділ фізики, який розглядає явища, пов'язані з поширенням електромагнітних хвиль переважно видимого і близьких до нього діапазонів (інфрачервоне і ультрафіолетове випромінювання). Оптика описує властивості світла і пояснює пов'язані з ним явища [100].

Світлотехнічні величини, що визначають показники освітлення, ґрунтуються на оцінці відчуття, які виникають від дії світлового випромінювання на очі. Освітлення характеризується кількісними та якісними показниками (рис. 9.1).

До кількісних показників належать: світловий потік – Φ (лм); сила світла – I (кд); освітленість – E (лк); яскравість – L (кд/м²).

Сила світла (I) характеризує просторову щільність, так зване відношення світлового потоку до тілесного кута, у межах якого цей потік розподіляється:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}, \quad (9.1)$$

де Φ – світловий потік, лм;

Ω – тілесний кут, ср.

Значення Ω визначається відношенням площі, що вирізується зі сфери довільного радіуса r , до квадрата цього радіуса:

$$\Omega = \frac{\Phi}{I}. \quad (9.2)$$

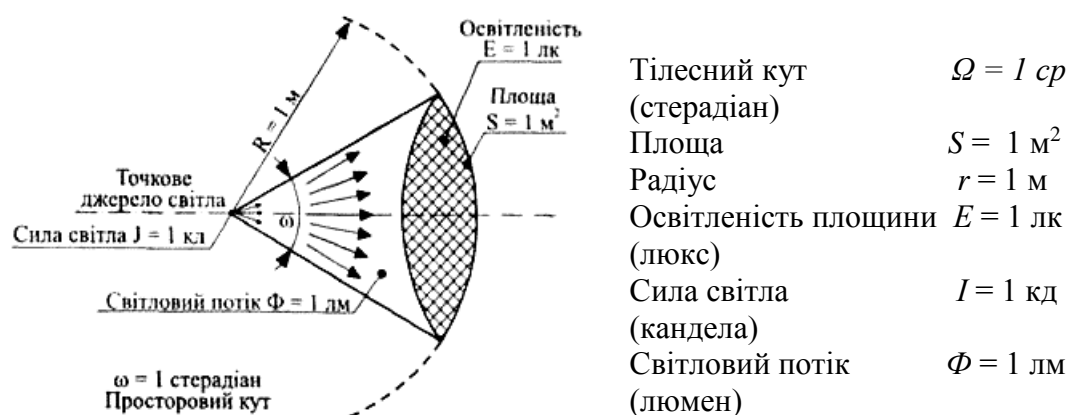


Рисунок 9.1 – Ілюстрація світлотехнічних понять [57]

За одиницю сили світла прийнята кандела (кд). Одна кандела – сила світла, що випромінюється з поверхні площею $1/600\,000 \text{ м}^2$ повного випромінювача (державний світловий еталон) у перпендикулярному напрямку за температури затвердіння платини (2 046,65) за тиску 101 325 Па. За одиницю сили світла приймається сила світла точкового джерела, яке випромінює в середині тілесного кута в 1 ср світловий потік у 1 лм.

Освітленість, E – поверхнева щільність світлового потоку, який падає на поверхню, це відношення світлового потоку Φ до площі освітлюваної поверхні S за умови його рівномірного розподілу:

$$E = \frac{\Phi}{S}. \quad (9.3)$$

Якщо світловий потік у 1 лм рівномірно розподілений на одиниці площі поверхні 1 м^2 , за одиницю освітленості E приймають 1 люкс (лк). Освітленість поверхні не залежить від її світлових властивостей.

Оцінити поняття освітленості можна, знаючи, що, наприклад, освітленість поверхні Землі в місячну ніч складає 0,2 лк, а в сонячний день

на екваторі доходить до 100 000 лк. Освітленість відкритого місця у хмарний день становить 1 000–2 000 лк, а вночі від зоряного неба – 0,03 лк; освітленість, необхідна для читання, дорівнює 30–50 лк.

Розрізняють *плоску освітленість* – з горизонтальним або вертикальним нахилом (відповідно до розташування освітлюваної площини) і *циліндричну*, яка є показником насиченості приміщення світлом від багатьох розосереджених джерел, разом із відбитим світлом від огорожувальних поверхонь.

Для оцінки розподілу освітленості в приміщенні застосовується коефіцієнт нерівномірності освітлення (на заданій поверхні), що є:

- або відношенням мінімальної до середньої освітленості поверхні;
- або відношенням мінімальної до максимальної освітленості поверхні.

Під час оцінки якісної сторони освітлення застосовуються поняття рівномірності розподілу світлового потоку, показник засліплювання, спектральний склад випромінювання, температура кольору тощо.

Показник засліпленості характеризує рівень погіршення бачення у разі появи в полі зору різко контрастної яскравості.

Пряма блискучість – виявляється за наявності світних поверхонь (вікон, світильників тощо) у напрямках, близьких до напрямку зору.

Периферична блискучість – виявляється за наявності світних поверхонь (вікон, світильників тощо) у напрямках, що не збігаються з напрямком зору.

Відбита блискучість – виявляється за наявності в полі зору елементів дзеркального відображення світних поверхонь, зокрема за наявності відбитих зображень, видимих до напрямку зору (у картинних галереях, проєктних кімнатах тощо).

Розрізняють два види *блискучості*: *дискомфортну*, зв'язану з неприємними відчуттями, але що не завжди погіршує видимість; *сліпучу*, що супроводжується різким порушенням видимості.

Під час вирішення практичних завдань, пов'язаних з видимістю, використовується поняття «*яскравість вуалювальної завіси, L_v* », яку необхідно накласти на тло й об'єкт спостереження для того, щоб граничний контраст за відсутності сліпучої блискучості став таким же, який спостерігається в умовах сліпучої блискучості.

Кількісний критерій для оцінки фізіологічної осліпленості. Світлове випромінювання, що розсіюється в очних середовищах, накладається на зовнішню яскравість поля зору й обумовлює зниження контрасту.

Оскільки рівень відчуття світла людським оком залежить від щільності світлового потоку (освітленості) на сітківці ока, то основне значення для зору має не освітленість якоїсь поверхні, а світловий потік Φ , що відбивається від цієї поверхні й потрапляє на зіницю. У зв'язку з цим уведено поняття яскравості.

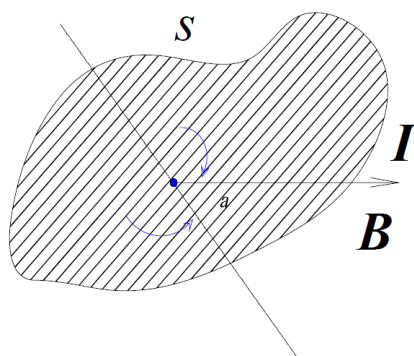


Рисунок 9.2 – Схема для визначення яскравості [57]

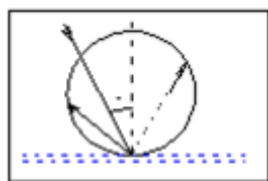
Яскравість (L , кд/м^2) – світлова величина, яка безпосередньо визначається оком (рис. 9.2). Вона становить поверхневу щільність сили світла (S) в конкретному напрямку або відношення сили світла (I) до площину проєкції поверхні (S), яка світиться (B) в перпендикулярному напрямку [57].

За одиницю яскравості прийнята кд/м^2 . Аркуш білого і паперу, освітлений лампою розжарювання потужністю 40 Вт, має яскравість $L = 40 \text{ кд/м}^2$. Яскравість є тією

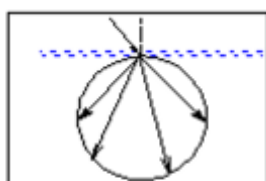
характеристикою світла, яка безпосередньо впливає на органи зору і на яку безпосередньо реагує око. Під час оцінювання яскравості світлового середовища в інтер'єрі вирішальне значення має яскравість світіння джерела світла й освітлюваних ними поверхонь.

За характером розподілу світлових потоків розрізняють такі відбиття [69]:

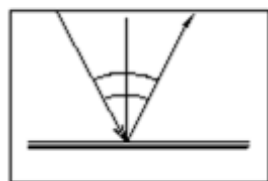
– **розсіяне (дифузійне)** відбиття оштукатуреної поверхні стелі, стін (рис. 9.3, а) або пропущення світла молочним склом (рис. 9.3, б);



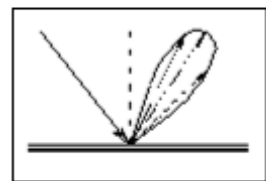
а



б



в



г

– **спрямоване** відбиття або пропущення, наприклад, під час відбиття світла від дзеркал або від полірованих поверхонь металу, дерева (рис. 9.3, в);

– **спрямовано-розсіяне** відбиття або пропущення, наприклад відбиття світла від поверхонь, пофарбованих масляною фарбою, або пропущення світла матовим склом (рис. 9.3, г).

Рисунок 9.3 – Основні види відбиття [57]

Порівняння спектрального (колірного) складу світлових потоків можливо шляхом використання поняття колірної температури.

Колірна температура – температура чорного тіла, за якої його випромінювання має ту саме кольоровість, що і розглянуте

випромінювання. Колірна температура виражається в градусах Кельвіна і характеризує не температуру джерела світла, а частотний розподіл у ньому світлової енергії.

Під час оцінювання колірного оброблення інтер'єрів і узгодженні її зі спектральними особливостями світла враховується:

1. Передача кольору – вплив спектрального складу джерела світла на зорове сприйняття кольорових об'єктів, порівнянне зі сприйняттям їх при висвітленні стандартними джерелами [94].

2. Якість передачі кольору – відповідність (за певних умов спостереження) зорових сприйнятів кольорового об'єкта, освітленого випробуваним і стандартним джерелами світла.

Мірою відповідності зорового сприйняття кольорового об'єкта, освітленого досліджуваним і стандартним джерелами світла за певних умов спостереження, слугує *індекс передачі кольору*.

9.1.2 Світлотехнічні закони Ламберта

Архітектурне мистецтво, насамперед, є взаємодією людини і природи, одним із способів роз'яснення протиріччя між діяльністю людини і природою [100]. Архітектура містить у собі синтез знань, особливе місце серед яких займає знання клімату місцевості і, зокрема, так званого *світлового клімату* – сукупності даних про природні ресурси світлової енергії в будь-якому регіоні будівництва.

Це сукупність знань:

- про інтенсивність світлової енергії;
- про співвідношення між прямими, розсіяними і відбитими складовими світлової радіації;
- про яскравість неба і про розподіл її за різної погоди;
- про динаміку освітлення.

В основу розрахунку і моделювання природного освітлення будинків покладені два закони: закон проєкції тілесного кута і закон світлотехнічної подоби.

Перший закон – проєкції тілесного кута, де говориться, що освітленість E , у будь-якій точці поверхні приміщення, що створена рівномірно світною поверхнею неба, прямо пропорційна яскравості неба і площі проєкції на освітлювану поверхню тілесного кута, під яким із розрахункової точки видна ділянка неба. Значення коефіцієнта корисної дії (КПО) визначається відношенням проєкції на освітлювану поверхню видимого з розрахункової точки приміщення ділянки неба до величини

$\pi = 3,14$ (рис. 9.4). Це відношення представляє геометричне вираження коефіцієнта природної освітленості [15].

Практичне значення цього коефіцієнта: користуючись ним, можна визначити відносну світлову активність світлопрорізів і порівнювати освітленість, створювану тим самим світлопрорізом, розташованим по-різному щодо робочої площини.

На основі цього закону розроблені графічні способи розрахунку природного освітлення (графіки Данилюка), розповсюдженні в проєктній практиці.

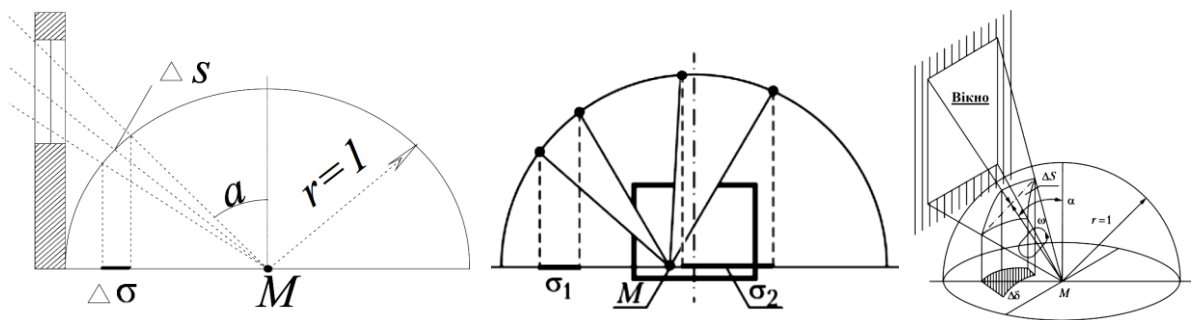


Рисунок 9.4 – Схема до закону тілесного кута [57]

Другий закон – закон світлотехнічної подоби. Сутність цього закону виявляється зі схеми. Освітленість в т. M приміщення здійснюється скрізь вікна, що мають яскравість L_1, L_2 . Різна яскравість може створюватися, наприклад, застосуванням різних сортів скла (віконного, листового, контрастного, матового тощо). Однак за різних розмірів вікон (I і II) освітленість у точці M здійснюється тим самим тілесним кутом, вершина якого збігається з точкою M (рис. 9.5) [15].

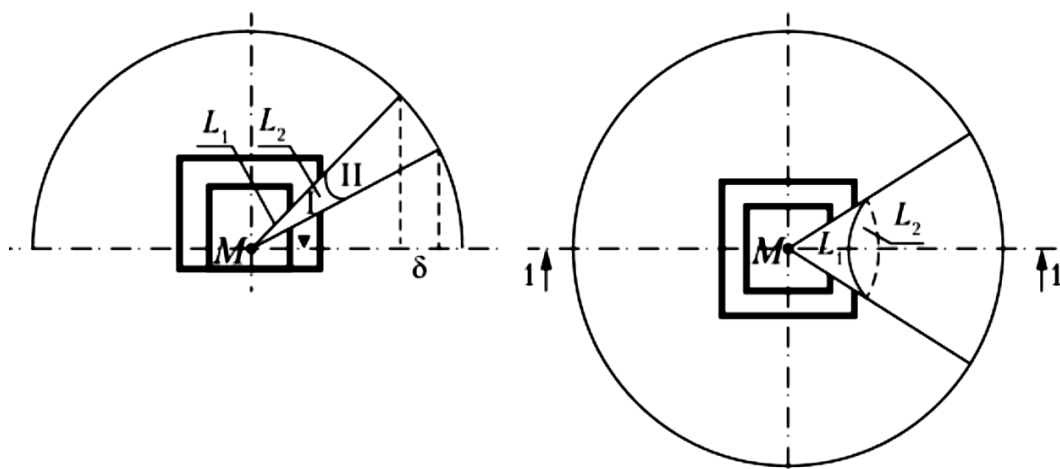


Рисунок 9.5 – Схема до закону світлотехнічної подоби [57]

Із закону проєкції тілесного кута випливає, що освітленість у точці М залишається постійною за умови, якщо $L_1 = L_2 = L_n = const$.

Отже, освітленість у будь-якій точці приміщення залежить від відносних розмірів приміщення (застосування закону використовується під час застосування методів моделювання).

Позитивна сторона знання законів зміни яскравості неба хмарного і ясного: допомагає архітекторові вибрати орієнтацію будинку за сторонами світу і намітити пластичне рішення фасадів будинку.

На вибір об'ємної композиції, пластики фасадів, ритму, метра членувань, а також фактури оздоблювальних матеріалів, і взагалі під час вирішення архітектурних завдань впливає *контрастність освітлення* (враховується в динамічності протягом дня і сезонів року). Виражається контрастність відношенням сумарної освітленості до суми освітленості від неба й освітленості від землі.

Контрастність природного освітлення змінюється в різних районах по-різному і залежить від висоти стояння сонця, характеру хмарності, стану підстильного шару землі.

Відсутність контрастності: у похмурі дні взимку (яскравість хмарного неба дорівнює яскравості сніжного покриву). Найбільша контрастність спостерігається влітку в районах Середньої Азії, Вірменії та інших, а найменша – у північних районах (Крайня Північ, Заполяр'я) [81].

9.1.3 Функції зору

Для створення дійсно повноцінного архітектурно-просторового середовища потрібні знання про саму людину, про те, як вона сприймає навколишній світ, який впливає на її почуття у визначених обставинах. Ці питання вирішуються на стику двох наук: архітектури та сфери медицини і психології. Без обліку психологічних особливостей людини неможливе вирішення архітектурних завдань на сучасному рівні [100].

Зір – це складна система, що виконує кілька функцій: світловідчуття, кольорове відчуття, сприйняття форми предметів (кількісною мірою цієї функції є гострота зору), здатність бачити великий простір при нерухомому погляді (поле зору), здатність поєднувати зображення двох очей в одне (бінокулярність зору). Усі функції залежать від попереднього досвіду і навчання (світловідчуття і кольорове відчуття – меншою мірою, гострота зору і бінокулярний зір – більшою).

Говорячи про сприйняття архітектурного середовища, зазвичай мають на увазі зорове сприйняття. Сприйняття – це цілісний образ

предмета, що виникає в результаті впливу елементів об'єктивного світу на органи почуттів [105].

Характер сприйняття обсягу і простору залежить від декількох умов: величини об'єкта, його геометричної характеристики, місця розташування спостерігача, кольору, освітленості, характеру навколишнього середовища тощо. У процесі сприйняття, насамперед, виявляється реакція людини на простір і масу об'єкта, тобто його об'ємно-просторову структуру.

Вона сприймається послідовно:

- 1) сприйняття загальних пропорцій об'єкта, його положення в просторі;
- 2) узагальнення сприйняття форми;
- 3) розходження основних структурних членувань;
- 4) майже повне сприйняття об'єкта, але без дрібних деталей;
- 5) оптимальне сприйняття.

Людина сприймає більшу частину інформації про навколишній світ завдяки зору. Найчастіше апарат зору вважають схожим на фотоапарат або телекамеру, що проєктує зовнішні об'єкти на сітківку – світлочутлива поверхня. Мозок «дивиться» на цю картинку і «бачить» все, що оточує людину (рис. 9.6) [6].

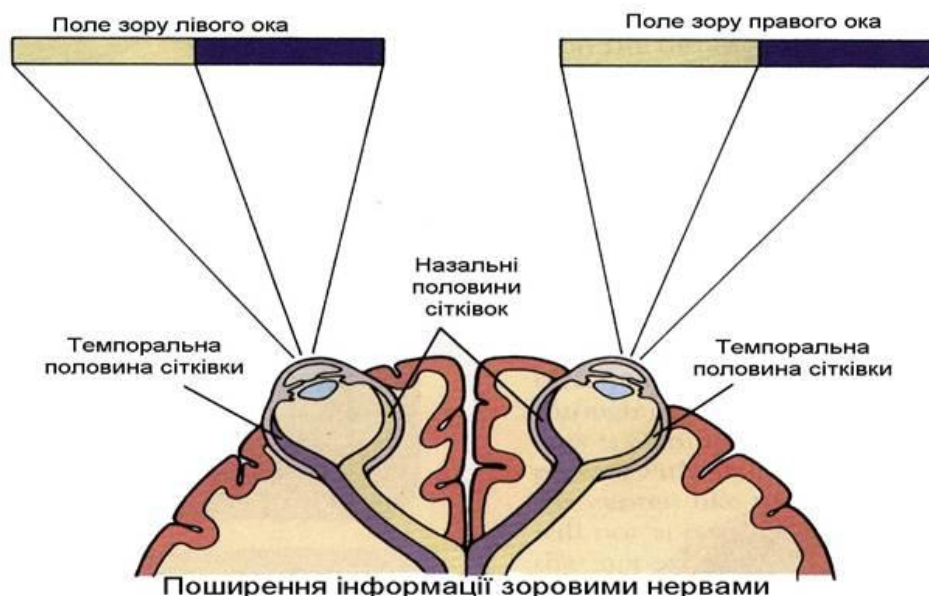


Рисунок 9.6 – Схема горизонтального розрізу ока [57]

Зір – сенсорне відчуття (одне з відчуттів), що сприймає світло і колір у вигляді зображення або картини. У тварин і людини функція зору здійснюється очима. Зорове сприйняття – це багаторівневий процес, що складається з трьох основних етапів, що здійснюються різними органами.

1. Послідовне перетворення світла за допомогою оптичних структур ока в проєктовану на сітківку картинку, і далі в електричні сигнали. Цей етап здійснює око.

2. Передача електричного сигналу по провідних шляхах нервової системи в різні відділи мозку, асоційовані із зоровим сприйняттям.

3. На третьому етапі здійснюється аналіз електричного сигналу головним мозком із формуванням зорового відчуття, усвідомлення наявності в полі зору того чи іншого зорового образу.

В основі фізіології зору полягає здатність перетворювати різні довжини хвиль світлового спектра в електричні сигнали. У сітківці ока людини є різні за функцією клітини, чутливі до кожного з трьох основних кольорів. Рівномірне подразнення цих клітин викликає відчуття білого кольору [6].

У 1756 році М. В. Ломоносов, вперше в монографії «Про три матерії дна ока», сформулював трискладову теорію колірної зору. Ще 100 років пізніше цю теорію розвинув німецький вчений Г. Гельмгольц, який не згадував відомої роботи Ломоносова «Про походження світу», незважаючи на те, що вона була перекладена і опублікована німецькою мовою. Задля необхідності націлювати око на певний об'єкт, обертаючи його в різних напрямках, природа створила у більшості видів тварин форму очного яблука у вигляді кулі. На шляху до світлосприймаючих оболонок ока на сітківці світло проходить крізь кілька прозорих середовищ: передню і задню поверхні рогівки, кришталік і склоподібне тіло. Різна кривизна цих поверхонь визначає заломлення світлових променів всередині ока (рис. 9.6). Під час проходження світла через оптичні середовища ока зображення на сітківці виходить дійсним, зменшеним і зворотним (тобто перевернутим зверху вниз і розгорнутим зліва направо) [57].

За сучасними уявленнями зір – складна функціональна система. Прийнято розрізняти кілька функцій зору: *світловідчуття*, *відчуття кольору*, сприйняття форми об'єкта, кількісною мірою якого є *гострота зору*, здатність з'єднувати зображення двох очей і локалізувати отриманий образ предмета за напрямком і за відносною глибиною від спостерігача – *бінокулярний зір*.

Гострота зору визначається величиною, оберненою куту зору, під яким сприймається найменший видимий предмет.

Усі зорові функції залежать від попереднього досвіду і навчання індивідуума. Меншою мірою це такі функції, як світловідчуття і відчуття кольору, а в більшій – гострота зору і бінокулярний зір.

Монокулярний і бінокулярний зір. Розглядання предметів людиною одним оком навколишнього простору називається монокулярним зором. При такому зорі справжнє сприйняття обсягу вкрай важке. Іноді у відповідних умовах освітлення при розгляді одним оком скульптури, барельєфів і ліпних прикрас у пофарбованих одним кольором деталях, опуклості можуть здаватися увігнутими, а вигнуті поверхні – опуклими. При розгляді двох, що не затуляють один одного, предметів одним оком не завжди буває можливим визначити, який із них розташований ближче. Проте уявлення про сприйняття обсягу при монокулярному зорі все-таки існує [7, 57].

Повне, правильне і точне сприйняття рельєфності дає зір обома очима – бінокулярний зір. Бінокулярний зір має три сторони:

- злиття двох зображень, завдяки чому досягається деяке підвищення надійності інформації про об'єкт;
- локалізація напрямку на предмет у поле зору;
- визначення відносної дальності предметів від спостерігача завдяки неоднаковій їхньої проєкції на лічильниках обох очей – стереоскопічний зір.

На світлову чутливість може впливати *світловий об'єкт як прямий подразник*.

Світлова чутливість залежить також від *тривалості світлового подразнення*, що певною мірою може компенсувати недостатню яскравість об'єкта. Тривалість експозиції світлового об'єкта за найменшої його яскравості, за якої виникає відчуття світла, вважають оптимальною. Вона дорівнює приблизно 0,005 с [6].

На відміну від абсолютної світлової чутливості контрастна або розпізнавальна, світлова чутливість дозволяє визначати різницю яскравості двох або декількох об'єктів. Розпізнавальна світлова чутливість підвищується у разі збільшення контрасту на межі світлового об'єкта з навколишнім тлом.

Світловідчуття й відчуття кольору є тією основою, на якій будуються інші функції зору.

Світловідчуття – складний процес трансформації фізичної енергії світла в біологічну. Світловідчуття становить собою найбільш ранню функцію зорового аналізатора і пов'язане зі сприйняттям ахроматичних сірих кольорів, розташованих між білим і чорним. Світловідчуття дає можливість орієнтуватися в умовах незначної освітленості в сутінках і в нічний час. Світловідчуття органа зору людини характеризується надзвичайно високою чутливістю. Зір можливий тільки в межах порівняно

вужкої ділянки спектра електромагнітних хвиль. Водночас спектральна чутливість ока збігається з максимумом кривої розподілу енергії сонця.

Відчуття кольору. Світло будь-якого спектрального складу може бути розкладено на ці три складові і викликає відповідь трьох світлочутливих приймачів ока. Стосовно до їхнього порушення відбувається впізнання кольору випромінювання, що потрапило в око [6].

Чутливість зорового аналізатора до світла визначають за допомогою рівнів порогів світловідчуття. Найслабше світлове подразнення, що викликає відчуття світла, називають *абсолютним світловим порогом* (J). Величина, обернена світловому порогу, характеризує світлову чутливість (E):

$$E = \frac{1}{J}. \quad (9.4)$$

Чутливість ока до світла варіює в широких межах і залежить, насамперед, від навколишньої освітленості. Під час перебування людини в темряві, поріг світловідчуття знижується, під час перебування людини в темряві, поріг світловідчуття знижується, у разі перебування на світлі – зростає. Ця властивість зору називається зоровою адаптацією.

Зорова адаптація – пристосування ока до різних рівнів яскравості шляхом зміни абсолютної світлової чутливості зорового аналізатора. Ця чутливість різко перевищується (у десятки і навіть сотню разів) у темряві, що уможливорює сприйняття дуже слабких джерел світла, і знижується у разі переходу від меншої освітленості до більшої. Відповідно розрізняють зорову адаптацію у темряві та світлову [37, 57].

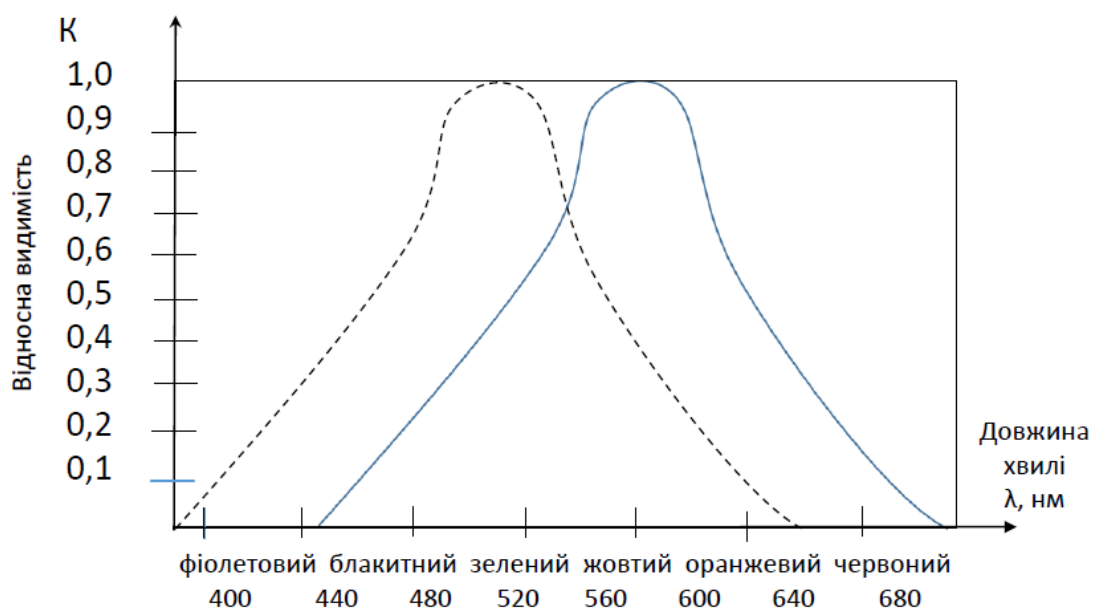


Рисунок 9.7 – Графік відносної видимості за денного та сутінкового (пунктирна крива) зором [57]

У функціональному аспекті око складається зі світлопровідного та світлосприймального відділів.

Залежно від освітленості розглянутих предметів варто розрізняти:

- нічний, або скотопічний зір (гр. *Skotos* – морок);
- сутінковий або мезопічний зір (гр. *Mesos* – середній, проміжний);
- денний або фотопічний зір (гр. *fotos* – світло).

Денний зір, здійснюваний колбочками за великої інтенсивності освітлення, характеризується високою гостротою і добрим сприйняттям кольору.

Сутінковий зір забезпечують палички за слабого ступеня освітленості. Воно характеризується низькою гостротою і відсутністю сприйняття кольорів (рис. 9.7).

Нічний зір також здійснюється паличками за дуже низької (так званої граничної і понад порогу) освітленості і зводиться лише до відчуття світла [6].

Таким чином, зорові функції тісно пов'язані один з одним і становлять єдине ціле, назване актом зору.

9.1.4 Оптичні ілюзії

Ілюзії – це викривлене, неадекватне відображення властивостей сприйманого об'єкта. У перекладі з латини слово «ілюзія» означає *помилка*. Зорові ілюзії (лат. «*illudere*» – обманювати) – спотворення зорового сприйняття приватних ознак тих чи інших предметів обумовлені передусім дією механізмів, що забезпечують константність видимих параметрів і форм об'єктів. Ілюзії з давніх часів інтерпретувалися як деякі збої в роботі зорової системи. Вивченням причин їхнього виникнення займалося багато дослідників [85].

До оптичних ілюзій можна зарахувати: *фізіологічні, фізичні та психологічні* ілюзії. Психологічні ілюзії обумовлені особливостями оптичного сприйняття людського ока та проявляються у нашому повсякденному житті дуже часто.

Знання особливостей оптичного сприйняття має велике значення в образотворчому мистецтві та архітектурі, де вміле їхнє використання розширює можливості художника або архітектора.

Використовуючи ці знання під час побудови картографічних художніх шрифтів, а також під час роботи акварельними фарбами, людина може оптично посилити глибину простору, підкреслити або наблизити предмет до спостерігача.

Сила ілюзорного бачення може бути різною. Вона залежить від образотворчих властивостей об'єкта вивчення, умов розгляду, психофізіологічних характеристик спостерігача. Значення ілюзії також може бути різним. Ілюзії – це не завжди лише перешкоди. Із досвіду відомо, що зорові ілюзії поділяють на три різновиди [115]:

1. Ілюзії ефемерні, легко руйновані як тільки спостерігачу стає відомий справжній стан речей. Такі всі психологічні ілюзії, обмани, думки. До них належать, наприклад, ілюзорна неправильна думка про справжні розміри об'єктів на знімках, що не містять еталонних предметів відомих розмірів.

2. Ілюзії не стійкі, кориговані мисленням, які можуть бути свідомо подолані спостерігачем. Широко відома, наприклад, ілюзія об'ємності земної поверхні на картах: гір, горбів, долин, ярів, що виникає за наявності світлотіні. Ця ілюзія створює правильне і неправильне, зворотне, враження про рельєф.

3. Ілюзії стійкі, які не зникають, навіть якщо спостерігачу добре відомо, що спостережуване явище відповідає дійсності. Звичайно, такі ілюзії мають фізіологічні походження. Наприклад, штучне стереоскопічне бачення. Стійкий характер мають також ілюзії світлового і тонового контрасту, за яких сіра пляма здається світлішою, ніж вона ж на білому фоні. Насправді, можуть виникати одночасно різні ілюзії.

Більшість зорових ілюзій має паралелі в дотику. Прийнято виділяти такі види зорових ілюзій (табл. 9.1) [57]:

– ілюзії, засновані на таких фізіологічних явищах, як іррадіація збудження, у сітківці, завдяки дії якої обумовлено сприйняття світлих предметів на чорному фоні як більших, ніж об'єктивно рівних із ними чорних предметів на світлому фоні;

– довжина вертикальних ліній сприймається як велика порівняно із горизонтальними, об'єктивно рівними їм;

– ілюзія контрасту (ілюзія Г. Еббінгауза), за якої один і той саме предмет сприймається як більший серед маленьких фонових предметів і менше серед великих фонових предметів;

– поширення ознак цілої фігури на її частини, як наприклад, в ілюзії Мюллера-Лаєра, у якій однакові прямі сприймаються як неоднакові, залежно від їхнього завершення;

– ілюзії, зумовлені застосуванням штрихування, коли паралельні лінії сприймаються вигнутими (ілюзія Цельнера);

– ілюзії, засновані на переоцінюванні величин гострих кутів;

– автокінетичний феномен (грец. «autos» – сам + «kinema» – рух і «phainomenon» – є), за якого якщо в темному приміщенні на екран або стіну проєктується маленька нерухома світлова пляма, то вона здається рухомою.

Таблиця 9.1 – Зорові ілюзії та феномени [57]

	Зорові перекручення	Подвійні зображення	
	Ілюзії сприйняття розміру	Співвідношення фігури і фону	
	Ілюзії кольору і контрасту	Фігури, які здаються	
	Ефект післядії	Ілюзії сприйняття глибини	
	Ілюзії руху	Неможливі фігури	
	Ефект перцептивної готовності	Малюнок-перевертень	
	Визнання образів	Парейдоличні ілюзії	

Здається рух, за якого виникає суб'єктивне сприйняття руху за послідовного висування нерухомих стимулів, що знаходяться в різних точках простору. Може виникати як у зоровій системі, так і в слуховій або тактильній. На основі використання цієї ілюзії був створений кінематограф.

Ілюзія сприйняття кольору відома дуже давно – більше століття тому було з'ясовано, що у разі виникнення зображення, яке складається з

темних і світлих областей, на сітківці ока, світлу притаманна можливість як би перетікати на затемнені ділянки з яскраво освітлених ділянок.

Ілюзія сприйняття глибини становить неадекватне відображення предмета, який сприймається, а також властивостей цього предмета [1].

Ілюзія сприйняття розміру викликана тим, що обман зору часто призводить до зовсім неправильної кількісної оцінки геометричних величин, які існують в реальності. Крім того, оцінки геометричних величин, що зроблені окоміром, знаходяться в сильній залежності від характеру фону зображення.

Оптико-геометричні ілюзії

Оптичні ілюзії – це оптичний обман нашого мозку. Око бачить, що нарисований один об'єкт, проте мозок розуміє цей об'єкт по-своєму. Коли око одержує картинку – включається велика кількість процесів в мозку людини й він починає аналізувати цей процес, як комп'ютер. Починається аналіз розташування основних граней і кутів, структури кольору або позиції джерел світла.

Основне питання, яке цікавить психологів та художників, як на двомірному зображенні на сітківці відтворюється тривимірний світ [85].

Можливо, зорова система використовує певні ознаки глибини і віддаленості, наприклад, принцип перспективи, що передбачає, що всі паралельні лінії сходяться на рівні горизонту, а розміри об'єкта у його віддаленні від спостерігача пропорційно зменшуються.



Рисунок 9.8 – Зображення людей однакового зросту [115]

Дві постаті людини, які зображені на рисунку 9.8, мають однаковий зріст, але якщо подивитися на одного із них, а саме на того, що стоїть на передньому плані, візуально перший здається карликом порівняно з постаттю чоловіка, який знаходиться на віддалі. Якщо цих людей поставити поряд, то можна побачити, що обидві зображені на рисунку постаті абсолютно однакові [115].

Одна з найвідоміших оптико-геометричних ілюзій – ілюзія Мюллера-Лаєра (рис. 9.9) [115]. Подивившись на цей малюнок, більшість спостерігачів скаже, що лівий відрізок зі стрілочками назовні довше правого зі стрілочками, спрямованими всередину. Враження настільки сильне, що, згідно з

експериментальними даними дослідів стверджують, що довжина лівого відрізка на 25–30 % перевищує довжину правого.



Рисунок 9.9 – Ілюзія Мюллера-Лаєра [115]

Ще один приклад оптико-геометричних ілюзій – ілюзія Понці (рис. 9.10) [115] – також ілюструє спотворення сприйняття розміру. Лівий відрізок здається значно більше правого. Було запропоновано безліч теорій, що пояснюють подібні спотворення. Одна з найбільш цікавих гіпотез (Gregory, Day, Leibowitz et al.) передбачає, що людина інтерпретує обидві картинки як плоскі зображення в перспективі. Стрілки на кінцях відрізків, а також сходження косих променів в одній точці створюють ознаки перспективи, і людині здається, що відрізки розташовані на різній глибині щодо спостерігача.

З огляду на ці ознаки, а також однакову проєкцію відрізків на рисунку 9.9, зорова система змушена зробити висновок, що вони різного розміру. Ті фрагменти малюнку, які здаються більш віддаленими, сприймаються великими за розміром. Значення перспективи для сприйняття ілюзії Мюллера-Лаєра ілюструє рисунок 9.11 [115].

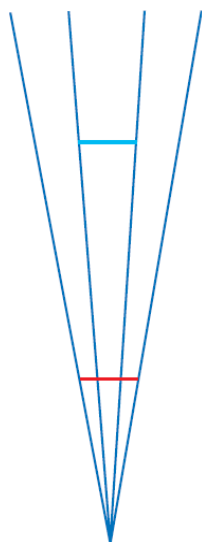


Рисунок 9.10 – Ілюзія Понці [115]

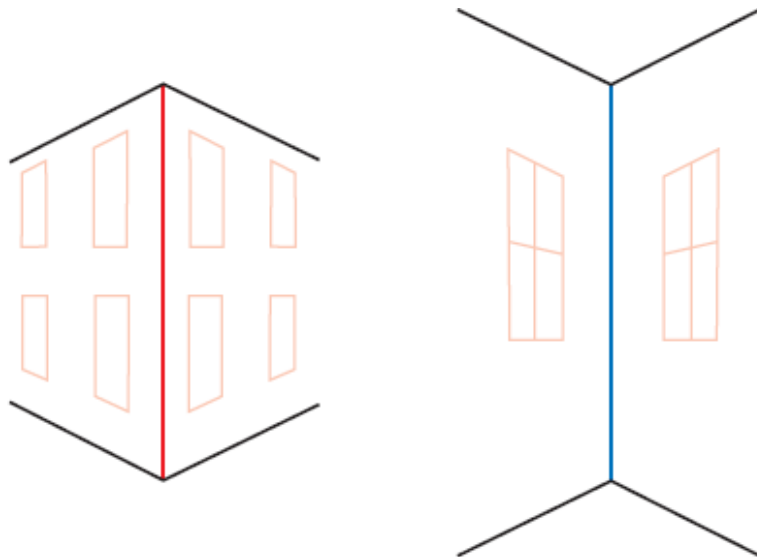


Рисунок 9.11 – Значення перспективи для сприйняття ілюзії Мюллера-Лаєра [115]

У повсякденному житті нас оточує безліч прямокутних предметів: кімнати, вікна, будинки, типові обриси, які можна бачити на рисунку

9.10 а, б. Отже, зображення, на якому лінії розходяться, можна сприймати як кут будинку, розташований далі від спостерігача, у той час як рисунок, на якому лінії сходяться, сприймається як кут будинку, розташований ближче [115].

Аналогічно можна пояснити ілюзію Понці. Косі лінії, що сходяться в одній точці, асоціюються або з довгим шосе, або із залізничним полотном, на якому лежать два предмети. Зорові шаблони, сформовані таким *прямокутним* оточенням, змушують людину помилятися при погляді на рисунки 9.8, 9.9. Але якщо ввести в малюнок елементи *ландшафту*, ілюзія зникає. Аналіз запропонованого пояснення оптико-геометричних ілюзій свідчить, що, по-перше, усі параметри зорового образу взаємопов'язані, завдяки чому і виникає цілісне сприйняття, відтворюється адекватна картина зовнішнього світу.

По-друге, на сприйняття впливають сформовані повсякденним досвідом *стереотипи*, наприклад, уявлення про те, що світ тримірний, починає працювати, як тільки в картинку вносяться ознаки, що вказують на перспективу.

Прикладом того, як можна зруйнувати цілісний образ об'єкта, є так звані «неможливі», суперечливі фігури, картини з порушеною перспективою (див. рис. 9.11). Неможлива ілюзія «Сходи Пенроуза» (рис. 9.12) та її інтерпретація в картині М. Ешера «Сходження та спуск» (рис. 9.13) добре це ілюструє. На рисунку 9.11 кожен окремих проліт сходів говорить про те, що він піднімається вгору, проте, пройшовши чотири прольоти, він виявляється в тому ж місці, з якого почав свій шлях. Ілюзія є неможливою, тому що сходи не сприймаються як єдине ціле, оскільки немає узгодженості між окремими її фрагментами. Раз по разу спостерігач стежить поглядом за сходинками, що ведуть нагору, намагаючись знайти спосіб вирішення цієї проблеми, і не знаходить його [115].

Найбільша кількість ілюзій сприйняття спостерігається в області зору. Особливо численними зоровими ілюзіями («обмани зору») є такі, що виникають під час відображення деяких просторових властивостей предметів. Зорові ілюзії – це неправильне чи викривлене сприйняття величини, форми і віддаленості предметів [115].

Архітектори у всі часи намагалися досягти балансу практичності та естетичної краси у своїх творіннях. Деякі майстри воліли створювати незвичайні архітектурні об'єкти зі складними малюнками за допомогою оптичних ефектів, які не шкодили практичності. Оптичні ілюзії в архітектурі змушують нас вірити в те, чого насправді не існує [1].

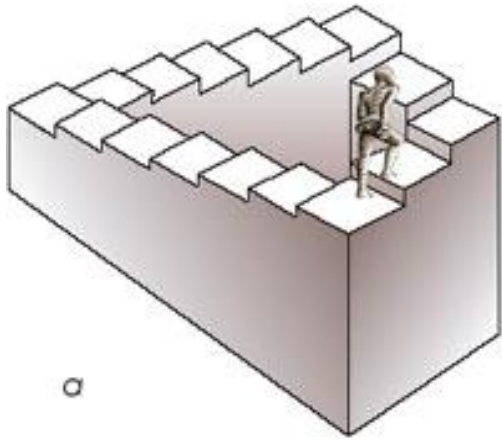


Рисунок 9.12 – Неможлива ілюзія «Сходи Пенроуза» [115]

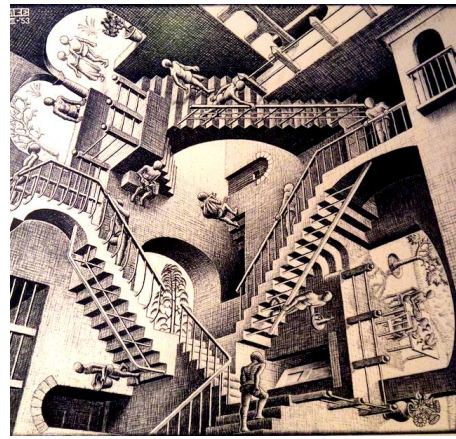


Рисунок 9.13 – «Сходження та спуск», худ. М. Ешер [115]

Оптичні ілюзії не є чимось новим в архітектурі. Грецький Парфенон, збудований 25 століть тому, є найтипівішим прикладом величезної ілюзії. Проте античні майстри не прагнули змусити цю споруду виглядати чимось, чим вона не є насправді, а хотіли підкреслити деякі її риси (рис. 9.14) [1].



Рисунок 9.14 – Античний Парфенон [1]

Парфенон був побудований архітектором Каллікратом у 447–438 роках до н. е. У випадку з цим стародавнім храмом архітектор за

допомогою ілюзій хотів підкреслити велич споруди. Використовуючи «закон криватури» (Криватура – кривизна обриси колони), що спеціально надає колоні деяку кривизну, щоб та здавалася рівною і стрункою, також злегка потовщені кутові колони, загнуті всередину пілони і підлога, яка в центрі споруди вище на 6 см, Калликрат хотів скорегувати й довести до досконалості зорове сприйняття споруди в цілому, яка здається більшою за розміром, ніж є насправді [1].

Античні майстри як давньогрецькі, так і давньоримські, успішно користувалися своїми знаннями законів оптики і перспективи, створюючи незвичайні мозаїки з оптичними ілюзіями (рис. 9.15) [62].

Такими мозаїками часто прикрашали підлогу. Ці знання знову почали використовувати в епоху Відродження. Художники та архітектори створювали ілюзорні підлоги в строгому науковому дизайні. Яскравим прикладом таких оптичних ілюзій є підлога в соборі аргентинського міста Сальтас (рис. 9.16, а) [62].

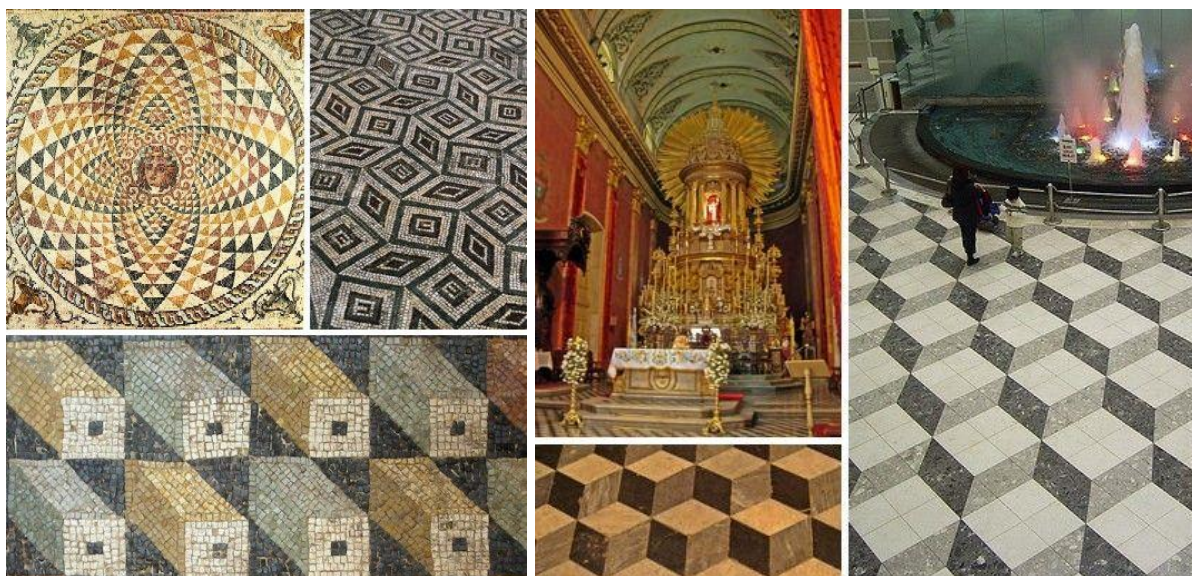


Рисунок 9.15 – Мозаїчні підлоги Стародавнього Риму [1]

а

б

Рисунок 9.16 – Мозаїчні підлоги середньовіччя та сучасності: а – мозаїчна підлога у соборі Сальтас (Аргентина); б – мозаїчна підлога у шопінг-центрі «Саншайн Сіті» у Токіо [1]

Мозаїчна підлога у соборі Сальтас (Аргентина) (рис. 9.16, а) та у шопінг-центрі «Саншайн Сіті» у Токіо (рис. 9.16, б) – відгомін естетики Відродження. У період Ренесансу античні традиції знайшли нове звучання, виразившись у творчості Леонардо і Мікеланджело [62].

Використовуючи досвід минулого та спираючись на позитивні якості зорових та оптичних ілюзій, сучасні архітектори втілюють в образи архітектурного середовища іноді саме такі засоби виразності форми об'єктів, що створює виразне, неповторне та унікальне просторове середовище [1].

Найкращим прикладом оптичної ілюзії в архітектурі сьогодення є будинок митної служби у Мельбурні, Австралія. Кожен поверх будинку однакової висоти, хоча складається враження, ніби вони то розширюються, то звужуються. Цей будинок відтворює так звану «ілюзію стінки кафетерію», яку помітили у 1979 році в одній із кав'ярень міста Брістоль, Англія (рис. 9.17) [1].

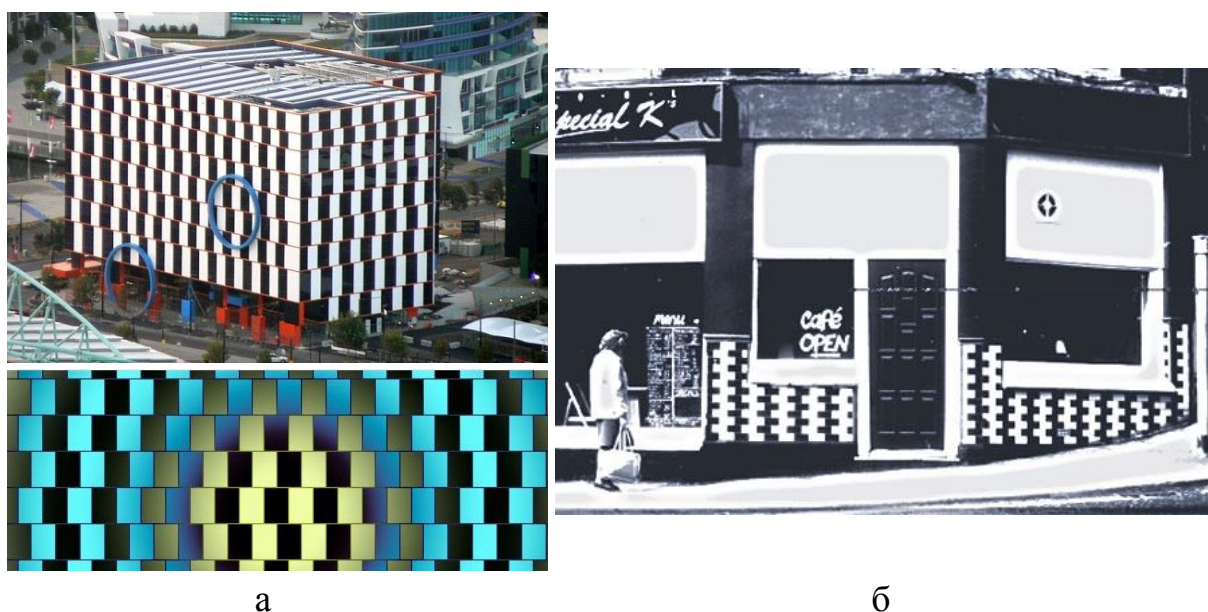


Рисунок 9.17 – Приклади оптичних ілюзій: а – будинок митної служби, м. Мельбурн, Австралія; б – кав'ярня у м. Брістоль, Англія [1]

Сьогодні завдяки оптичним ілюзіям можна впливати на зорове сприйняття інтер'єру: розширювати, звужувати, подовжувати або поглиблювати простір кімнат за допомогою кольору, малюнку і спеціальної побудови композиції. В оформленні інтер'єру велику роль відіграє колір – відчуття простору людиною несвідомо формується з навколишніх кольорів, які можуть абсолютно змінити сприйняття інтер'єру приміщення. Основні правила оптичної зміни простору приміщення за допомогою малюнків – великий малюнок притягує до себе увагу. У цьому випадку на задній стіні – вкорочує та зменшує приміщення. Дрібний малюнок збільшує і розсовує приміщення, особливо якщо в ньому переважають світлі тони. За допомогою правильного підбору кольору в

дизайні інтер'єру можна створювати різноманітні візуальні ілюзії. Стіни можуть здатися приосадуватими або високими тільки лише завдяки кольору. Підбір певних кольорів в інтер'єрі може «підняти» стелю або «зменшити» простір. Можна змусити візуально зникнути предмет, пофарбувавши його в колір фону, а можна підкреслити будь-який предмет, правильно вибравши для нього фон. Низька стеля, звичайно, проблема, але у разі грамотного дизайну та застосування деяких оптичних ілюзій, можна не тільки обійти цей мінус, а й обіграти його.

Людина сприймає оточуючі її предмети, насамперед, завдяки виділенню силуетів з навколишнього оточення. І чим сильніше контраст силуету і фону, тим швидше і легше їх розпізнати – визначити об'єкт. Саме тому контраст є одним із найбільш сильних художніх засобів як у живопису, так й у архітектурному інтер'єрі. Слово «контраст» походить від французького «*contraste*», що означає «протилежність». Явища одночасного та крайового контрасту – теж у деякій мірі оптичні ілюзії.

Художники та архітектори створили систему оптичних корективів форми. Оптичні корективи усувають негативний вплив оптико-геометричних ілюзій, неточності пропорцій при сприйнятті форми у ракурсі. Разом із цим враховуються особливості зорового сприйняття віддалених від глядача предметів, а також вплив повітряної перспективи, освітлення. Оформлення приміщень вертикальними та горизонтальними смугами створює враження спокою або руху, тобто динамічну або статичну композицію. Знання законів оптичних ілюзій, уміння уявити предмет в оточенні інших, які будуть із ним взаємодіяти у визначеному середовищі, необхідно для професійної навички архітектора [85].

Контрольні запитання

1. Назвіть основні поняття та закони розповсюдження світлової енергії.
2. Розтлумачте сутність світлотехнічних законів Ламберта.
3. Назвіть основні функції зору.
4. У чому полягає практичне значення теорії оптичних ілюзій для формування архітектурного простору.

РОЗДІЛ 10 АРХІТЕКТУРНЕ ОСВІТЛЕННЯ

10.1 Природне освітлення, його функції, види, системи, кількісні і якісні одиниці

10.1.1 Природне освітлення, його функції, види, системи і якісні одиниці

Освітлення відіграє важливу роль у житті людини. Близько 90 % інформації сприймається через зоровий канал, тому правильно виконане раціональне освітлення має важливе значення для виконання всіх видів робіт. Світло є не тільки важливою умовою роботи зорового аналізатора, але й біологічним фактором розвитку організму людини загалом. Для людини день і ніч, світло і темрява визначають біологічний ритм – бадьорість та сон. Отже, недостатня освітленість або її надмірна кількість знижують рівень збудженості центральної нервової системи і, що природно, активність усіх життєвих процесів. Раціональне освітлення є важливим фактором загальної культури виробництва. Неможливо забезпечити чистоту та порядок у приміщенні, у якому напівтемрява, світильники брудні або в занедбаному стані [37].

За джерелом освітлення поділяють на природне (від Сонця) і штучне.

Природне освітлення створюється природними джерелами: прямими сонячними променями і дифузним (розсіяним) світлом небосхилу. Інтенсивність і спектральний склад природного освітлення змінюються залежно від географічної широти, часу доби, ступеня хмарності й прозорості атмосфери, ступеня забруднення атмосферного повітря, пори року. Цей вид освітлення біологічно найціннішим, оскільки до нього максимально пристосоване людське око [57].

Залежно від конструктивного виконання й розташування прорізів для пропускання світла природне освітлення поділяється на: бокове (одно- або двобічне), що здійснюється через світлові отвори (вікна) у зовнішніх стінах; верхнє, здійснюється через отвори (ліхтарі) у дахах і перекриттях; комбіноване – поєднання верхнього та бокового освітлення [101]. Тип необхідного природного освітлення встановлюється на основі розмірів (ширини) приміщення. При ширини приміщення до 12 м рекомендується бічне одностороннє освітлення, за шириною більше 12 м і до 24 м – бокове двостороннє. Якщо ж ширина приміщення більша за 24 м, то освітлення бажано мати комбінованим (рис. 10.1).

Найбільш гігієнічним є бокове освітлення, проникаюче скрізь вікна, оскільки верхнє світло за однієї і тієї самої площі скління створює меншу

освітленість приміщення; крім того, світлові прорізи і ліхтарі, розташовані в стелі, менш зручні для прибирання і вимагають спеціальних пристосувань для цієї мети. Можна використовувати вторинне освітлення, тобто освітлення через засклені перегородки з сусіднього приміщення, обладнаного вікнами. Однак воно не відповідає гігієнічним вимогам і допускається тільки в таких приміщеннях, як коридори, гардероби, санвузли, душові, підсобні приміщення, мийні відділення [101].

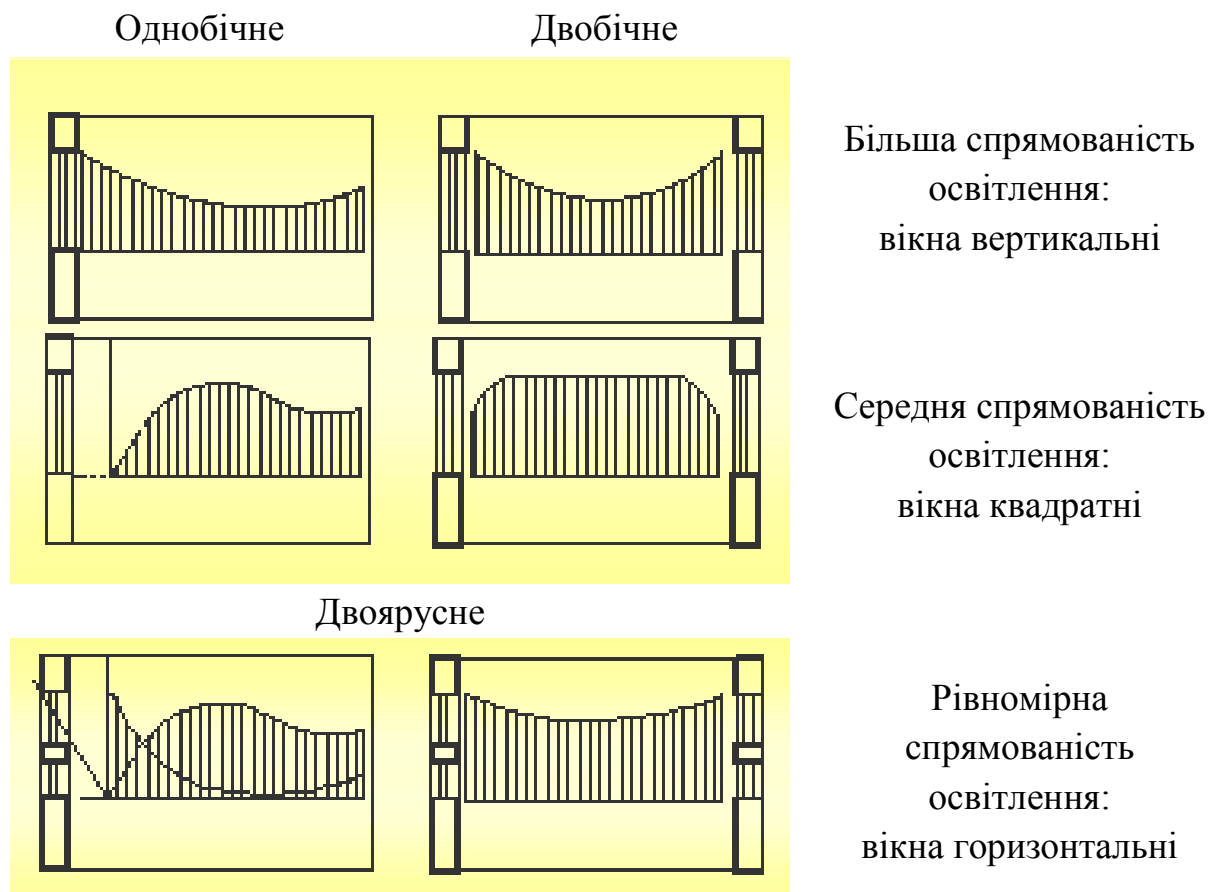


Рисунок 10.1 – Класифікація прийомів бокового освітлення скрізь вікна [57]

Природне освітлення за своїм спектральним складом найбільш сприятливе.

Його рівень характеризується коефіцієнтом природної освітленості (E). Це відношення природної освітленості всередині приміщення ($E_{в\text{ік}}$) до зовнішньої горизонтальної освітленості ($E_{з\text{ов}}$):

$$E = \frac{E_{в\text{ік}}}{E_{з\text{ов}}} \cdot 100. \quad (10.1)$$

Для районів м. Харкова та м. Полтави згідно з ДБН мінімальне значення коефіцієнта природної освітленості (КПО) для навчальних приміщень складає 1,5 %, для кабінетів креслення – 2,5 %. Крім цього

показника, у будівництві широко використовують поняття світлового коефіцієнта (CK) – це відношення площі вікон ($S_{вік}$) до площі підлоги ($S_{нід}$):

$$CK = \frac{S_{вік}}{S_{нід}}. \quad (10.2)$$

Для навчальних приміщень він має бути більше 1/4 (1/6).

Метою розрахунку є визначення площі вікон (m^2) для заданого приміщення. Найпростішим розрахунком є розрахунок за світловим коефіцієнтом:

$$S_{вік} = S_{нід} \cdot CK. \quad (10.3)$$

Оптимальний світловий режим у приміщеннях створює найкращі умови освітлення робочого місця або об'єкта, що сприймається людиною під час спостереження. Він досягається шляхом:

- правильного обліку світлового клімату географічного місця (де передбачається будівництво проєктованого об'єкта);
- правильного вибору розмірів, форми і колірної оброблення приміщення;
- розташування світлопрорізів;
- правильного розміщення і вибору потужності штучних джерел світла.

Забезпечення оптимального світлового режиму або світлового комфорту відіграє значну роль для створення нормальних умов праці і побуту людини, а також має велике психологічне значення (для роботи органів зору, сприятливого впливу на психологічний стан людини) [37, 101].

Найважливішим показником природного освітлення є рівень освітленості та яскравість освітлення. Необхідний рівень освітленості в робочих приміщеннях визначається здебільшого характером і точністю виробленої зорової роботи. У приміщеннях громадського призначення рівень освітленості визначається переважно естетичними і психологічними вимогами [37, 41].

Яскравість природного освітлення як світлотехнічна має такі показники освітленості:

- розподіл яскравості в навколишньому просторі;
- нерівномірність освітлення;
- напрямок і тіньютворювальні властивості світла;
- спектральний склад світла.

Ці показники світлового мікросередовища в приміщеннях мають вирішальне значення як під час *оцінювання умов зорової роботи* на робочих місцях, так і під час сприйняття інтер'єру. Якість природного

світла у виробничих приміщеннях оцінюють коефіцієнтом природної освітленості [22, 37].

10.1.2 Нормування та проектування природного освітлення

Під час проектування будинку архітектор вибирає систему природного освітлення. Тип, форму вікон, ліхтарів, їхню конструкцію, обробку приміщення. На основі цих вихідних даних визначаються розміри вікон і ліхтарів, що забезпечують *нормовані значення коефіцієнта природної освітленості*: середнє – при верхньому освітленні і мінімальне – при боковому [22, 37].

Завдання проектування світлового середовища:

1. Забезпечення найкращих умов зорової роботи на робочих місцях, що передбачено нормами.

2. Відтворення відчуття психологічного й естетичного зорового комфорту сонячного дня.

Розрахунок природного освітлення полягає у визначенні коефіцієнта природної освітленості в різних точках характерного розрізу приміщення, враховується світловий потік прямого дифузного світла від небосхилу, а також відбитого від внутрішніх поверхонь приміщення і від протилежних будинків. Результат розрахунку – визначення площі світлових прорізів для приміщень. За цим для розрахунку природного освітлення необхідно мати такі дані: довжину і ширину приміщення, кількість прольотів, значення коефіцієнтів відбиття стін і стель, коефіцієнтів світлопропускання і затемнення вікон конфронтуючими будинками, а також ступінь точності виконуваної роботи (дод. К, Л, М) [37].

Коефіцієнт природного освітлення (далі – КПО) – відношення природної освітленості, яка створюється в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба (безпосереднім або після відбивання), до одночасного значення зовнішньої горизонтальної освітленості, яка створюється світлом повністю відкритого небосхилу (%) [37].

$$e = \frac{E_M}{E_H} \cdot 100. \quad (10.4)$$

Для односторонньої бокової системи освітлення розрахунок КПО проводиться у точці робочої поверхні (або підлоги), розташованій на відстані 1 метр від стіни, найбільш віддаленої від світлових прорізів. Щодо систем верхнього природного освітлення (через ліхтарі – світлові прорізи у покритті будівлі) та систем верхнього та бокового природного освітлення нормується середній КПО, обчислений за результати вимірювань у деяких

точках (не менше 5) умовної робочої поверхні (або підлоги). Перша та остання точки приймаються на відстані 1 м від поверхні стін [37, 57].

Далі розрахунок природного освітлення зводиться до певних характеристик.

Визначення значень КПО у ряді точок, що знаходяться на робочій площині:

- за характерними розрізами приміщення;
- побудова кривих, що характеризують розподіл світла в приміщенні.

Робочою площиною для більшості приміщень є горизонтальна площина, однак для деяких приміщень (зали картинних галерей, музеї, проектні зали, деякі виробничі цехи з однотипним устаткуванням, цехи текстильних фабрик) значення КПО розраховується на вертикальних або похилих поверхнях [5].

Характерним розрізом приміщення є такий розріз (рис. 10.2), що проходить посередині приміщення, зазвичай по осі світлопрорізів. У випадках, коли потрібно побудувати на плані приміщення ізолюкси (криві різної освітленості), кількість розрізів збільшується [37, 57].

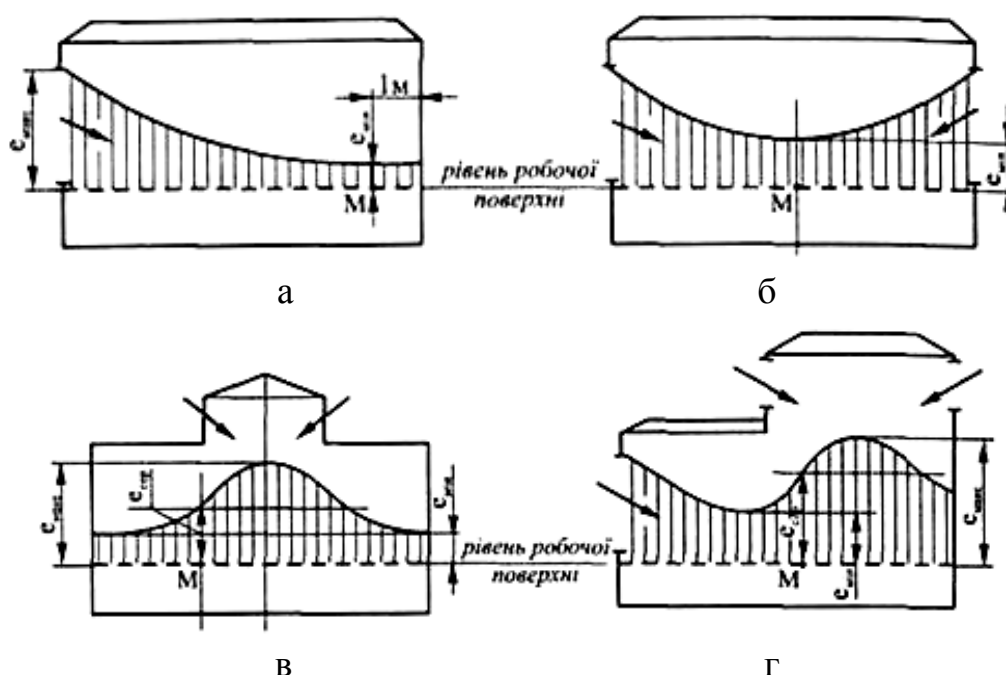


Рисунок 10.2 – Схеми видів природного освітлення та нормування КПО за розрізами приміщень: а – бокове одностороннє освітлення; б – бокове двостороннє освітлення; в – верхнє освітлення; г – комбіноване освітлення; 1 – рівень робочої поверхні; 2 – крива зміни КПО за розрізом приміщення; 3 – рівень середнього значення КПО ($e_{сер}$); М – позиція, у якій нормується мінімальне значення КПО (e_{min}) [57]

Природна освітленість залежить від надходження у приміщення прямих сонячних променів, кількості, величини й конструкції вікон, орієнтації їх за сторонами горизонту, а також від величини світла, що відбивається від земної поверхні, суміжних будівель та огорожувальних поверхонь будівлі.

За бокового освітлення нормується мінімальне значення КПО. У випадку однобічного – у точці на відстані 1 м від стіни – найбільш віддаленої від світлових отворів, але не більш ніж 12 м від них (рис. 10.2) [57]. При верхньому та комбінованому освітленні нормується середнє значення КПО. Нормоване значення КПО залежить від характеру зорової роботи (розряду), системи природного освітлення та особливостей світлового клімату і сонячності клімату в районі розташування будівлі, які визначають через коефіцієнти t – світлового клімату і c – сонячності клімату. Уся територія України поділена на 4 світлових поясів. Відповідно I, II, III, IV, V світлові пояси (дод. Д) [47].

Залежно від номера світлового поясу величина коефіцієнта світлового клімату приймає дискретні значення в діапазоні $m = 0,8...1,2$; c – коефіцієнт сонячного клімату, що визначається залежно від типу світлового прорізу й орієнтації його відносно сторін горизонту ($c = 0,6...1,0$) (дод. М). Алгоритм визначення КПО наведено на рисунку 10.3 Нормування КПО залежить від виду природної освітленості та низки супутніх факторів [37, 47]. Для забезпечення нормованої величини КПО необхідно реалізувати відповідну площу світлових прорізів (вікон) у приміщенні. На практиці світлотехнічний розрахунок зводиться до визначення площі та конструкції світлових прорізів відповідно до нормативів, передбачених ДБН В.2.5–28:2018 «Природне і штучне освітлення» [37].

Розрахунки КПО у приміщеннях проводять для визначення оптимальності обраних під час проектування розмірів і розташування світлопрорізів із метою контролю виконання норм природної освітленості.

Сумарна площа світлових прорізів (S), що необхідна для забезпечення потрібного бічного освітлення, розраховується за такою формулою:

$$S = \frac{S_n \cdot e_{н.ф.} \cdot \eta_{про} \cdot k_{бюд} \cdot k_3}{100 \cdot \tau_{про} \cdot \gamma_1}, \quad (10.4)$$

де S_n – площа приміщення;

$e_{н.ф.}$ – нормативне значення КПО, з урахуванням значень коефіцієнтів m^i і c^i ;

$\eta_{про}$ – світлова характеристика світлопрорізів;

$k_{бюд}$ – коефіцієнт, що враховує затінення вікон;

k_3 – коефіцієнт запасу, що залежить від запилення приміщення, розташування вікон і періодичності їхнього очищення;

$\tau_{про}$ – загальний коефіцієнт пропускання світла;

$У_1$ – коефіцієнт, що враховує світло, відбите сусідніми конструкціями.

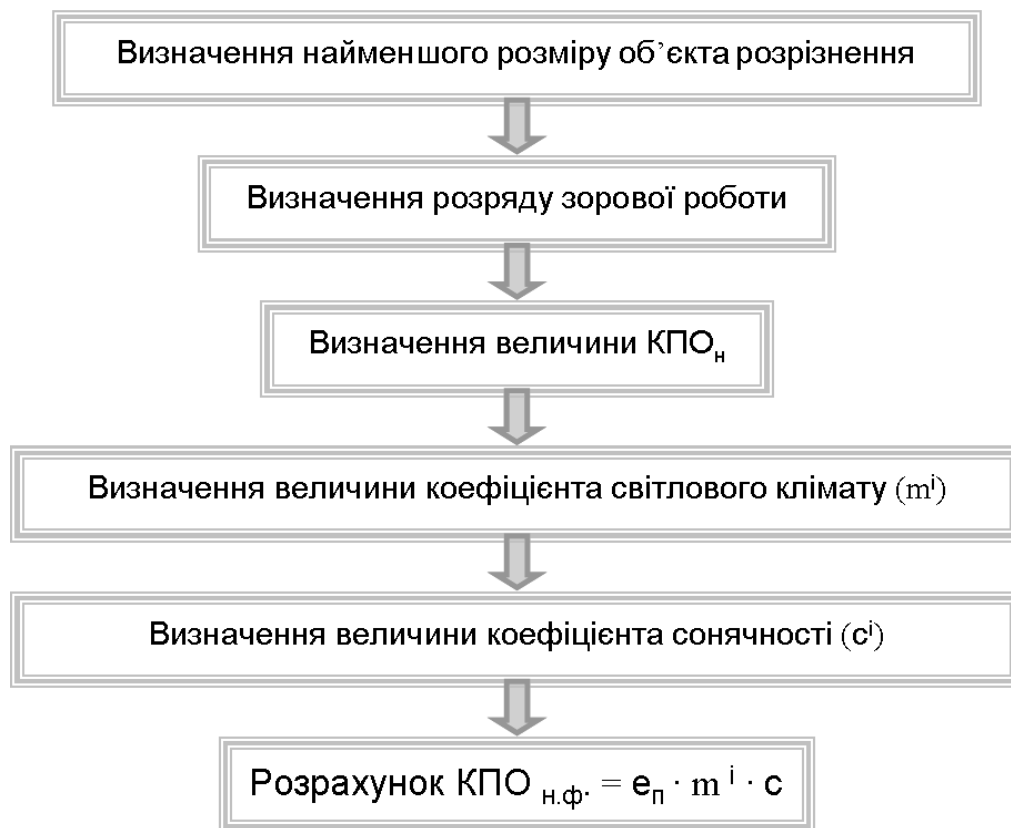


Рисунок 10.3 – Алгоритм визначення коефіцієнта природної освітленості (КПО) [57]

Геометричні розміри вікон визначають за формулою:

$$S_e = \frac{e_{cp} \cdot \eta_l \cdot S_n}{100 \cdot r_{ce} \cdot r_e}, \quad (10.5)$$

де S_e – площа вікон, м²;

e_{cp} – нормативне значення КПО для конкретного приміщення;

η_l – світлова характеристика ліхтаря;

S_n – площа підлоги, м²;

r_{ce} – загальний коефіцієнт світлопропускання;

r_e – коефіцієнт, що враховує вплив відбитого світла.

Щоб визначити розміри вікон при бічному розміщенні $S_{\text{бв}}$, використовують формулу:

$$S_{\text{бв}} = \frac{e_{\text{min}} \cdot \eta_e \cdot S_n \cdot K}{r_3 \cdot r_1}, \quad (10.6)$$

де e_{min} – мінімальне нормативне значення КПО;

η_e – світлова характеристика вікна;

S_n – площа підлоги, м²;

K – коефіцієнт затінення від протилежних будівель;

r_3 – загальний коефіцієнт світлопропускання;

r_1 – коефіцієнт впливу відбитого світла.

Якщо в розрахунку дійсна величина КПО вища за нормативне значення (дод. С), вікна запроєктовані правильно, і навпаки, якщо менша або дорівнює нормативному значенню, то необхідно змінити розміри світлопрорізів.

Додатково для виявлення оптимального природного освітлення з порівнянням нормативного значення КПО застосовуються *графіки Данилюка* (дод. Н, П, Р) [37].

Підрахунок променів, відбитих від конфронтуючого будинку та тих, що проходять через світловий проріз, визначається за графіками I і II аналогічно. Графік III застосовують для розрахунку верхнього освітлення.

Графік I визначає кількість променів, що проходять через світлові прорізи в стіні за бокового освітлення.

Підрахунок кількості променів за графіками I і II здійснюють у такому порядку:

– графік I накладається на креслення поперечного розрізу приміщення, водночас центр графіка з'єднується з розрахунковою точкою А, а нижня частина графіка – зі слідом робочої поверхні (рис. 10.4, а);

– підраховують кількість променів n_1 , що проходять від неба через світлові прорізи в розрахункову точку;

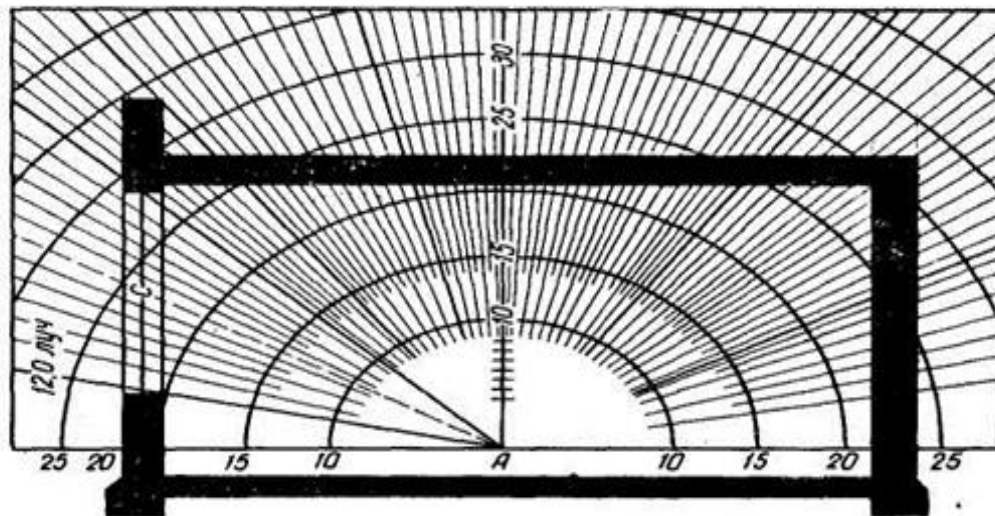
– відзначається номер півкола на графіку I, що проходить через точку C_1 – середину світлового прорізу (рис. 10.4, а);

– графік II накладається на план приміщення так, щоб його вертикальна вісь і горизонталь, номер якої відповідає номеру півкола за графіком I, проходили через т. С (рис. 10.4, б);

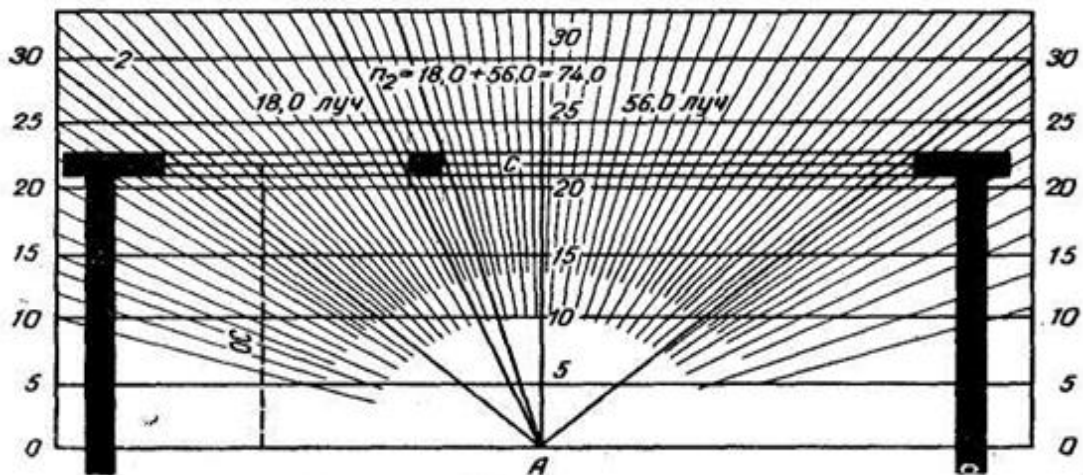
– за графіком II підраховують кількість променів n_2 , що проходять від неба через світлові прорізи в місці розрахункової точки, яка завдана на плані приміщення.

– визначення геометричного коефіцієнта природного освітлення здійснюється за формулою:

$$\varepsilon_{\sigma} = 0,01(n_1 \cdot n_2). \quad (10.7)$$



а



б

Рисунок 10.4 – Схема користування графіком А. М. Данилюка для визначення коефіцієнта природного освітлення: а – на розрізі; б – на плані [57]

Нормування КПО залежить від виду природної освітленості та низки супутніх факторів. Для забезпечення нормованої величини КПО необхідно

реалізувати відповідну площу світлових прорізів (вікон) у приміщенні. На практиці світлотехнічний розрахунок зводиться до визначення площі та конструкції світлових прорізів відповідно до нормативів [37].

Розрахунки КПО у приміщеннях проводять для визначення оптимальності обраних під час проектування розмірів і розташування світлопрорізів з метою контролю виконання норм природної освітленості.

Проектування світлового середовища зводиться до вибору світлопрорізів (тип, форма, розміри, розташування), що забезпечує оптимізацію різних впливів світла на людину й економічну доцільність будівництва.

При боковому освітленні житлових і громадських будівель форма і розміри світлопрорізів значною мірою залежать від архітектурного рішення будівлі, тому варто дотримуватися балансу між архітектурно-художніми вимогами архітектора та вимогами раціональності, економічності, вимогами забезпечення нормованих значень коефіцієнта природної освітленості та енергоефективності будівлі з урахуванням витрат енергії на електричне освітлення, урахування тепловтрат скрізь світлові прорізи взимку або скорочення тепlopостачань влітку за допомогою вентиляції та кондиціонування повітря [22, 57].

Додаткові вимоги до освітлення, які впливають із специфіки технологічного процесу та архітектурних вимог до інтер'єру (вимоги до спектрального складу штучного світла, сталість освітленості в часі, насиченість приміщення світлом, розподіл яскравості в полі зору, співвідношення освітленості на вертикальній і горизонтальній поверхнях).

Під час проектування природного освітлення враховують, що:

- освітленість в середині приміщення залежить від світла, яке створюється небом і безпосередньо потрапляє на робочу поверхню;
- освітленість в середині приміщення залежить від світла, яке відбивається від поверхонь в середині приміщення та прилеглих будівель [101].

10.1.3 Шляхи досягнення оптимального світлового режиму

Проектування природного освітлення будівель повинно базуватися на детальному вивченні технологічних чи інших трудових процесів, які здійснюються у приміщеннях, а також на світлокліматичних особливостях місця будівництва будівель [57].

Основні завдання створення світлового образу навколишнього простору:

- *функціональна* – забезпечення рівня й якості освітлення, необхідних для конкретних умов зорової роботи;
- *естетична* – створення архітектурного світлового образу, придання художньої виразності навколишнього простору;
- *економічна* – вибір оптимального варіанта за мінімальних витрат з урахуванням функціональних та архітектурних вимог.

Дуже важливим моментом під час проєктування природного освітлення будівель є вибір системи природного освітлення. Проєктування систем природного освітлення зводиться здебільшого до вибору типу, форми і розмірів світлопрорізів, також їхнього розміщення в стінах і в покритті.

Оцінка правильності обраної в проєкті освітленості проводиться шляхом вибору запроєктованих розряду (підрозряду) робіт згідно із нормативними вимогами, враховуючі розмірі і колір об'єктів зорового розрізнення; фарбування робочих поверхонь; коефіцієнт відбиття фону, контрасту деталі з фоном; тривалість і безперервність напруженості зорової роботи [100].

Проєктування природного освітлення будівель доцільно здійснювати в такій послідовності:

На першому етапі проєктування здійснюється вирішенням таких завдань:

- 1) вибір за нормами необхідних рівнів освітленості відповідно до точності робіт і особливостями зорової роботи (світлота фону, контраст між деталлю і фоном);
- 2) забезпечення нерівномірності освітлення, що сприяє найкращої видимості об'єкта розрізнення;
- 3) усунення або обмеження засліпленості, що виникає у разі влучення в очі працюючих людей прямих або відбитих променів;

На другому етапі проєктування здійснюється створення архітектурного світлового образу інтер'єру, що формується взаємодією архітектури і світла, метою чого є створення сприятливого враження (залежить від призначення приміщення: виробничі приміщення – враження активності, природності; музеї – враження зосередженості й відчуженості; зали для глядачів – враження святковості й урочистості) [97].

Архітектурний світловий образ інтер'єра визначається основними характеристиками яскравості освітлення, що передбачає таку послідовність проєктування світлового середовища:

- розподіл яскравостей у приміщенні (співвідношення яскравостей L стін, стелі й підлоги) (рис. 10.5);

- усунення явища засліпленості, створюваного в приміщенні прямими сонячними променями або яскравим небом;
- створення нерівномірності освітлення приміщення (співвідношення максимальної освітленості до мінімальної) ;
- контрастність освітлення (співвідношення сумарної освітленості до освітленості, яка створена розсіяним світлом (утвориться в результаті багаторазових віддзеркалень від поверхні стелі, стін й підлоги).

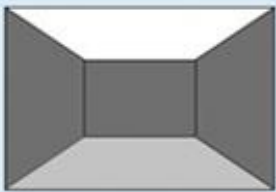
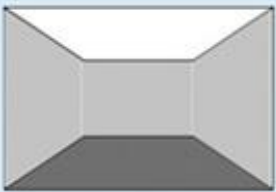
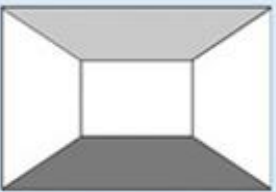
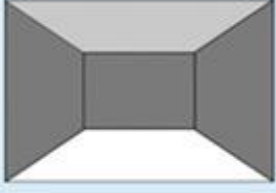
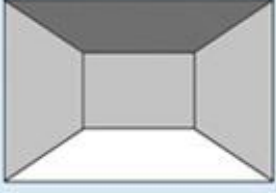
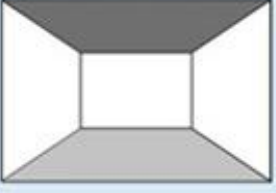
Типи просторів	Глибинне $L_{c3} < L_{v3} \text{ і } L_{h3}$	Замкнене $L_{v3} < L_{c3} \text{ і } L_{h3}$	Наскрізне $L_{c3} > L_{v3} \text{ і } L_{h3}$
Відкрите $L_{c3} > L_{h3}$			
Замкнене $L_{v3} < L_{h3}$			

Рисунок 10.5 – Співвідношення яскравостей у приміщенні [57]

Яскравість освітлення інтер'єру регламентується чотирма характеристиками.

Перша характеристика яскравості освітлення

Розподіл яскравостей і світлот в інтер'єрі. Орієнтиром під час оцінювання розподілу яскравостей можуть слугувати співвідношення, які створені *природним освітленням*.

При *хмарному небі* найбільша яскравість спостерігається у зеніті; середня – на ділянці неба на горизонті; найменша – на поверхні землі (за відсутності снігу).

Співвідношення яскравостей між цими поверхнями приймається для південних районів – 10 : 3 : 1, для районів з помірним кліматом – 5 : 3 : 1.

1. Визначення відносної яскравості в довільних точках стелі.
2. Визначення відносної яскравості в довільних точках стін.
3. Визначення відносної яскравості в довільних точках підлоги.
4. Вибір обробки стін і підлоги. Визначення коефіцієнта віддзеркалення внутрішніх поверхонь приміщення.
5. Визначення необхідного рівня освітленості (значення середовища, КПО на поверхнях) [101].

Друга характеристика яскравості освітлення

Критерієм оцінки засліпленості вдень слугує *індекс блискоті*, який залежить від яскравості неба і видимості через вікно.

Для обмеження засліпленості, створюваною світною поверхнею вікон, застосовуються такі заходи:

- підвищення середньої яскравості інтер'єру (світла обробка);
- застосування скла зі зниженим коефіцієнтом пропускання (контрастне скло, матоване);
- застосування сонцезахисних пристроїв (козирки, жалюзі) [57].

Третя характеристика якості освітлення

За ознакою нерівномірності приміщення диференціюються на дві групи:

I – приміщення, у яких потрібне рівномірне освітлення (цехи з однотипним устаткуванням (склади варткових заводів), класи у школах, аудиторії, креслярські кімнати тощо);

II – приміщення, у яких вимоги до нерівномірності визначається необхідністю краще виділити розглянутий предмет шляхом адаптації ока (спортзали, виставки, музеї тощо) [57].

Четверта характеристика яскравості освітлення

Контрастність створюється взаємодією світла, розсіяного внутрішніми поверхнями приміщення і прямого світла неба (через вікна, ліхтарі) [57].

Основні критерії яскравості: співвідношення між прямим сонячним і дифузійним освітленням, що спостерігаються в природі. Контрастність освітлення залежить від зенітної відстані (висоти стояння сонця).

Природне світло має теплову, світову, бактерицидну і психологічну дію, створюючи у приміщенні для працівників відчуття безпосереднього зв'язку з довкіллям. Проте природному освітленню властиві й недоліки: воно непостійне в різні періоди доби та року, у різну погоду; нерівномірно розподіляється по площі виробничого приміщення, у разі незадовільної його організації може викликати засліплення органів зору.

Якщо освітлення є недостатнім за нормами застосування природного освітлення приміщень, його необхідно доповнювати штучними системами освітлення. Така система освітлення називається сполученою.

Суміщене освітлення, як і природне, також нормують за допомогою визначення КПО, та застосовують у виробничих приміщеннях, де

виконуються зорові види роботи високої точності, а також у приміщеннях, що характеризуються великою шириною [5, 100].

Суміщене освітлення приміщень житлових, громадських і допоміжних будинків допускається передбачати у випадках, коли це потрібно за умов вибору раціональних об'ємно-планувальних рішень за винятком житлових кімнат та кухонь житлових будинків і гуртожитків, віталень і номерів готелів, спальних приміщень санаторіїв і будинків відпочинку, групових і гральних дитячих дошкільних закладів, палат лікувально-профілактичних установ [37].

Засоби суміщеного освітлення будівель є різновидом природного освітлення: під час застосування зберігається домінуюча роль природного освітлення у приміщеннях. Такі засоби застосовують як у багатоповерхових, так і в одноповерхових будівлях й характеризуються постійним (на протязі всього робочого часу) додатковим штучним освітленням, що створюється у зонах приміщень із недостатнім природним освітленням. Особливості суміщеного освітлення полягають у тому, що створене у приміщеннях постійне додаткове освітлення здійснюється, насамперед, світловими поверхнями (світлові панелі тощо), які імітують вікна та ліхтарі. Яскравість цих поверхонь, як й спектр, що випромінює світло, подібна розсіяному світлу неба, саме тому у разі сумісного освітлення приміщень необхідно застосовувати або люмінесцентні лампи, спектральний склад яких близький до спектра природного світла, або лампи галогенові та інші поряд із лампами розжарювання. За суміщеного освітлення для приміщень громадських будинків із боковим освітленням за розрахункового значення КПО, яке дорівнює або менше 80 % від нормованого значення, освітленість від загального штучного освітлення варто підвищувати на один ступінь за шкалою освітленості [57].

Контрольні запитання

1. Назвіть основні системи й якісні одиниці природного освітлення.
2. Назвіть основні функції природного освітлення.
3. Доведіть практичне значення коефіцієнта природної освітленості для вибору світлопрозорих виробів.
4. Назвіть основні принципи розрахунку природного освітлення та етапи проектування природного освітлення.
5. Як яскравість впливає на досягнення оптимального світлового режиму?

РОЗДІЛ 11 ІНСОЛЯЦІЯ

11.1 Інсоляція та сонцезахист в архітектурі

11.1.1 Загальні відомості щодо інсоляційних основ проектування

Одне із завдань архітектури – використання найбільшою мірою позитивні властивості функції сонячної енергії й усунути негативний її вплив на людину, використовуючи архітектурно-планувальні й будівельні засоби, а залежно від інтенсивності, тривалості впливу, і від призначення самого об'єкта. Отже, в одних випадках необхідно забезпечувати, щоб інсоляція впливала достатньо тривалий час, а в інші – здійснювати сонцезахисні заходи [101].

Інсоляція (лат. «insolatio», від «insolo» – виставляю на сонце) – пряме сонячне опромінювання приміщень і території. Розрізняють світловий, тепловий і бактерицидний вплив інсоляції на людину, сприятливий або небажаний залежно від тривалості й інтенсивності. Одне з завдань проектувальників полягає в тому, щоб за допомогою архітектурно-планувальних і будівельних засобів повністю використовувати позитивні функції сонця й усунути його негативний вплив на людину [91].

Головні переваги інсоляції:

- освітлення приміщень і територій прямими сонячними променями чи денним світлом;
- обігрів території та приміщень;
- бактерицидна дія, яка залежить від тривалості освітлення прямими сонячними променями;
- психологічний вплив.

Недоліками інсоляції є сліпуча, руйнівна (деструктивна) дія і перегрівання. Урахування цього фактора відіграє дуже важливу роль під час проектування усіх навчальних та проектних закладів.

Інсоляція поділяється на можливу (тобто ту, яка могла би бути, якби небо було постійно безхмарним) і реальну, яка набагато менша, ніж можлива через хмарність. Під час розрахунків і нормування інсоляції увагу приділяють її максимально можливій тривалості, але з урахуванням скорочення часу інсоляції, яка насправді спостерігається у навколишньому середовищі.

Кількісний фактор, що став умовою для інсоляції території, будинків і приміщень, називається *тривалістю інсоляції*: час від початку опромінення прямими сонячними променями до його припинення [101].

Виявлення часу початку і кінця інсоляції зовнішніх і внутрішніх поверхонь будинків і кутів падіння сонячних променів на ці поверхні допомагає оцінювати санітарно-гігієнічні, теплотехнічні, світлотехнічні та інші види впливу сонячного опромінення будинків і споруджень у різних умовах. Це важливо під час проектування житлової забудови.

Інсоляцію вивчають і нормують за чотирма характерними днями року:

Сонцестояння (літнє – 22 червня (найтриваліший день року), зимове – 22 грудня (найкоротший день року)). Рівнодення (весняне – 22 березня, осіннє – 22 вересня) – пора року, коли тривалість дня і ночі однакова. Рівень «чистої» інсоляції в певній точці (на відкритій місцевості) залежить від широти місцевості, пори року, дня побудови карти інсоляції [44].

Нормативні вимоги щодо інсоляції будинків

Для потреб найбільш ефективного використання благотворної дії сонячної радіації та обмеження негативного впливу введено нормування інсоляції.

Під час проектування житлових і громадських будинків необхідно дотримуватися нормативних вимог орієнтації приміщень залежно від кліматичного району будівництва. В основу санітарних норм покладені результати досліджень впливу прямого сонячного світла на загибель кишкової палички, яка умовно розміщувалася в приміщеннях на рівні підвіконня. З огляду на ці вимоги санітарні норми встановлюють тривалість безперервного добового опромінення приміщень [88].

Інсоляція є важливим чинником, що оздоровче впливає на середовище проживання людини, та має бути використана в житлових та громадських будинках та територіях житлової забудови [101].

Тривалість інсоляції рекомендована в:

- житлових будинках та на території житлової забудови;
- дитячих дошкільних установах;
- навчальних установах загальноосвітньої, початкової, середньої, додаткової, професійної освіти, школах-інтернатах, дитячих будинках тощо;
- лікувально-профілактичних, санаторно-оздоровчих та курортних установах;
- установах соціального забезпечення (будинках-інтернатах для інвалідів та людей похилого віку, госпіталях тощо).

Приміщення житлових, громадських та інших будинків, що будують, спираючись на врахування інсоляції, можуть бути орієнтовані в I та II будівельно-кліматичних районах на будь-які сторони обрію, крім тих, що знаходяться в межах сектора від 315° до 30°. У III и IV кліматичних районах не допускається орієнтація таких саме приміщень у межах сектора від 200° до 290°, тому що до певної мери обмежується небезпека перегріву низькими променями Сонця, що заходить (рис. 11.1) [37].

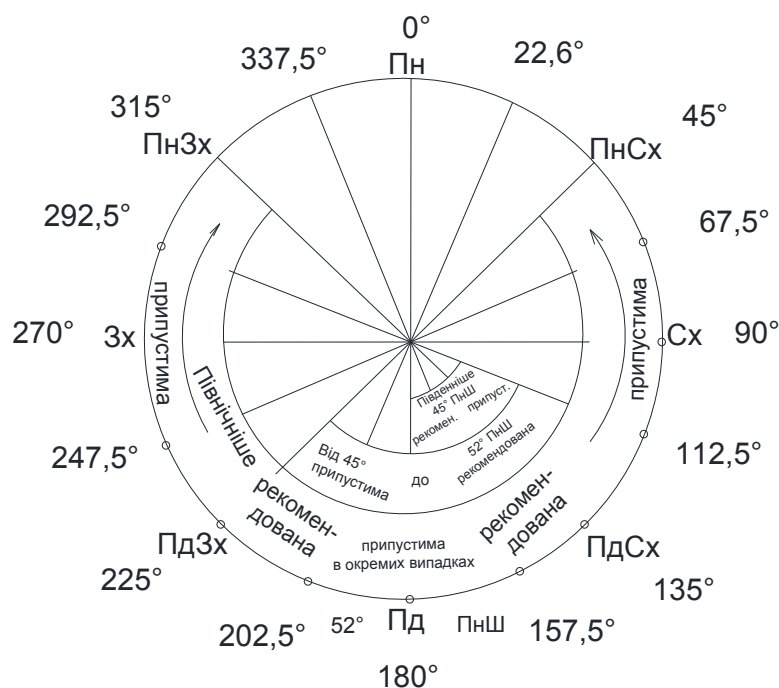


Рисунок 11.1 – Схема рекомендованих і припустимих орієнтацій житлових приміщень [57]

З метою забезпечення інсоляції житлових приміщень у багатоповерхових секційних будинках у будівництві застосовують два основних види типових секцій: а) призначених для випадку розміщення поздовжньої осі будинку в напрямку, близькому до осі північ – південь меридіональні; б) розраховані на розміщення поздовжньої осі будинків уздовж напрямку схід – захід широтні (за недостатньої інсоляції приміщень).

Умови інсоляції приміщень визначаються не тільки плануванням території кварталу й орієнтацією будинків за сторонами світу, але і формою будинків у плані, внутрішнім плануванням приміщень, а також архітектурно-конструктивними рішеннями деталей будинків (товщина стін, балкони, козирки, лоджії, галереї тощо) [44].

Інсоляцію житлових кімнат прийнято оцінювати за її тривалістю в годинну. Для I, II будівельно-кліматичних районів оптимальною

інсоляцією є така, тривалість якої влітку складає не менше 5 годин і 2 години – восени і навесні. У зимовий період інсоляція не нормується.

Під час проектування житлових будинків вводяться вимоги до інсоляції квартир:

- в одно-, двох- та трикімнатних квартирах має бути забезпечена інсоляція не менше однієї кімнати;

- у чотирьох, шестикімнатних – не менше двох кімнат;

- у гуртожитках сумарна площа інсольованих житлових кімнат має складати не менше 60 %.

У розрахунках і нормуванні інсоляції береться до уваги її максимально можлива тривалість, але з урахуванням скорочення часу інсоляції.

Нормативна тривалість інсоляції в зоні помірного клімату дорівнює повним 6 годинам.

Розміщення й орієнтація житлових і громадських будинків (за винятком дитячих дошкільних установ, загальноосвітніх шкіл, шкіл-інтернатів) необхідно забезпечувати безперервну тривалість інсоляції приміщень і територій.

Для центральної зони (у діапазоні географічних широт 58–48° пн. ш.) безперервна тривалість інсоляції має бути не менше 2,5 годин на день у період із 22 березня до 22 вересня, а для північної зони (північніше 58° пн. ш.) – не менше трьох годин на період із 22 квітня до 22 серпня; для південної зони (південніше 48° пн. ш.) – не менше двох годин на період із 22 лютого до 22 жовтня [37].

В умовах забудови високоповерховими будинками допускається одноразове переривання інсоляції житлових приміщень в умовах збільшення сумарної тривалості інсоляції на протязі дня на 0,5 години відповідно для кожної зони.

У житлових будинках меридіонального типу, де інсолюються всі кімнати, а також під час реконструкції житлової забудови або у разі розміщенні нового будівництва в особливо складних містобудівельних умовах (історично цінне міське середовище, дорога підготовка території, зона загальноміського центру) допускається скорочення тривалості інсоляції приміщень на 0,5 години.

У III–IV кліматичних зонах необхідний захист будинків і територій від перегрівання шляхом використання вільної, добре провітрюваної забудови, озеленення, обводнення, використання сонцезахисних пристроїв. Необхідно забезпечити зв'язок житлової забудови зі сприятливими в

природному аспекті ландшафтами, рівномірний розподіл забудованих і відкритих озеленено-обводнених територій [32].

Варто зазначити, що кожний з фасадів становить перешкоду для інсоляції фасаду на іншій стороні вулиці і що фасад, спрямований у південний бік під будь-яким кутом, називається сприятливим фасадом, тому що більше освітлюється сонцем.

Інсоляція території забудови також має бути не менше трьох годин. Це стосується зон повсякденного перебування людини у просторі, що особливо стосується місць відпочинку: дитячі ігрові майданчики, спортивні майданчики, майданчики для тихого відпочинку, місця для прогулянок – алеї, галявини тощо.

11.1.2 Основи інсоляційних розрахунків

Під час виконання інсоляційних розрахунків необхідно знати координати Сонця, які встановлюють його положення на небосхилі в заданий момент часу.

Щоб уявити собі видимий рух Сонця по небосхилу і знайти його координати, необхідно звернутися до сонячного стерadiansу, як це зробив ще Вітрувій. Небосхил – це півсфера, що спирається на горизонтальне коло, у центрі якого знаходиться точка розглядувана O . Через цю точку проходять полуденна лінія Південь – Північ (Пд. – Пн.) і лінія Схід – Захід (Сх. – Зх.), які визначають орієнтацію в цій точці (рис. 11.2) [57].

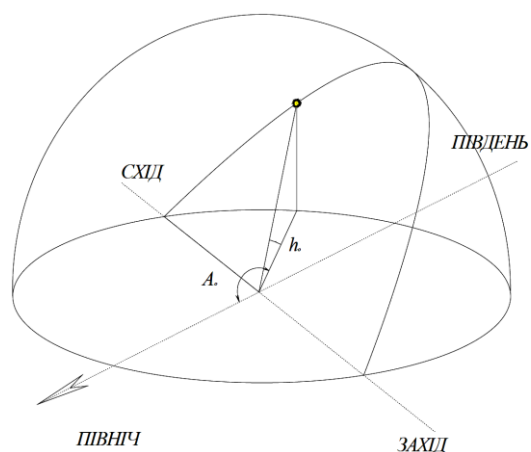


Рисунок 11.2 – Схема видимого руху Сонця по небосхилу [57]

Азимут сонячних променів (A_0) – кут у горизонтальній площині, утворений горизонтальною проєкцією сонячного променя і напрямком меридіана. Азимуту відраховуються від точки півдня і позначаються: ($A_с$) – східними і ($A_з$) – західними відповідно до положення сонця в першій і в другій половині дня [37].

Рухаючись по колу, Сонце займає на небосхилі в певний момент визначене положення, що може характеризуватися двома координатами – висотою стояння h і азимутом A_0 (кутом між полуденною лінією і горизонтальною проєкцією сонячного променя, який направлений до точки O від центру сонячного диска).

Азимут сонячних променів (A_0) – кут у горизонтальній площині, утворений горизонтальною проєкцією сонячного променя і напрямком

Азимут вікна (A_e) – напрям горизонтальної осі вікна на точку горизонту (рис. 11.2). Ось вікна – умовна пряма, що проходить скрізь центр вікна перпендикулярно фасаду будівлі. Використовується для визначення орієнтації вікна за азимутальною шкалою кола горизонту [37, 57].

Висота сонячних променів (висота стояння Сонця h_o) – кут, утворений сонячним променем і його горизонтальною проекцією (вертикальна площина).

Кут падіння сонячного променя на землю, знайдений у такий спосіб для досліджуваної точки, визначається:

- географічною широтою цієї точки;
- випромінюванням сонця в день дослідження;
- момент дослідження, що виражається у сонячному часі.

Розрахункова висота протилежної будівлі (H, m) – відраховується від розрахункової точки приміщення, що досліджується, до карнизу (парапету) або коника покрівлі протилежної будівлі. При розрахунках інсоляції та затемнення території, вона відраховується від рівня землі до карнизу, який затінює будинок.

Розрахункові кімнати квартир – кімнати або засклені лоджії кімнат, які повинні забезпечуватися інсоляцією, що нормується.

Інсоляційні кути світлоотвору – горизонтальні та вертикальні кути, в межах яких на площині світлоотвору можливо проступання (вхід) прямих сонячних променів. При розрахунку інсоляційних кутів глибина світлових отворів приймається такою, що дорівнює відстані від зовнішньої площини стіни до внутрішньої площини хрестовини.

Розрахункова точка – точка на перетині горизонтальних променів сонця, що визначає початок і кінець інсоляції без урахування навколишньої забудови.

Координати сонця визначають за допомогою таблиць і графіків, що дійсні для місцевого сонячного часу, і відрізняються від декретного поясного часу, по яким визначаються години (рис. 11.3, а) [44].

Хід Сонця для різних географічних широт місцевості, місяців і годин визначається за сонячними картами (рис. 11.3, б). Користування координатами Сонця дозволяє представити небо як півсферу, що спирається на обрій з координатною сіткою у вигляді:

- концентричних кіл, описаних із точки зеніту; вони використовуються для відліку висоти Сонця;
- системи дуг, що радіально виходять із точки зеніту до обрію; вони відраховують азимути сонця.

У такий спосіб утворюється координатна сітка, що спроектована на горизонтальну площину. На спроектовану сітку наносяться траєкторії Сонця в характерні дні року. На сонячних картах нанесені також траєкторії Сонця для спекотних місяців травня – липня і квітня – серпня, що використовуються під час розрахунків, зв'язаних з тепловим впливом сонця (рис. 11.3, б) [44].

Для оцінки інсоляції території складають карти інсоляції, на яких позначають тривалість інсоляції окремих елементів забудови. Карту інсоляції виконують на стадії проєктування, на основі аналізу матеріалів обстеження з метою прийняття планувальних рішень, зважаючи на умови комфортності середовища, що зумовлені розміщенням будинків, майданчиків відпочинку, дитячих ігрових майданчиків і композицією зелених насаджень.

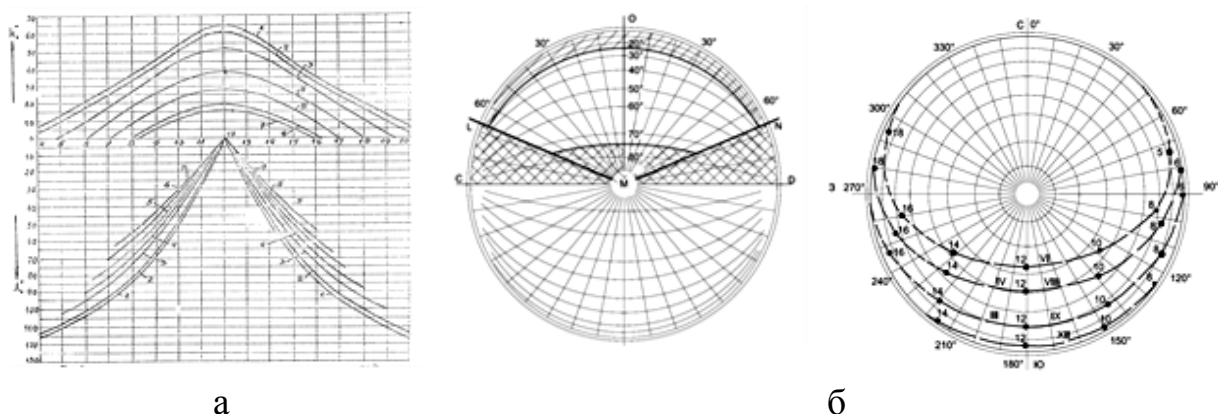


Рисунок 11.3 – Допоміжні засоби для розрахунку інсоляції: а – сонячні години; б – сонячні карти для визначення інсоляції забудови [57]

11.2 Інсоляція будинків і територій

11.2.1 Методи визначення інсоляції будинків

Оптимальний інсоляційний режим забезпечується шляхом прямого сонячного випромінювання в необхідній кількості та у визначений час. Під час проєктування містобудівельної ситуації, будинків і приміщень виникає необхідність у визначенні умов інсоляції та її оптимізації. Це досягається проведенням інсоляційних розрахунків [37].

Увесь комплекс завдань, що виникають під час визначення умов інсоляції, можна вирішити різними методами розрахунку.

Для оцінювання інсоляції розроблені й застосовуються *аналітичні, графічні та графоаналітичні, табличні та інструментальні методи*.

У практиці проєктування застосовується також спосіб натурних спостережень і вимірювань. Разом із цим проєктувальники найчастіше

користуються графічним й інструментальним методами. Аналітичні та графоаналітичні методи застосовуються рідше через недостатню їхню розробленість і незвичність для архітектора. Однак ці методи можуть ближчим часом стати найприйнятнішими через високу точність визначення.

Оскільки сонячні промені поширюються прямолінійно, і координати Сонця у будь-який час дня й року відомі, методами нарисної геометрії й тригонометрії можна розв'язати всі задачі інсоляційних досліджень. Проте через трудомісткість та відсутність наочності аналітичні методи не часто використовуються у практиці архітектурного проектування [44].

Універсального графіка, за допомогою якого можливо вирішити весь спектр оцінювання умов інсоляції приміщень і території, не існує. Одні графіки зручні для визначення тривалості інсоляції приміщень, розрахунку сонцезахисних пристроїв тощо, інші дають змогу визначити не тільки характер інсоляції об'єктів, але й характер їхнього затінення, дають можливість будувати конверти тіней та досліджувати затінення і тривалість інсоляції міських територій.

Розрахунки інсоляції охоплюють вирішення завдань трьох основних типів:

1. Знаходження часових характеристик інсоляції (тривалість: початок і кінець; затінення приміщень, фасадів, ділянок територій тощо).

2. Встановлення геометричних характеристик ділянок, що інсолюються або затіняються: побудова годинних і добових конвертів: тіней від будинків на генеральному плані та інсоляції на робочих площинах у приміщеннях).

3. Визначення затінення приміщень навколишньої забудови, знаходження додаткових відстаней між будинками, розрахунок сонцезахисних пристроїв (далі – СЗП).

До видів розрахунку інсоляції зараховують:

- визначення тривалості інсоляції фасадів будинків;
- визначення тривалості інсоляції приміщень будинків;
- визначення мінімального розриву між поздовжніми сторонами будинків з умов забезпечення нормованої тривалості інсоляції приміщень;
- побудова цілоденних конвертів тіні від будинків;
- побудова конвертів тіні від будинків для визначення ступеня затінення території і його визначення;
- побудова конвертів інсоляції на робочих площинах у приміщенні;
- побудова гарантійно-інсоляційних зон (далі – ГІЗ) для забудови певної поверховості, для вікон окремих приміщень і узагальнених ГІЗ;

- побудова диференційних ГЗ за поверховістю забудови;
- визначення умов інсоляції приміщень у складних умовах рельєфу;
- розрахунок сонцезахисних пристроїв (вертикальних і горизонтальних);
- розрахунок бактерицидної дози інсоляції;
- визначення ступеня опромінення окремих частин території (тротуарів, ділянок зони відпочинку, ботанічних ділянок, шкіл тощо);
- енергетичні розрахунки інсоляції;
- розрахунки інсоляції, пов'язані з оптимальною орієнтацією геліоприймачів, визначенням їхньої продуктивної спроможності.

З усіх цих численних розрахунків найпоширенішими є такі, які необхідно виконувати за вимогами норм проектування, а саме: визначення тривалості інсоляції приміщень або визначення мінімального розриву між будинками з умов забезпечення нормативної тривалості інсоляції. У деяких випадках замість цих розрахунків і визначень удаються до побудови ГЗів. Менш поширеним розрахунком є визначення ступеня затінення території і розрахунок сонцезахисних пристроїв [88].

Оскільки сонячні промені поширюються прямолінійно, і координати сонця у будь-який час дня й року відомі, методами нарисної геометрії й тригонометрії можна розв'язати всі задачі інсоляційних досліджень. Проте через трудомісткість та відсутність наочності аналітичні методи не часто використовуються у практиці архітектурного проектування.

Найпоширенішими є графічні методи розрахунку інсоляції. Основна їхня перевага над аналітичними – наочність, яка важлива для архітектора, оскільки дає повне уявлення про характер інсоляції об'єкта. Графічні методи можна поділити на два типи: дослідження шляхом геометричної побудови на архітектурних кресленнях та дослідження із використанням інсоляційних графіків. Залежно від складності містобудівної ситуації й конфігурації проектованої будівлі, архітектор має можливість під час розрахунку та оцінювання інсоляції приміщень або території використати той чи інший графічний метод.

Інсоляційні графіки першого типу будуються на кривих умовного ходу Сонця по небосхилу або на кривих ходу тіні за день. До графіків, побудованих на кривих ходу Сонця, належать сонячні карти Г. Плейжеля, І. Крохмана, інсоляційні графіки Б. А. Дунаєва (рис. 11.4, 11.6), «сонцешукач» Д. Беккера, Б. Фунаро. До графіків, побудованих на кривих ходу тіні, належать інсоляційні графіки А. У. Зеленко, «світлопланометр» Д. С. Масленнікова, графіки А. М. Рудницького, «сонячна лінійка» М. Тваровського та інші [88].

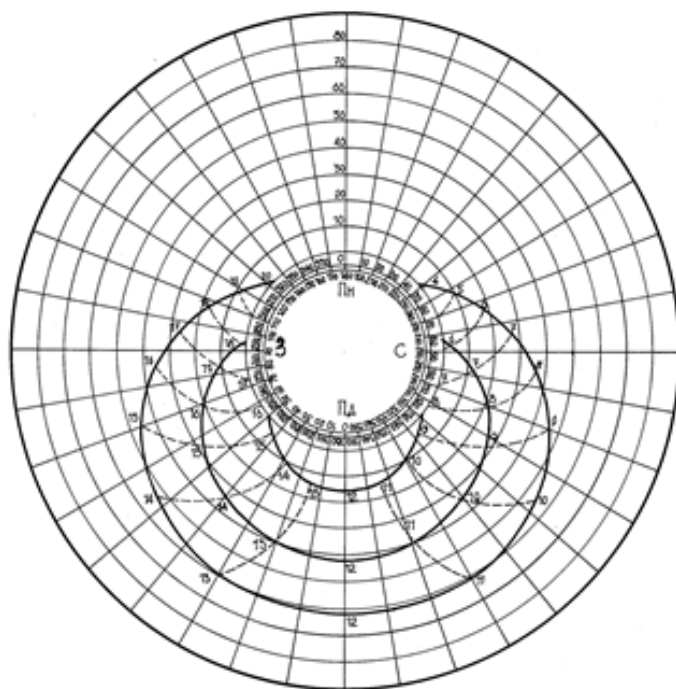


Рисунок 11.4 – Контрольно-інсоляційний планшет Б. А. Дунаєва [57]

Умови інсоляції визначаються *методом проєкцій з числовими відмітками*. Якщо спостерігати добовий хід тіні від стержня, що стоїть у центрі небесної півкулі, то можна помітити, що в день літнього або зимового сонцестояння (21 червня і 21 грудня) тінь від верхньої точки стержня буде криволінійною (рис. 11.5, а, б). У період весінне-осіннього рівнодення (22 березня і 22 вересня) вона буде у вигляді прямої лінії, яка паралельна до прямої, що з'єднує точки сходу і заходу Сонця (рис. 11.5, в) [44].

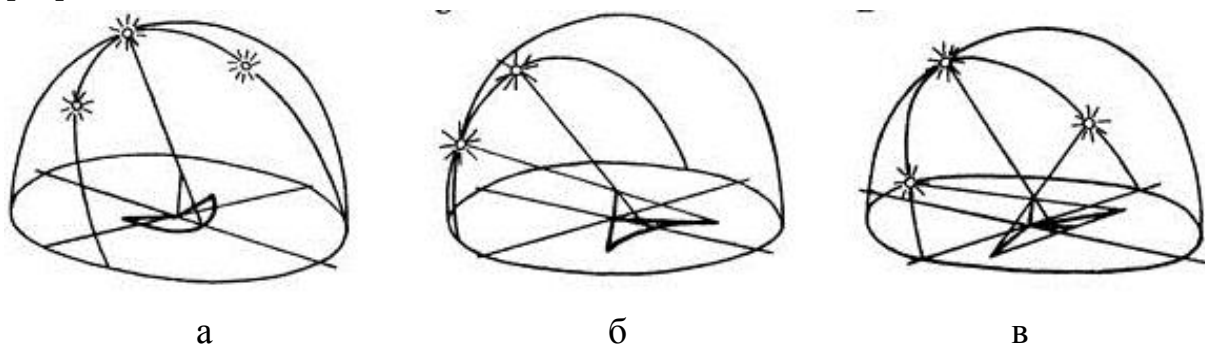


Рисунок 11.5 – Добовий хід тіні від стержня, що стоїть в центрі небесної півкулі: а – літнє сонцестояння; б – зимове сонцестояння; в – весінне-осіннє рівнодення [57]

Для вирішення цих питань необхідно користуватися даними, що характеризують взаєморозташування у просторі Сонця і розглянутої точки на земній поверхні, на яку спрямовані сонячні промені (див. рис. 11.2 координати Сонця).

Під час світлових і теплових розрахунків важливо знати шлях, який проходить сонячний промінь в атмосфері, що оточує Землю. Для цього вводиться поняття «повітряна маса» M , яку необхідно перебороти променю сонця. Значення M змінюється від 1 (сонце в зеніті) до 26, 96 (сонце поблизу обрію) [37, 44].

На основі цього можна будувати графіки добового ходу тіні від вертикального стержня різної висоти для різних періодів. Під час побудови таких графіків користуються таблицею координат Сонця. Із центра графіка проводять промені під кутами, що відповідні азимутам у денні часи доби, і від центра відкладають на них відрізки, що дорівнюють котангенсу висоти стояння Сонця у відповідну годину. Такі графіки можуть бути побудовані для різних широт у потрібних масштабах (1 : 100 або 1 : 1 000). На рисунку 11.6 подані графіки для 48° пн. ш. у масштабі 1 : 100. Порядок користування та побудови інсоляційних графіків наведено у додатках У–Ф.

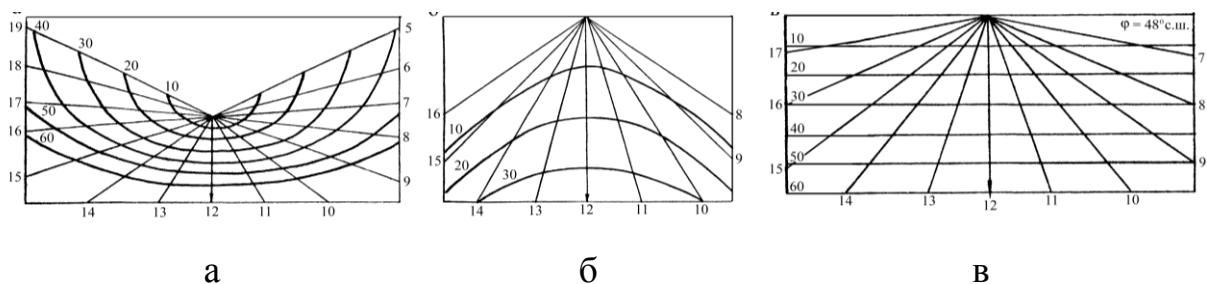


Рисунок 11.6 – Інсоляційні графіки («сонячні транспортири») для інсоляційних розрахунків на певний період: а – літнього сонцестояння; б – зимового сонцестояння; в – весінне-осіннього рівнодення ($\varphi = 48^\circ$ пн. ш.) [57]

Існуючі графічні методи Д. Вернеску та О. Ене за змістом розподіляють на методи послідовних тіней, дубльованої проєкції (рис. 11.7), горизонтальної і вертикальної перспективи та проєкції сфери небосхилу [14].

Метод послідовних тіней полягає в тому, що на площину наносять тіні від будинку або групи будинків у різні денні години і визначають затінену зону на поверхні землі. Якщо в зоні затінення знаходяться інші будинки, то тіні послідовно наносяться на фасад. Можна обчислити, скільки часу визначені точки затінені, або, навпаки, інсолюються. Цим методом перевіряють різні варіанти груп будинків [37, 57].

Метод дубльованої проєкції. Сутність методу складається з таких дій. Для визначення інсоляції у будь-якій точці або низці точок на протязі року необхідно з позиції контрольної точки запроєктувати на небосхил

світлопроріз у вигляді конусу, скрізь який розглядається ця точка (рис. 11.7) або, що перешкоджає бачити цю точку й є першою проекцією. Отриману таким методом на небосхилі фігуру знову необхідно спроектувати у вигляді конусу на відповідні сонячні годинники скрізь вершину вертикалі. Фігура на сонячному годиннику відображає тривалість затінення або інсоляції цієї точки для усіх 12 характерних днів [7, 37].

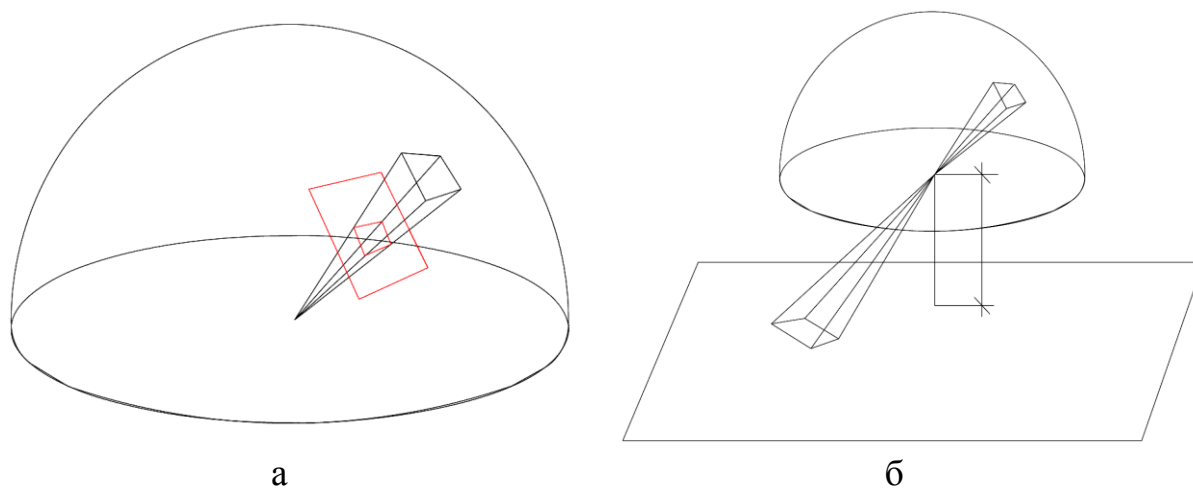


Рисунок 11.7 – Метод дубльованої проєкції: а – проєкція на небосхил світлопрорізу, скрізь який видно досліджувану точку; б – отримана фігура, що проєктується вертикально на відповідні сонячні години скрізь вершину [7]

Метод горизонтальної перспективи. Під час застосування цього методу наносять перспективне зображення будинку або групи будинків, що становлять перешкоди для інсоляції випромінюваної точки, щоб:

- спостерігач знаходився на місці випромінювання інсоляції;
- головна вісь була вертикальна до зеніту;
- площина зображення була горизонтальна;
- головна відстань від ока до зображення дорівнювала висоті вертикалі згідно з відповідним сонячним часом;
- напрямок від північної площини, пройшовши через точку, інсоляція якої випромінюється, проєктувалася на зображенні.

На зображення цієї перспективи накладають сонячної годинник так, щоб був видний час, коли перешкоди затінюють точку дослідження і коли ця точка інсолується всі 12 характерних днів [7, 37].

Метод вертикальної перспективи. Як і в попередньому випадку, будується перспективне зображення будинків, яке перешкоджає інсоляції досліджуваної точки, за умови, що точка зору або позиція ока збігалися з точкою, інсоляція якої досліджується, а головна вісь перспективи була би

горизонтальною; площина зображення – вертикальною, перпендикулярною до головної осі; головна відстань від ока до площини була рівною довжині вертикалі зі застосовуваних сонячних годин [7, 37].

Використання цього методу вимагає великої уваги і досвіду. Його перевага полягає в тому, що перспективи виходять реальними, за якими можна простежити за рухом Сонця протягом усього року, а значить за інсоляцією або за затіненням досліджуваної точки.

Метод проєкції «Калоти», заснований на використанні проєкції небосхилу на горизонтальну площину з нанесенням видимих траєкторій сонця в дні сонцестояння і рівнодення, а також за необхідності й в інші дні року. Проєкція небосхилу подана окружністю з умовно обраним радіусом (рис. 11.8). Видимий рух сонця по небу встановлюється залежно від широти (як для сонячних годин) за допомогою графіків або таблиць. Цей метод застосовується для визначення розмірів сонцезахисних пристроїв [7, 37].

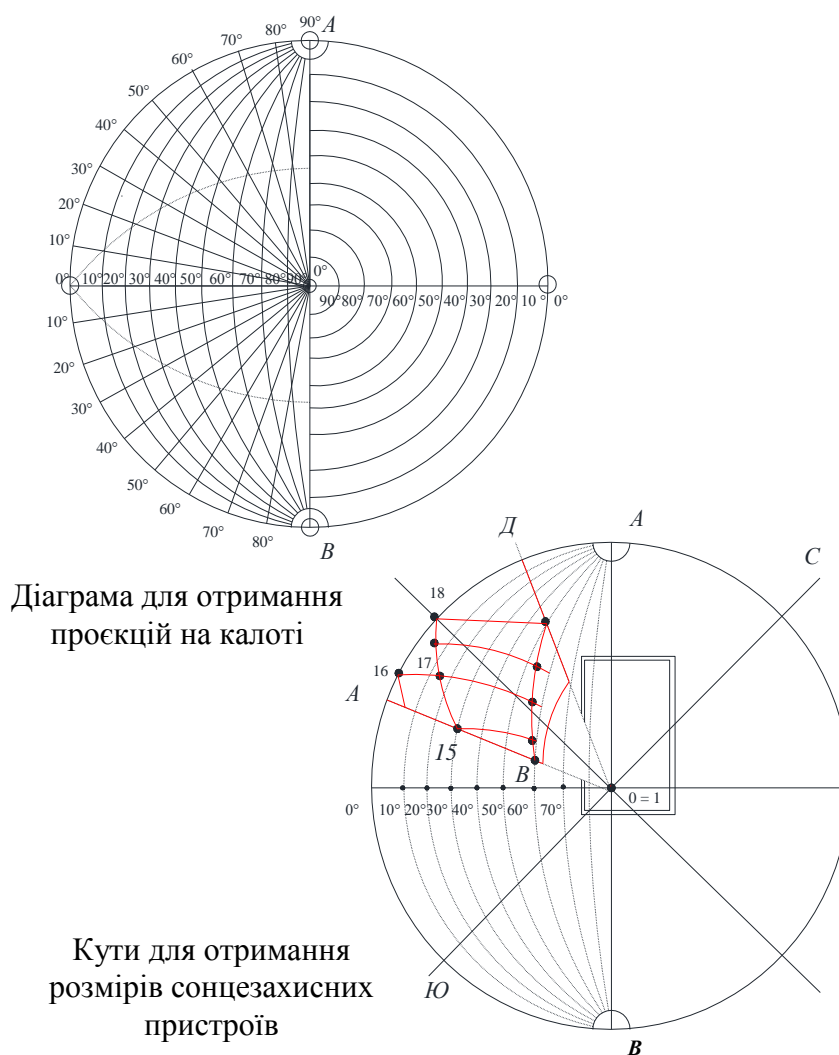


Рисунок 11.8 – Метод проєкції сфери небосхилу (проєкції Калоти) [7]

Залежно від складності містобудівної ситуації й конфігурації проєктованої будівлі, проєктант має можливість під час розрахунку та оцінювання інсоляції приміщень чи території використати той чи інший графічний метод.

Поряд із перевагами графічні методи не позбавлені суттєвих недоліків. Головними з них є низька точність визначень, особливо за малих масштабів основи; неможливість якимось одним із графіків чи планшетів вирішувати всі інсоляційні задачі, затрати часу на побудову інсоляційного графіка для кожного окремого випадку географічної широти і масштабу основи, а також ускладненість або неможливість урахування рельєфу місцевості під час вирішення інсоляційних завдань.

Наприклад, у разі використання інсоляційного графіка Б. А. Дунаєва неможливо визначити довжину тіні від будинку без додаткових обчислень або графічних побудов (див. рис. 11.4). Він дає можливість визначити тривалість інсоляції поверхні фасаду чи приміщення в конкретній точці, а також нахил виднокраю небосхилу із заданої точки (за сектором горизонту) [88].

Користуючись контрольно-інсоляційним планшетом Б. А. Дунаєва, інсоляційними графіками А. Рудницького, «сонячною лінійкою» М. Тваровського, стає можливим визначити тривалість інсоляції поверхні фасаду чи приміщення, довжину тіні від будинку, одержати конверти інсоляції приміщень, а також визначити параметри горизонтальних жалюзі (рис. 11.9) [88]. Застосовуючи лінійку М. Тваровського або інший пристрій, можна побудувати конверт тіней за всю добу.

Графічні методи характеризуються більшими можливостями, ніж графоаналітичні, табличні та інструментальні методи. Разом із цим вирішення задач інсоляції з використанням графічних методів не дають повного уявлення в просторі про світлотіньову картину інсоляції будинку. Із цього погляду заслуговують уваги інструментальні методи дослідження інсоляції.

Метод вивчення на макеті. Крім графічних методів, інсоляцію також визначають за допомогою макетів – так званий інструментальний метод.

Сутність інструментального методу є визначення параметрів інсоляції з використанням приладів, інструментальних устаткувань (геліодон, солятрон, соляриметр, солярскоп, інсолярскоп, інсолятор), які обладнані «штучним сонцем» у вигляді лампи або прожектора, підмакетним столом із лінійно-площинним переміщенням макета чи сферичною поверхнею для переміщення «штучного Сонця» [37].

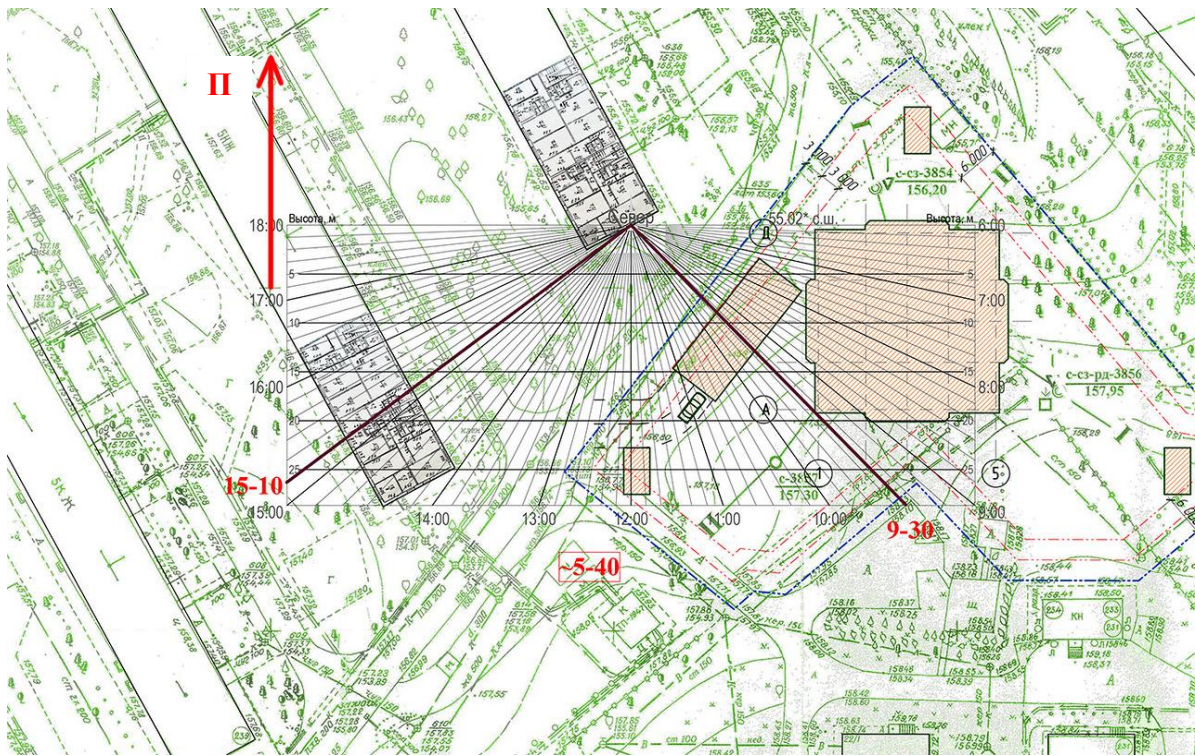


Рисунок 11.9 – Визначення інсоляції квартир за допомогою лінійки Тваровського [57]

За принципом дії всіх їх розділяють на чотири групи:

– підмакетний стіл стоїть нерухомо, а «штучне Сонце» переміщується за заданими траєкторіями;

– шарнірно-рухомий підмакетний стіл забезпечений градуйованими лімбами і шкалами, за допомогою яких можна виставити його на необхідний час дня й пору року, а «штучне Сонце» на цю пору року нерухоме;

– прилади, у яких підмакетний стіл розміщено на шарнірах, і в необхідне положення він виставляється за допомогою сонячного годинника або якогось іншого пристрою, а «штучне Сонце» нерухоме;

– прилади, у яких і «штучне Сонце», і підмакетний стіл рухомі.

Зрозуміло, що інструментальний метод інсоляційних досліджень, який передбачає використання відповідного лабораторного обладнання («геліодон», «солярскоп», «штучне Сонце»), є недоступний широкому колу архітекторів-проектантів у малих містах України.

Програма Shadow Analysis – це глобальний, швидкий та надійний інтегрований інструмент для візуалізації сонячного світла та тіней, який був розроблений польською компанією «Commons Attribution». Shadow Analysis є простим інструментом для аналізу умов денного світла. Аналіз поданий у вигляді барвистих картинок. Різні кольори позначають різну кількість сонячного світла, що потрапляє на об'єкти. Shadow Analysis був

створений, щоб допомогти архітекторам зрозуміти умови денного світла у густонаселених міських районах та надати їм інструмент для проєктування якісніших та екологічніших будівель та міських просторів [126].

Shadow Analysis може бути плагіном для SketchUp або окремою програмою, які вважають інсоляцію графічним методом. На відміну від інших схожих плагінів та програм, Shadow Analysis показує не просто рух сонця, а конкретний час інсоляції у різних точках фасаду. Розрахунок відбувається в 3D, і інструмент видає схему інсоляції будівлі з легендою, де показується кількість часу (рис. 11.10).

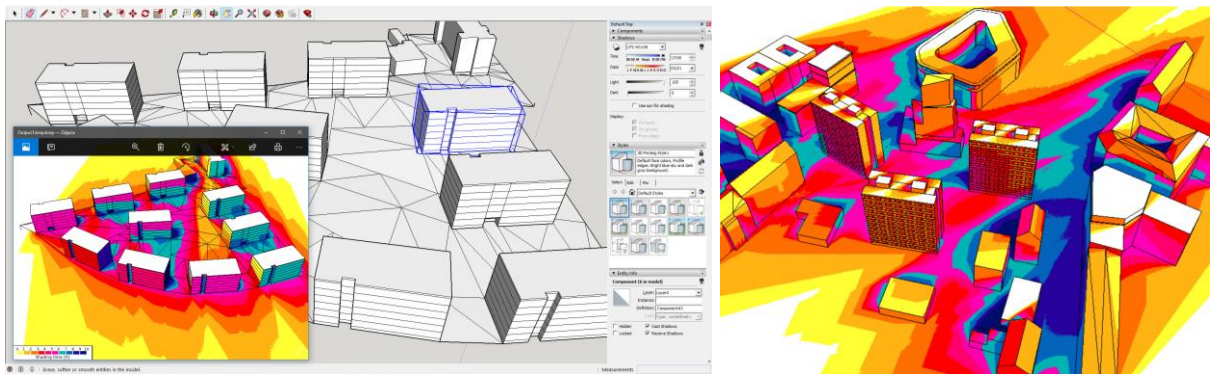


Рисунок 11.10 – Комп’ютерна програма Shadow Analysis. Приклад звіту з аналізу тіней [126]

DIALux Evo є світовим стандартом програмного забезпечення для планування та проєктування освітлення, який був розроблений німецькими фахівцями у галузі проєктування. DIALux Evo використовується для створення 3D-проєктів освітлення для внутрішніх приміщень усіх видів – житлових приміщень, установ, лікарень, аеропортів, магазинів, ресторанів, театрів, музеїв, басейнів та зовнішніх приміщень – вулиць, тротуарів і доріжок, мостів, сходів, садів, парків, площ, фасадів будівель, дворів, скульптур, фонтанів, дерев у проєкті (рис. 11.11) [129].

Переважно DIALux Evo використовують для світлотехнічних розрахунків, розрахунків освітленості від різних джерел світла. Проте у програмі також можна порахувати і коефіцієнт природного освітлення.

У DIALux Evo можна завантажити DWG-план або IFC-модель приміщення – ці формати підтримують усі архітектурні програми для моделювання. Можна також зробити модель приміщення у самій програмі. Параметри, що налаштовуються для розрахунку коефіцієнта природного освітлення – дата, час, локація, відступи і розрахункова поверхня. Програма збудує ізолінії природного освітлення. DIALux Evo сумісна з програмами AutoCAD, 3DMax, SketchUp.

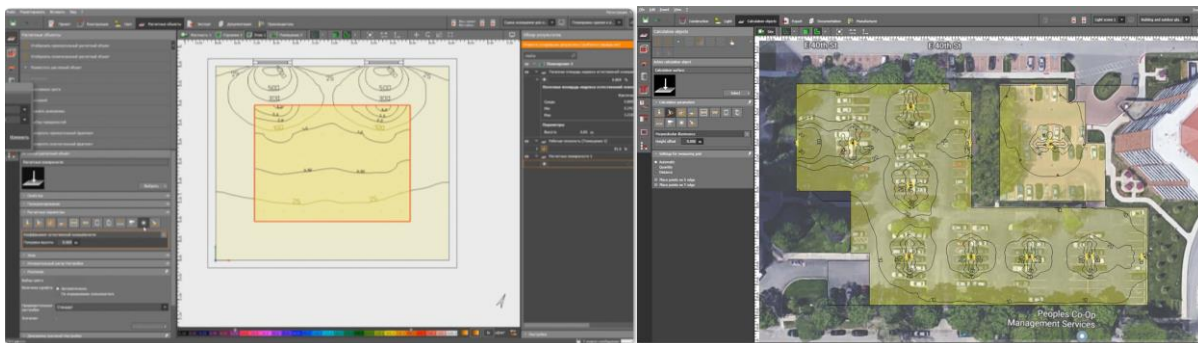


Рисунок 11.11 – Інтерфейс програми DIALux Evo [129]

Autodesk Revit Architecture – програмне забезпечення, яке дозволяє виконувати розрахунок інсоляції. За допомогою Revit Architecture можна наочно простежити за інсоляцією проєктованих об’єктів з точністю до місця розташування. Архітектор може не тільки розраховувати інсоляцію, але так само наочно уявити процес інсоляції у вигляді тимчасового розкадрування (рис. 11.12) [122].

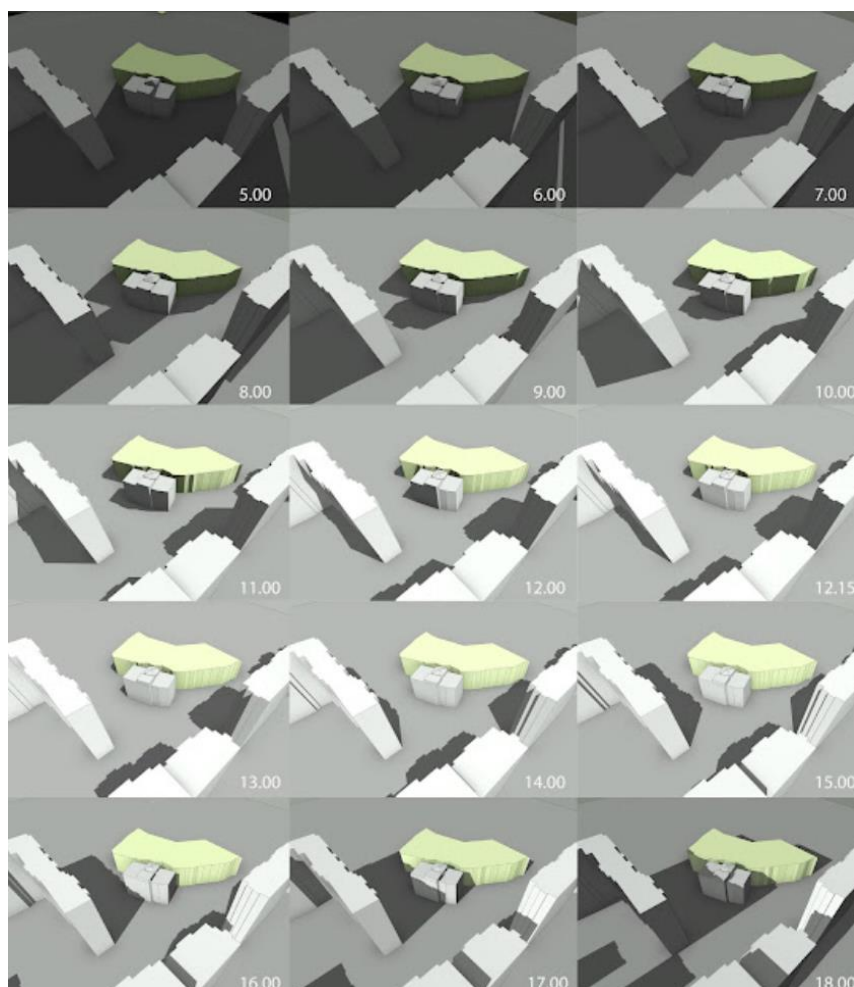


Рисунок 11.12 – Подання процесу інсоляції у Revit Architecture у вигляді тимчасового розкадрування [122]

Autodesk Revit Architecture надає можливості концептуального проектування, що дозволяють швидко досліджувати проектні ідеї. За допомогою спеціалізованих функцій можна легко створювати різні форми та архітектурні концепції. Є можливість виконувати проекти з урахуванням екологічних вимог завдяки розрахункам потреби в матеріалах, розташування будівлі та інсоляції. Дані інформаційної моделі дозволяють точно виконати розрахунок конструкції, перевірку на відсутність колізій, а потім і самі будівельні роботи.

У ході роботи з програмою Revit Architecture пропонуються нові компактні рішення щодо оцінки інсоляції на вертикальних та горизонтальних поверхнях та алгоритмі скорочення теплових втрат, що дозволяє проводити оцінку інформації у програмі типу Revit Architecture вже на початкових етапах проектування.

11.2.2 Формування і проектування інсоляції забудови

Під час проектування мікрорайонів і забудови у містах архітектор вирішує такі практичні завдання для задоволення гігієнічних вимог до інсоляції забудови і приміщень:

1. Визначення дійсної тривалості інсоляції території забудови і приміщень.

2. Визначення затінення приміщень елементами будинку, що виступають.

3. Побудова зони інсоляції та контурів тіней для визначення відстаней, що допускаються, між будинками і місць розташування в забудові спортивних і дитячих майданчиків та інших міст відпочинку.

При плануванні міст і мікрорайонів дуже важливо робити правильний вибір з орієнтації вулиць і будинків по сторонах світу. Це дозволяє значно зменшити ширину розривів між будинками і, зрештою, збільшити щільність населення мікрорайону.

Для оцінки інсоляції території складають карти інсоляції, на яких позначають тривалість інсоляції окремих елементів забудови. Карти інсоляції виконують на стадії проектування, на основі аналізу матеріалів обстеження з метою прийняття планувальних рішень з урахуванням умов комфортності середовища, які зумовлені розміщенням будинків, майданчиків відпочинку, дитячих ігрових майданчиків і композицією зелених насаджень [44].

На карті інсоляції позначають дискомфортні зони, які знаходяться в особливо несприятливих умовах і зону комфорту з рівнем освітленості

більше 3 годин на добу. Зміна умов інсоляції в цих зонах, формування планувальної структури житлових груп викликають значні труднощі, оскільки орієнтація і взаємне розташування існуючих будинків фіксована і зміна цих параметрів забудови потребує значного зносу. Проте забезпечити нормативні умови інсоляції необхідно, тому що пряме опромінення сонячними променями є важливим засобом самоочищення середовища. Умовами комфортності та дискомфорту визначаються надалі місця для розміщення майданчиків різного призначення і композиція зелених насаджень. Приклад карти інсоляції житлової території наведено на рисунку 11.13.

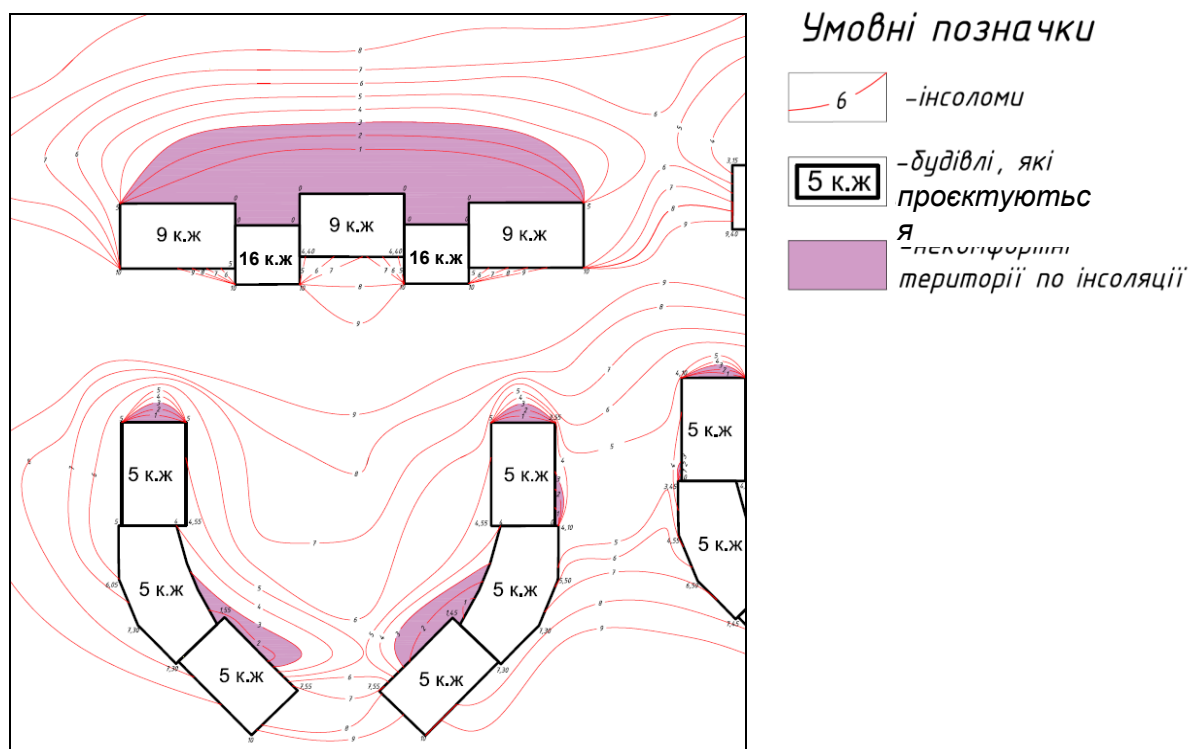


Рисунок 11.13 – Карта інсоляції території [57]

Під складністю проблеми інсоляції в архітектурі мають на увазі як її позитивні, так і негативні впливи (тепловий і світловий дискомфорт, зниження сприйняття форми і кольори за надмірної яскравості, вицвітання матеріалів). Отже, не менш важливо передбачати різні засоби захисту від інсоляції.

11.2.3 Основні характеристики сонцезахисних засобів та методи їхнього проєктування

Варто зауважити, що як недостатня тривалість інсоляції, так і надмірна її дія створюють у приміщенні дискомфортні умови. Для

запобігання деструктивного впливу інсоляції застосовують сонцезахисні методи та засоби боротьби з її негативною дією.

Сонцезахисні пристрої передбачають у тих випадках, коли неможливо запобігти сонячному перегріванню без спеціальних конструктивних заходів або такий захист приміщень необхідний. Наразі застосовують різні сонцезахисні конструкції і засоби, які здатні певною мірою створити нормальні мікрокліматичні умови в приміщеннях, забезпечити зниження надмірної освітленості, убезпечити від блискості та засліпленості, створити умови для більш рівномірного розподілення світла у приміщенні і зменшити теплове перевантаження на систему кондиціонування повітря [57].

Сонцезахисні засоби є необхідною частиною сучасного будинку, особливо того, який зводиться в південних районах. Крім поліпшення якості світлового середовища в приміщеннях, сонцезахисні пристрої є важливим засобом пластичного рішення фасадів будинку, що не тільки забезпечує комфортні умови у приміщеннях, а й додає будівлям додаткової архітектурної виразності.

Основні функції сонцезахисних пристроїв:

- захист від перегрівання приміщень у літні місяці;
- обмеження прямої і відбитої блискості, що супроводжується засліпленістю працюючих;
- зміна розподілу світлових потоків, що проходять у приміщення через світлопрорізи.

Види сонцезахисних засобів:

1) сукупність архітектурно-планувальних заходів – раціональна орієнтація будинків за сторонами світла, використання галерей, лоджій, вертикальне озеленення, фарбування огорожувальних конструкцій у світлі тони, обводнювання території, планування забудови будинків;

2) затінювальні пристрої:

а) *стаціонарні*: козирки (суцільні або ґратчасті), екрани (горизонтальні й вертикальні, суцільні і ґратчасті), чашоподібні просторові форми;

б) *регульовані (мобільні)*: жалюзі (горизонтальні або вертикальні), віконниці, маркізи, штори та ін.;

3) конструктивні засоби: використання тепловідбивального або світлорозсіювального скла, теплоізоляційних матеріалів, повітряних прошарків тощо;

4) технічні засоби – кондиціонування приміщень.

Правила вибору сонцезахисних засобів (табл. 11.1) [57]:

1. Використання архітектурно-планувальних засобів – правильно обране розташування будинку стосовно Сонця і його планувальне рішення значною мірою поліпшує якість світлового і теплового середовища в приміщеннях.

2. З метою зменшення сонячного тепла, що потрапляє в приміщення, застосовують або шарувату конструкцію скління, або спеціальні сонцезахисні стекла.

Таблиця 11.1 – Основні характеристики сонцезахисних пристроїв і обладнання

Сонцезахисне улаштування	Місце розташування в будівлі	Характер дії	Світлозахисний ефект	Галузь застосування
1	2	3	4	5
Горизонтальні або нахилені суцільні козирки	Над вікнами зовні	Обмеження або виключення інсоляції	При високому сонцестоянні	Стіни південної орієнтації
Те саме жалюзійними ґратами	Над вікнами зовні	Обмеження або виключення інсоляції, повітряне обдування	При високому сонцестоянні	Стіни південної орієнтації
Вертикальні ребра-екрани, нормально або під кутом до стіни	Поряд з віконними прорізами з одного боку	Обмеження або виключення інсоляції, повітряне обдування	При низькому сонцестоянні	Стіни східної та західної орієнтації
Виносні стінки	Над віконними прорізами з обох боків	Обмеження або виключення інсоляції, повітряне обдування та захист стін від перегріву	Без обмеження	Без обмеження
Жалюзійні ґрати горизонтальні або вертикальні	Перед світло прорізами або всередині їх	Обмеження або виключення інсоляції	Без обмеження	Без обмеження переважно східної та західної орієнтації
Мобільні жалюзі, маркізи, козирки	Зовні або в середині світлопрорізів	Обмеження або виключення інсоляції	Без обмеження	Південь, південний схід, південний захід

Продовження таблиці 11.1

1	2	3	4	5
Світлоутворювальні дифузори	За всією площиною фасаду	Обмеження або виключення інсоляції, незадовільне повітряне обдування	Без обмеження	Без обмеження
Спеціальні види скління	Заповнення світлопрорізів	Світлорозсіювання відбиття або поглинання	Без обмеження	Південь, південний схід, південний захід

Застосування сонцезахисних пристроїв зазвичай супроводжуються:

- зменшенням коефіцієнта світлопропускання, а отже, і яскравості вікон, що стає необхідним у разі опромінення вікон сонцем;
- перерозподілом у приміщенні світлового потоку, що проходить через вікно.

Основне призначення сонцезахисних пристроїв – здатність максимального світловіддзеркалення і світлопропускання, а також наявність мінімальної теплоємності та здатність забезпечувати циркуляцію повітря по вертикалі і горизонталі паралельно площини стіни.

Сонцезахисні пристрої не змінюють спектр світлопотоку, але знижують рівень освітленості приміщення з причин транспарентності сонцезахисних пристроїв і зниження рівня світловіддзеркалення від поверхонь. З огляду на світло кліматичні особливості району будівництва необхідно врегульовувати головні санітарно-гігієнічні та експлуатаційно-побутові вимоги до сонцезахисту.

Сонцезахисні пристрої істотно впливають на загальну освітленість: за безхмарної погоди світлорозсіюванні поверхні може значно підвищувати КПО, а за хмарної – похмурої погоди, істотно його знижувати.

Горизонтальні сонцезахисні пристрої найбільш ефективні при південній орієнтації фасаду, а *вертикальні* – у разі орієнтації на схід (захід) і північний схід (північний захід) (див. табл. 11.1 [57]).

Розміри екранних елементів, їхня кількість і кути нахилу визначаються «захисними кутами» β , для горизонтальних пристроїв – α (рис. 11.14).

Під час проєктування вертикальної жалюзі передбачається обмеження потрапляння сонячних променів до певного часу дня, оминаючи, таким чином, період перегрівання.

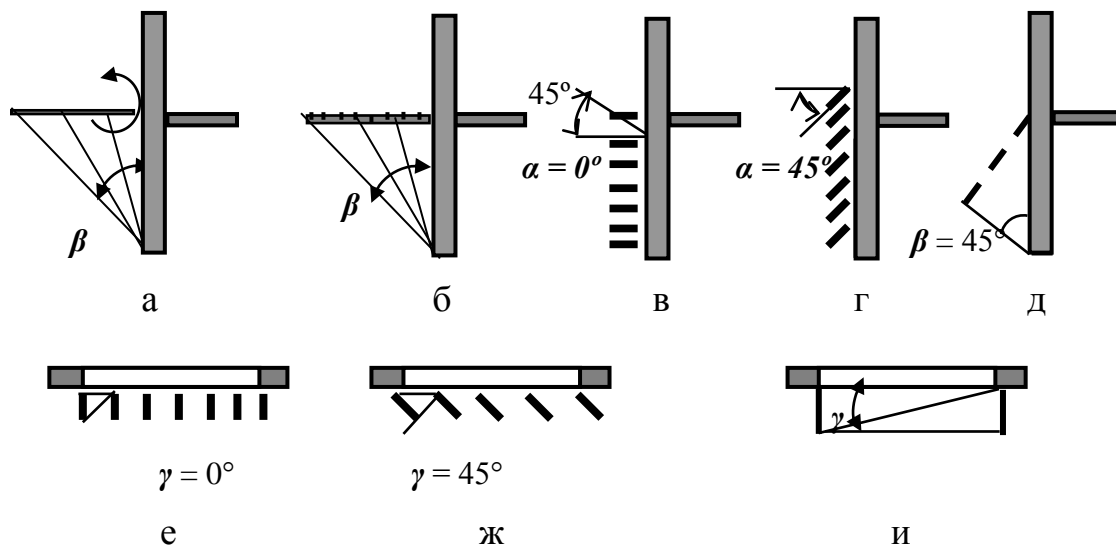


Рисунок 11.14 – Типи і ефективність сонцезахисних пристроїв:
 а, б – козирки суцільні та $\beta=45^\circ; 30^\circ; 15^\circ$; в, г – жалюзі горизонтальні мобільні та стаціонарні ($\alpha = 0^\circ; \alpha = 45^\circ$); д – екрани типу «маркіз» $\beta=45^\circ$;
 е, ж – жалюзі вертикальні стаціонарні та мобільні ($\gamma = 0^\circ; \gamma = 45^\circ$);
 и – подібні до світильників тіньюотворювальні екрани ($\gamma = 30^\circ-45^\circ$) [57]

Вихідними даними для визначення геометричних розмірів сонцезахисних пристроїв є план і розріз приміщення з розмірами світлоотвору й ескізом варіанта пристрою, орієнтація вікна, географічна широта району будівництва та схема розміщення певного будинку на генплані. Важливо також знати режим роботи в цьому приміщенні і розміщення у ньому обладнання [88].

Залежно від орієнтації вікна приміщення для заданого кліматичного району за допомогою існуючих даних або з використанням даних ДСТУ–Н Б В.1.1–27:2010. «Будівельна кліматологія» [47] (визначаємо період у годинах із надмірним сонячним випромінюванням і відповідно встановлюємо, з якого і до якого часу необхідно захищати приміщення від сонячного перегрівання й з якого до якого часу потрібно захищати від світлового дискомфорту. Варто зазначити, що ці визначення початку і кінця сонцезахисту приміщення необхідно використовувати за місцевим або, інакше, астрономічним часом, оскільки за ним обчислюються координати Сонця й залежно від їхнього значення встановлюються розміри елементів пристрою [37, 47].

Сонцезахисні пристрої істотно впливають на загальну освітленість: за безхмарної погоди світлорозсіюванні поверхні може значно підвищувати КПО, а за хмарної – похмурої погоди, істотно його знижувати.

Наближений вплив сонцезахисних пристроїв на КПО всередині приміщення можна розраховувати, користуючись поправочними коефіцієнтами величин КПО, однак ці дані можна ефективно використовувати тільки при інтегральному висвітленні. Разом із тим передбачається облік зниження освітленості внаслідок світлопропускання заповнення прорізу шляхом введення додаткового коефіцієнта, що враховує втрати світла в сонцезахисних пристроях. У III та IV кліматичних районах враховується ефект різних типів сонцезахисних пристроїв залежно від орієнтації будинків [37].

Практика показує, що найбільша кількість грубих помилок спостерігається в тих випадках, коли архітектор вирішує завдання щодо сонцезахисту не комплексно, а на останніх стадіях проектування. Найрозповсюдженішою помилкою є застосування масивних, теплоємних затінювальних екранів, що монолітно зв'язані з огорожувальною конструкцією (незахищені лоджії, бетонні просторові структури). Такі конструкції акумулюють сонячне тепло і шляхом теплообміну зі склінням додатково передають його в приміщення. Частими є випадки застосування сонцезахисних пристроїв без обліку орієнтації будинку по сторонах обрїю і використання сонцезахисного скла, що зменшує лише теплову радіацію сонця і не усуває його сліпучу дію [27].

Це неприпустимо, особливо в таких громадських будинках, як навчальні та проектні спорудження будівлі, а також у житлових будинках.

Найбільш ефективним сонцезахисним засобом для гіпотермічних районів є зовнішній регульований пристрій, що екранує сонячні промені в комплексі з теплозахисним склінням зовнішнього плетіння. Проте це дорогий, але ефективний шлях з погляду економічності тільки в будинках, обладнаних кондиціонерами. Ці виразні елементи архітектури застосовують у тих кліматичних районах, де середньомісячна температура липня більше або дорівнює 21°C [44, 88].

Матеріали для виготовлення сонцезахисних пристроїв

Козирки суцільні і ґратчасті (див. рис. 11.14, а, г) з різними захисними кутами $\beta = 45^\circ$, 30° і 15° виробляються з залізобетону (рис. 11.15, а), металу, черепиці, полікарбонату (рис. 11.15, б).

Жалюзі венеціанські горизонтальні регульовані і стаціонарні (рис. 11.16) для внутрішнього та зовнішнього використання, з по-різному розташованими ребрами (див. рис. 11.14, б). Різновид венеціанських жалюзі – колекторний пристрій, що є підйомною конструкцією,

розташованою між палітурками вікна, що забезпечують затінення влітку, теплоізоляцію вночі й виробляються з дерева, алюмінію, пластмаси.

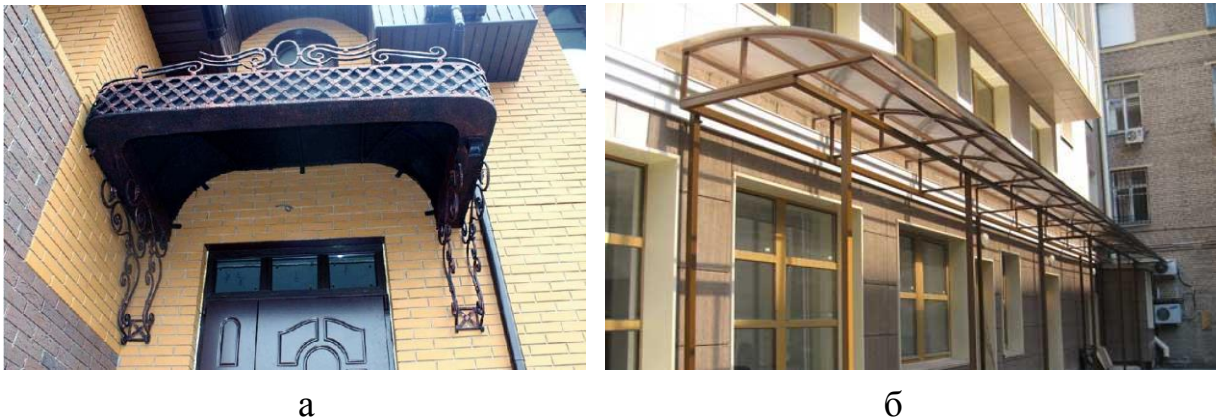


Рисунок 11.15 – Приклади козирків: а – суцільний козирок із залізобетону; б – суцільний козирок із полікарбонату [57]



Рисунок 11.16 – Приклади венеціанської жалюзі горизонтальної стаціонарної та регульовані [57]

Жалюзі вертикальні стаціонарні і регульовані (рис. 11.17) з екранами (ребрами), розташованими під кутом 0° і 45° до площини скління, виробляються з дерева, алюмінію, пластмаси, тканини.

Екрани типу «маркіз» із захисним кутом $\beta = 45^\circ$, виробляються з дерева, металу, тканин, пластмас. Куполоподібні екрани, що затінюють, із захисними кутами $\gamma = 30\text{--}45^\circ$, виготовляються з легких бетонів, дерева, алюмінію, пластмас (рис. 11.18) [7].

Існує три групи сонцезахисних стекол:

1. Скло спеціального складу з домішками в основному закисі заліза, що забезпечує значне поглинання інфрачервоної і теплової радіації Сонця, таке скло має зеленуватий відтінок. У цю групу входять контрастне і сіре

(нейтральне) скло, яке широко розповсюджено в США: фототропне, «термакс», «солекс», «термолюкс», «атермік», «антісон».



Рисунок 11.17 – Жалюзі вертикальні для зовнішнього та внутрішнього використання [57]



Рисунок 11.18 – Екрани типу «маркіз»: а – балконна маркіза; б – кошова маркіза; в – горизонтальні маркізи для терас; г – вертикальні маркізи [57]

2. Скло із відбивним шаром (плівкою), який накладено на зовнішню поверхню (титанове покриття, окисне – кобальтове, олов'яно-

сурм'янисте). Відрізняється широким спектральним діапазоном (рис. 11.19).

3. Багат шарове скло, де простір між склінням заповнюється спеціальними речовинами, що забезпечують поглинання, відображення і розсіювання сонячної радіації.

Варто комплексно підходити до оцінки економічної доцільності застосування того чи іншого виду скла, оцінюючи не тільки витрати на скління, але й економію, яку можна отримати за іншими напрямками. Наприклад, використання мультифункціональних стекол, що поєднують у собі функції енергозбереження та світлозахист, дає змогу істотно скоротити витрати на кондиціонування приміщень у літній період і опалення взимку [101]. Одним із видів сонцезахисних плівок є плівка Multifilm SiAt022, яка подана на рисунку 11.19. Механізм захисту приміщень такий: скрізь плівку у приміщення проникає 2 % світла, 18 % абсорбується і 80 % відбивається назовні, водночас 2 % світла в сонячний день достатньо для нормального освітлення робочого місця. Це досягається завдяки специфіці поверхні плівки (embossing), скрізь яку світло проходить рівномірно та розподіляється по приміщенню, не перекидаючи зображення скрізь вікно.

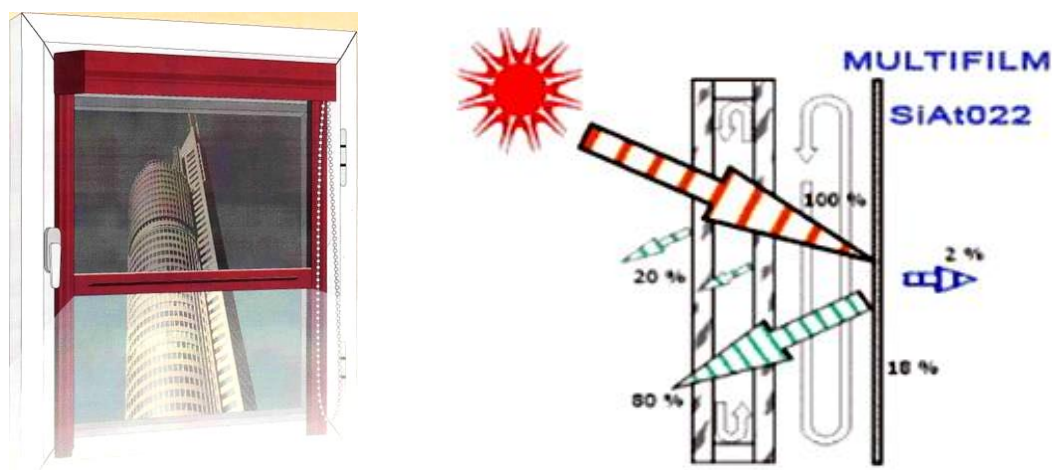


Рисунок 11.19 – Застосування сонцезахисних плівок типу Multifilm SiAt022 [57]

У країнах ЄС і США проводилися і проводяться численні дослідження, присвячені як максимальному використанню природного освітлення, так і захисту приміщень від перегрівання, викликаного прямою сонячною радіацією, а також обліку надходжень від сонячної радіації в тепловому балансі будівель. За цими дослідженнями та були розроблені сучасні системи кліматизації будівель [95].

Європейський союз, зокрема, напрацював значний досвід нормування, проєктування, застосування, випробувань, розрахунків різних сонцезахисних пристроїв, що запроваджено у стандарти. Зараз діє більше 50 європейських і національних стандартів на сонцезахисні пристрої. Вимоги до них і до їхнього використання є як в європейських директивах, так і в національних документах з проєктування будівель різного призначення. У таблиці 11.2 наведено назви деяких європейських стандартів у галузі сонцезахисних пристроїв.

Таблиця 11.12 – Основні європейські стандарти в галузі сонцезахисних пристроїв

Діючі стандарти Європейського союзу	Переклад назви
1	2
EN 410:2011 «Glass in building – Determination of luminous and solar characteristics of glazing»	«Скло в будівництві – Визначення світлових і сонячних характеристик скління»
EN 1627:2021 «Pedestrian doorsets, windows, curtain walling, grilles and shutters. Burglar resistance. Requirements and classification»	«Двері, вікна, фасади, решітки та жалюзі. Зламостійкість. Вимоги та класифікація»
EN 1628:2021 «Windows, doors, shutters – Burglar resistance – Test method for the determination of resistance under static loading»	«Вікна, двері, жалюзі – Зламосталість – Метод випробування для визначення опору під статичним навантаженням»
BS EN 1629:2021 «Pedestrian doorsets, windows, curtain walling, grilles and shutters. Burglar resistance. Test method for the determination of resistance under dynamic loading»	«Двері, вікна, фасади, решітки та жалюзі. Зламостійкість. Методика визначення опору при динамічному навантаженні»
EN 1630:2021 «Pedestrian doorsets, windows, curtain walling, grilles and shutters – Burglar resistance – Test method for the determination of resistance to manual burglary attempts»	«Дверні, вікна, навісні стіни, решітки та віконниці – Стійкість до злому – Метод випробування для визначення стійкості до спроб злому вручну»
EN 1932:2013 «External blinds and shutters – Resistance to wind loads – Method of testing and performance criteria»	«Зовнішні жалюзі та віконниці. Стійкість до вітрових навантажень. Метод випробування та критерії ефективності»
EN ISO 10077-1:2022 «Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 1 : general»	«Теплові характеристики вікон, дверей і жалюзі – Розрахунок теплопередачі – Частина 1: Загальні умови»
EN 12045: 2001 «Shutters and blinds power operated – Safety in use – Measurement of the transmitted force»	«Ставні і жалюзі з електричним приводом – Безпека використання – Вимірювання переданої сили»

Продовження таблиці 11.12

1	2
EN ISO 10077-2:2017 «Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 2: Numerical method for frames – Amendment 1»	«Теплові характеристики вікон, дверей і жалюзі – Розрахунок теплопередачі – Частина 2: Чисельний метод для рам – Поправка 1»
EN 12194: 2001 «Shutters, external and internal blinds – Misuse – Test methods»	«Віконниці, зовнішні і внутрішні жалюзі – Неправильне використання – Методи випробувань»
EN 12216:2018 «Shutters, external blinds, internal blinds – Terminology, glossary and definitions»	«Віконниці, зовнішні жалюзі, внутрішні жалюзі – Термінологія, глосарій та визначення»
EN ISO 52022-1:2017 «Energy performance of buildings – Thermal, solar and daylight properties of building components and elements – Part 1: Simplified calculation method of the solar and daylight characteristics for solar protection devices combined with glazing»	«Енергетична ефективність будівель. Теплові, сонячні та денні властивості будівельних компонентів і елементів. Частина 1. Спрощений метод розрахунку сонячних і денних характеристик сонячних захисних пристроїв у поєднанні із склінням»
ISO/TR 52022-2:2017 «Energy performance of buildings – Thermal, solar and daylight properties of building components and elements – Part 2: Explanation and justification»	«Енергетична ефективність будівель. Теплові, сонячні та денні властивості будівельних компонентів і елементів. Частина 2. Пояснення та обґрунтування»
EN 12464-1:2021 «Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places»	«Світло і освітлення – освітлення робочих місць – Частина 1: Робочі місця у приміщенні»
EN 12833:2001 «Skylight and conservatory roller shutters – Resistance to snow load – Test method»	«Ролікові ставні для зенітних ліхтарів і зимових садів – Стійкість до снігового навантаження – Метод випробування»
EN 12835:2000 «Airtight shutters – Air permeability test»	«Герметичні жалюзі – Перевірка на повітряпроникненість»
EN 13120:2009+A1:2014 «Internal blinds – Performance requirements including safety»	«Внутрішні жалюзі – Вимоги до характеристик, включаючи безпеку»
EN 13125: 2001 «Shutters and blinds – Additional thermal resistance – Allocation of a class of air permeability to a product»	«Жалюзі та віконниці – Додатковий термічний опір – Призначення класу повітропроникності в продукті»
EN 13330:2013 «Shutters – Hard body impact and resistance against intrusion – Test method»	«Жалюзі – Вплив твердих тіл та запобігання доступу – Методи випробувань.»
EN 13363-1:2003+A1:2007 «Solar protection devices combined with glazing – calculation of solar and light transmittance – Part 1: Simplified method»	«Сонцезахисні пристрої, суміщені зі склінням – розрахунок світлопропускання і пропускання сонячної радіації – Частина 1: Спрощений метод»

Продовження таблиці 11.12

1	2
EN 13363–2:2005 «Solar protection devices combined with glazing – calculation of solar and light transmittance – Part 2: Reference method»	«Сонцезахисні пристрої, суміщені зі склінням – розрахунок світлопропускання і пропускання сонячної радіації – Частина 2: Метод детального розрахунку»
EN 13527:2001–01 «Shutters and blinds – Measurement of operating force – Test methods»	«Віконці і жалюзі – Вимірювання робочого зусилля – Методи випробувань»
EN 13561:2015 «External blinds and awnings – Performance requirements including safety»	«Зовнішні жалюзі і навіси – експлуатаційні вимоги, включаючи безпеку»
EN 13659:2015 «Shutters for openings fitted with windows – Performance requirements including safety»	«Зовнішні жалюзі – експлуатаційні вимоги, включаючи безпеку»
EN 14201: 2004 «Blinds and shutters – Resistance to repeated operations (mechanical endurance) – Methods of testing»	«Ставні, вбудовані у вікна – Експлуатаційні вимоги, включаючи безпеку»
EN 14203:2004 «Blinds and shutters – Capability for use of gears with crank handle – Requirements and test methods»	«Жалюзі та віконниці – Можливість використання шестерень з рукояткою – Вимоги та методи випробувань»
EN 14500:2021 «Blinds and shutters – Thermal and visual comfort – Test and calculation methods»	«Жалюзі та віконниці. Тепловий і візуальний комфорт. Методи випробувань і розрахунку»
EN 14501:2021 «Blinds and shutters – Thermal and visual comfort – Performance characteristics and classification»	«Жалюзі та віконниці – Тепловий і візуальний комфорт – Експлуатаційні характеристики і класифікація»
EN 14759:2005 «Shutters – Acoustic insulation relative to airborne sound – Expression of performance »	«Віконниці – Повітряна звукоізоляція – Експлуатаційні характеристики»
EN 13125: 2001 «Shutters and blinds – Additional thermal resistance – Allocation of a class of air permeability to a product»	«Жалюзі та віконниці – Додатковий термічний опір – Призначення класу повітропроникності в продукті»
EN 13330:2013 «Shutters – Hard body impact and resistance against intrusion – Test method»	«Віконниці – Жорсткий вплив на корпус і опір проти вторгнення – Метод випробування»
EN 13527: 1999 «Shutters and blinds – Measurement of operating force – Test methods»	«Віконці і жалюзі – Вимірювання робочого зусилля – Методи випробувань»
EN 13561:2015 «External blinds and awnings – Performance requirements including safe»	«Зовнішні жалюзі та навіси – експлуатаційні вимоги, включаючи безпеку»

Закінчення таблиці 11.12

1	2
EN 13363-1:2003+A1:2007 «Solar protection devices combined with glazing – Calculation of solar and light transmittance – Part 1: Simplified method»	«Сонцезахисні пристрої, суміщені зі склінням – Розрахунок світлопропускання і пропускання сонячної радіації – Частина 1: Спрощений метод»
EN 13363-2:2005 «Solar protection devices combined with glazing – Calculation of solar and light transmittance – Part 2: Detailed calculation method»	«Сонцезахисні пристрої, суміщені зі склінням – розрахунок світлопропускання і пропускання сонячної радіації – Частина 2: Детальний метод розрахунку»
EN 13659:2015 «Shutters and external venetian blinds – Performance requirements including safety»	«Віконниці та зовнішні венеціанські жалюзі – експлуатаційні вимоги, включаючи безпеку»
EN 14201: 2004 «Blinds and shutters – Resistance to repeated operations (mechanical endurance) – Methods of testing»	«Ставні, вбудовані у вікна – Експлуатаційні вимоги, включаючи безпеку»
EN 14202: 2004 «Blinds and shutters – Suitability for use of tubular and square motorizations – Requirements and test methods»	«Жалюзі та віконниці – Придатність для використання різних систем механізації – Вимоги та методи випробувань»
EN 14203: 2004 «Blinds and shutters – Capability for use of gears with crank handle – Requirements and test methods»	«Жалюзі та віконниці – Можливість використання шестерень з рукояткою – Вимоги та методи випробувань»
EN 14759:2005 «Shutters – Acoustic insulation relative to airborne sound – Expression of performance»	«Віконниці – Повітряна звукоізоляція відносно повітряного звуку – Експлуатаційні характеристики»
EN 17372:2021 «Power operated pedestrian swing door drives with self closing function - Requirements and test methods»	«Електроприводи розпашних дверей із функцією самозачинення. Вимоги та методи випробувань»

Варто зазначити, що ці документи постійно удосконалюються, а їхній перелік доповнюється.

Відповідно до проведеної сьогодні в Україні політики гармонізації вітчизняних стандартів з аналогічними документами Європейського союзу необхідно активізувати розроблення вітчизняного комплексу стандартів у галузі сонцезахисних пристроїв, що дозволить законодавчо забезпечити використання інноваційних сонцезахисних пристроїв, а також сприятиме підвищенню теплового і зорового комфорту в приміщеннях, зниження енергетичних витрат на експлуатацію будівель.

Контрольні запитання

1. Від яких факторів залежить інсоляція житлових будівель?
2. Що впливає на умови інсоляції приміщень?
3. Від яких факторів залежить інсоляція житлових територій?
4. Які основні поняття використовують для визначення інсоляції?
5. Рішення яких завдань дає змогу розрахувати інсоляцію?
6. Які існують найпоширеніші графічні методи визначення інсоляції?
7. У чому полягає сутність та необхідність застосування методу комп'ютерного моделювання, застосованого для розрахунку інсоляції?
8. Назвіть основні засоби сонцезахисту приміщень.
9. Назвіть основні характеристики сонцезахисних пристроїв.
10. Які існують основні європейські стандарти в галузі сонцезахисних пристроїв?

РОЗДІЛ 12 АРХІТЕКТУРНЕ КОЛЬОРОЗНАВСТВО

12.1 Основи архітектурного кольорознавства

12.1.1 Єдність світла і кольору як найважливіший фактор середовища

Без кольору видимий світ неможливий. На людину постійно впливає колірне середовище, у якому вона мешкає. Більшу частину пізнань про навколишній світ вона отримує, сприймаючи колір, який ще на зорі цивілізації був для людей і засобом інформації, і символом, і прикрасою. У цьому і полягає соціальна значущість кольору [79].

Науково-технічний прогрес, розвиток культури і мистецтва значно розширили пізнання людини про колір і межі його використання в різноманітних сферах людської діяльності, зокрема, у створенні як зовнішнього середовища проживання, так і інтер'єру. Для використання можливостей кольору необхідно чітко уявляти багатоаспектність теорії кольору.

Широта її застосування обумовлює необхідність розгляду і пояснення колірних явищ із позицій різних галузей наукового знання: фізики (її розділу – оптики), математики, хімії, психофізіології зору, психології та інших, що розглядає наука кольорознавство [86].

Кольорознавство – наука про колір, систематизація сукупних даних про фізику, фізіологію, психологію та інших наук, що розглядають питання сприйняття людиною кольору, вплив кольору на людину, систематизацію і вимір кольору (*колориметрія*). Об'єктивні закономірності гармонії і дисгармонії кольорів визначаються і формуються в кольорознавстві:

– їхній взаємовплив у сприйнятті людиною колірною середовища складає основу колористичних аспектів архітектурної композиції;

– використання кольору як одного з прийомів підвищення психологічного комфорту архітектурного середовища і естетичної виразності архітектурних форм.

Колориметрія – сукупність способів математичного опису кольору і методи його виміру (кількісного визначення) [9].

У 1866 р. Ньютон пропустив сонячні промені скрізь тригранну призму і побачив спектральну смугу, яка складалася із гамми (сім) різних кольорів (рис. 12.1).

Колір – це властивість тіл викликати визначені зорові відчуття у відношенні із спеціальним спектральним складом та інтенсивністю

відображеного або випроміненого видимого випромінювання. Встановлено, що людським оком сприймаються світлові коливання з довжиною хвилі від 380 нм до 760 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$). Довжина хвилі позначається через λ (лямда). Кольори спектра чергуються в такій послідовності: червоний, помаранчевий, зелений, блакитний, синій, фіолетовий. Око людини має різне відчуття хвиль різної довжини. Найбільшу чутливість око має в області жовто-зелених променів. Максимум видимості відповідає зеленим променям із довжиною хвилі 550 нм.

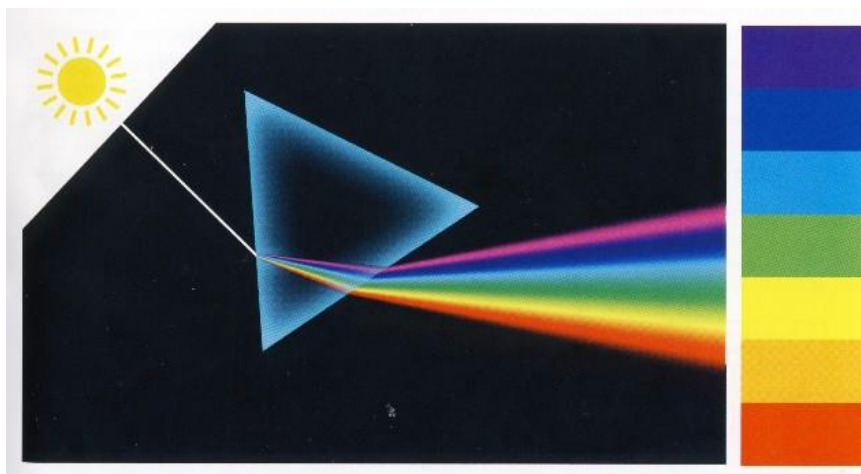


Рисунок 12.1 – Пропускання сонячного світла скрізь призму [57]

Електромагнітні випромінювання бувають з різною довжиною хвиль – від космічних із довжиною хвилі меншою однієї десятимільйонної долі міліметра до променів із довжиною хвилі в кілька сотень кілометрів.

Світлові хвилі відрізняються одна від одної амплітудою коливань та довжиною. Таким чином, кожний спектральний колір можна характеризувати відповідною йому довжиною хвилі (табл. 12.1) [57].

Характеристика кольору. Частина світлового потоку, досягаючи поверхні тіла, відображається, частина поглинається і переходить в інші види енергії, зазвичай у теплову, та залишок світлового потоку пропускає крізь себе світло. Ці явища характеризуються коефіцієнтами відображення (ρ), пропускання та поглинання тіла.

Існує два основних типи відображення: дзеркальне і дифузійне. При дзеркальному відображенні кут падіння дорівнює куту відображення. При дифузійному відображенні промінь відображається у всіх напрямках. Для відображеного світла коефіцієнт поглинання, й відповідно, коефіцієнт відображення змінюються залежно від довжини хвилі, тобто коефіцієнт відображення є функцією довжини хвилі [86].

Таблиця 12.1 – Орієнтовні границі ділянок спектра для основних та групи пурпурних кольорів

Колір	Межі ділянки спектра, нм
Червоний	760–620
Червоно-помаранчевий	620–600
Помаранчевий	600–590
Оранжево-жовтий	590–580
Жовтий	580–570
Жовто-зелений	570–550
Зелений	550–520
Зелено-блакитний	520–500
Блакитний	500–485
Синій	485–470
Синьо-фіолетовий	470–440
Фіолетовий	440–380
Фіолетово-пурпурний	380–520
Пурпурний	520–560
Пурпурно-червоний	560–760

Наука про колір усі колірні враження поділяє на дві чітко розрізнені групи – хроматичні й ахроматичні кольори.

Ахроматичні кольори розрізняються тільки за яскравістю (білий, сірий, чорний) (рис. 12.2).

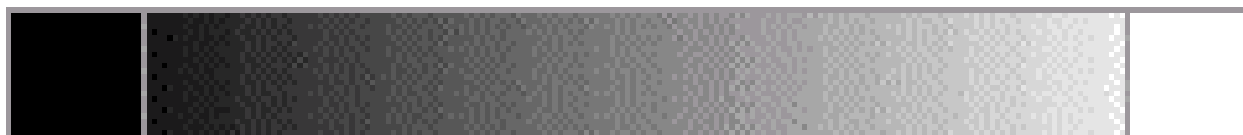


Рисунок 12.2 – Спектр ахроматичних кольорів [57]

До ахроматичних відноситься білий, чорний і всі сірі кольори. До хроматичних належать усі спектральні кольори: червоний, помаранчевий, жовтий, зелений, блакитний, синій, фіолетовий, пурпуровий з усіма відтінками й переходами. Хроматичних кольорів – велика кількість, проте людське око здатне відрізнити один від одного лиш обмежену кількість, приблизно 300.

Ахроматичні кольори відрізняються один від одного тільки світлотою. Під колірним зором розуміють здатність людини сприймати хроматичні кольори.

Тіла, які мають ахроматичний колір, характеризуються незбірним поглинанням, тобто їхній коефіцієнт відображення однаковий для всіх довжин хвиль. Тіла, які мають хроматичний колір, характеризуються

збірним поглинанням і відповідно, їхній коефіцієнт відображення різний для різних довжин хвиль.

Хроматичні кольори мають колірний тон, яскравість (світлоту) і чистоту (рис. 12.3).

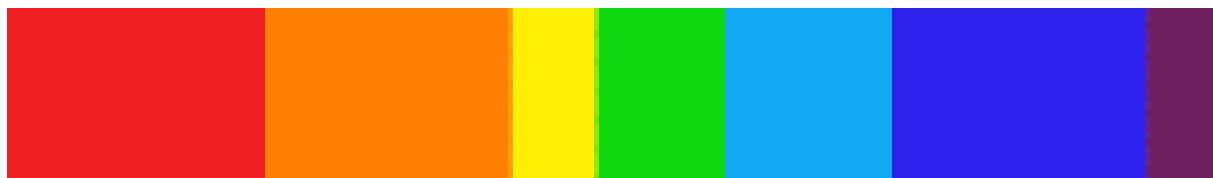
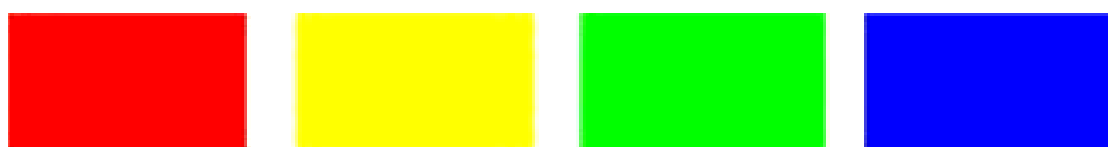


Рисунок 12.3 – Спектр хроматичних кольорів [57]

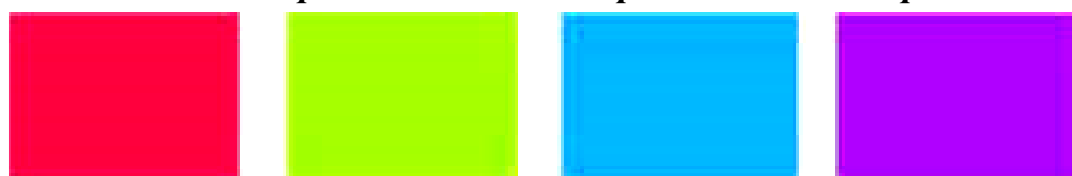
Хроматичність (Chromaticity), яку також називають «соковитістю», є кількість кольору у кольорі. Колір без кольору є ахроматичним або монохроматичним, та сприймається як сірий (рис. 12.4).



Висока ароматичність – дуже сяючі, живі кольори



Низька хроматичність – ахроматичні кольори



Хроматичність однакова – середній рівень: така саме яскравість кольорів, незважаючи на різний тон; чистота менше, чим у перших зразків

Рисунок 12.4 – Типи ароматичності [57]

Світло і колір нероздільні, як причина і наслідок. Самі засоби колірної композиції – колірний тон, світлота, насиченість, чистота, фактурність, психофізичний вплив кожного кольору окремо на інтер'єр і екстер'єр – знаходяться в чіткій закономірній залежності від освітлення.

Світло вирішально впливає на сприйняття і відчуття кольору, але і колір впливає на освітленість. Взаємодіючи, вони спільно визначають сприйняття всього колірного середовища інтер'єру. Цей вплив залежить

від спектрального складу, яскравості й стабільності джерела світла, його розташування і способу світлорозподілу.

Спектральний склад, кольоровість світла активно впливають на сприйняття кольорів і по-різному змінюють колір, а також їхнє сполучення. Відповідно прийнятне пофарбування приміщень у теплі тони, що звернені вікнами на північ та на північний захід. У разі південної, південно-східної і південно-західної орієнтації пофарбування потребує холодних тонів [86].

Світлота колірної поверхні залежить від освітлення при розсіяному відображенні.

За достатньої освітленості добре виявляються основні властивості кольорів – колірний тон, чистота, насиченість та їхнє співвідношення.

При розсіяному денному світлі найяснішими, більш виразними сприймаються кольори жовтого спектра, майже несприятливими кольорами вважаються темні – синього спектра.

За слабкої освітленості кольори тьмяніють. Холодні кольори (сині і блакитні) здаються світліше, або важко помітні між собою, а червоні й жовті кольори сутеніють.

12.1.2 Параметри кольору, спектральний склад світла. Фізичні засади кольорового відчуття

Колірний тон – первинний і вражаючий елемент колірної композиції – вихідний матеріал для незліченних перетворень на основі світлоти, чистоти, фактури, насиченості фарби, а також градацій, одержуваних піднімальним змішанням пігментів або сполученим змішанням кольорового світла. Первинність і можливість численних перетворень належать до головних особливостей колірному тону [57, 105].

Колірний тон – означає колірні відчуття – червоний, синій тощо, які породжуються випромінюванням визначеної довжини хвилі.

Світлота або світимість (Luminance): – властивість, яка виражає близькість хроматичних та ахроматичних кольорів до білого або до чорного. Характеризується визначеннями «темний», «світлий» [86].

За світлотою можливо порівнювати різні кольори: ахроматичні з ахроматичними, хроматичні з хроматичними, ахроматичні з хроматичними кольорами.

Світлотні розходження властиві навіть спектральним кольорам. Серед них найясніші – жовті кольори, а найтемніші – сині. Для

ахроматичних кольорів світлота за винятком фактурності – єдина характеристика.

У шкалі світлот найясніший – білий колір, найтемніший – чорний колір, при змішуванні цих кольорів виходить синювато-сірий колір.

Яскравість («value», «brightness») – міра відносної освітленості та затінення кольору, що залежить від кількості світла, випромінюваного кольором.

Чистота кольору – це ступінь наближення певного кольору до чистого спектрального, що визначається в частках одиниці (наближено до поняття в колориметрії *чистого кольору*).

Найбільшу чистоту має колір спектра, тому чистота всіх спектральних кольорів приймається за одиницю, незважаючи на їхню різну насиченість. Ступінь хроматичності кольору визначається насиченістю.

Насиченість (Saturation) визначає як виглядає колір у різних умовах освітленості.

Найбільш насичений синій колір, найменш насичений – жовтий. Особливо насичені кольори спостерігаються в спектрі, де не утримуються домішки чорного або білого кольорів. Коли ведеться яка-небудь робота з кольором, зокрема з фарбами, то особливе значення поряд із чистотою кольору має насиченість фарби, тобто процентний вміст за масою чистого хроматичного пігменту в барвному складі. Отже, насиченість – характеристика зорового відчуття, що використовується для оцінки відмінності певного кольору від ахроматичного кольору тієї ж світлоти; приблизно відповідає величині колірного розходження між певним кольором і ахроматичним кольором тієї ж яскравості [105].

Комбінування основних фізичних властивостей кольорів надає різноманітні колірні композиції, виразність яких визначається вибором тих або інших фізичних властивостей кольорів (рис. 12.5 [86]).

Властивість поверхні матеріалу, що залежить від характеру її оброблення і світловідбиття й впливає на сприйняття її кольору, називається *фактурою* [21].

Види фактур:

– *матова поверхня* – дрібнопориста, шорсткувата, яка розсіює світло в різних напрямках. Сприймається рівномірно освітленою, не відбиває дзеркально нічого, рефлексне відбиття кольорових променів (цегла, штукатурка, ДСП, клейове пофарбування, сукно тощо);

– *глянсова поверхня* – не відбиває навколишніх предметів, але має слабкі відблиски. Дрібноборозна структура, характерна для особливих

сортів паперу, пластмас (олійна фарба, лак, лінолеум, глазуровані плитки тощо);

Зміна однієї характеристики кольору



Зміна КОЛІРНОГО ТОНУ створює багатокольорову гаму, скоріше строкату, ніж виразну

У разі зміни ступеня НАСИЧЕНОСТІ КОЛЬОРУ отримують дуже невиразну, скучну, монотонну гаму

Зміна тільки рівня СВІТЛОТИ КОЛЬОРУ, що дозволяє створювати МОНОХРОМНУ гаму (однокольорову)

Зміна двох характеристик кольору



У разі зміни одночасно двох характеристик – ТОН і НАСИЧЕНОСТІ

Комбінуючи зміну СВІТЛОТИ і НАСИЧЕНОСТІ, створюється контрастність та імітується відчуття різноманітності кольору

Комбінуючи зміну СВІТЛОТИ і ТОНУ зберігається контрастність

Рисунок 12.5 – Вплив основних характеристик кольору на виразність колірних композицій [57]

– *блискуча поверхня* – зовсім гладка поверхня, яка відбиває світло в одному напрямку, має світлові відблиски, дуже яскрава до визначеної точки огляду, але темна з інших боків, відбиває навколишні предмети (колірне лицевальне скло, дзеркала, полірування, полірувальний природний камінь і метал).

Той самий колір залежно від фактури виглядає по-різному:

– при блискучій поверхні колір у місцях відблисків утрачає насиченість і здобуває безліч відтінків;

– матова фактура освітлена рівномірно, виражає власні властивості кольорів та їхні співвідношення. Завдяки багаторазовому відображенню сприяє появі колірних рефлексів [57].

12.1.3 Властивості кольорів, що обумовлюють їхній психологічний вплив

Поняття кольору та його сприйняття надзвичайно складні. Кольорознавство охоплює питання, тісно пов'язані з фізикою, фізіологією, психологією, світлотехнікою, медициною, наукою, технікою і мистецтвом. Колір – це властивість тіл викликати визначені зорові відчуття відповідно до спектрального складу і інтенсивності відбиваного чи того, що випускається, видимого випромінювання. Установлено, що людським оком сприймаються світлові коливання довжиною хвилі від 380 нм до 760 нм [86].

Світлові хвилі відрізняються одна від одної амплітудою коливання і довжиною хвилі. Установлено, що різні кольори спектра відповідають різній довжині хвилі. Таким чином, кожен спектральний колір можна характеризувати відповідною йому довжиною хвилі.

Кольори спектра чергуються в такій послідовності: червоний, жовтогарячий, жовтий, зелений, блакитний, синій і фіолетовий.

Відчуття кольору відбиває якість променистого потоку, що надходить в око, тобто його спектральний склад. Цей зв'язок між суб'єктивним і об'єктивним у питанні колірних сприйняттяв неодноразово підкреслювалося основоположниками діалектичного матеріалізму.

Психофізіологічний вплив кольору на людину в емоційному відношенні має величезне значення. Колір здатний викликати різні емоційні реакції і думки: він може заспокоювати і хвилювати, радувати і засмучувати, гнітити і веселити. Колір може викликати почуття теплоти і холоду, бадьорості й утоми, легкості й важкості, розширювати і звужувати простір, стимулювати зір, мозок, нерви; він може, нарешті, сприяти і допомагати лікуванню хворих. В архітектурі колір серед інших естетичних факторів займає одне з важливих місць.

Колір ілюзорний при його зоровому сприйнятті. Колір змінюється під впливом: навколишнього середовища (стан погоди, час доби, сезонний час), мінливих кольорів в інтер'єрі (освітлення, сусідство інших кольорів, місце розташування в просторі, від речовини носія кольору, від величини площини, що офарблюється, від місцезнаходження спостерігача, від зовнішнього природного середовища від часу доби тощо) [86].

Колір сам по собі впливає на емоційний стан людини, здатний викликати ті або інші почуття. Емоційний тон колірною відчуття – суб'єктивне, особисте відношення до того або іншого кольору або сполучення кольорів.

Емоційне сприйняття кольору визначається його безпосереднім фізіологічним впливом, тобто колір здатен збуджувати або пригнічувати (залежно від його характеру) людину, визначення сприйняття кольору може бути засновано на його асоціаціях, на що спирається соціально обумовлена символіка.

Загальна тенденція полягає в тому, що такий вплив закономірний і зростає в міру збільшення довжини хвилі випромінювання від мінімальної в синьо-фіолетовій частині спектра до максимальної в червоному кольорі.

Ступінь загального психологічного впливу кольору характеризується: кількістю кольору, що залежить від кольорового тону (довжина хвилі), насиченості, світлоти, площі кольорової поверхні, відстані огляду і розташування кольору (зверху, знизу, збоку) [105].

Встановлено, що кольори довгохвильової частини спектра збуджують і стимулюють, а короткохвильової – дещо заспокоюють чи пригнічують. Найбільш сприятливо впливають кольори середньої частини спектра. Група фіолетових і пурпурних кольорів – турбує і дратує людину.

Узагальнюючи дію психологічного впливу кольору на організм людини, видимі частини спектра поділяють на три частини: довгохвильову – 760...580 нм (червоний, жовтогарячий і оранжево-жовтий), середньохвильову – 580...510 нм (жовтий, зелений і частково блакитний), короткохвильову – 510...380 нм (блакитний, синій, фіолетовий).

Активні кольори збуджують, прискорюють процеси життєдіяльності, а червоні і жовтогарячі кольори часто поліпшують самопочуття.

Пасивні кольори (сині і фіолетові), впливають протилежно.

Просторові властивості кольорів залежать від колірних тонів, насиченості, світлоти і фактурності колірних поверхонь.

Теплі тони «виступають» по відношенню до холодних тільки тоді, коли вони світліше холодних або за рівності світлот. Теплий і дуже темний колір може здаватися відступним, а світлий – холодний і інтенсивний – наступний. Із двох теплих виступає більш теплий, світлий, насичений і фактурний, із двох інтенсивних – більш інтенсивний (табл. 12.2) [7, 105].

Серед ахроматичних виступають зазвичай більш помітні білий і чорний. Фактура теж значно впливає, якщо синій колір із сильно вираженою фактурою відступає, він може здаватися розташованим ближче, ніж виступаючий жовтогарячий колір із гладкою поверхнею.

Таблиця 12.2 – Психологічні функції кольорів

Кольори	Характеристика кольорів за асоціаціями								
	Теплі	Холодні	Легкі	Важкі	Відступні	Наступні	Збуджувальні	Пригнічувані	Заспокійливі
Спектральні (хроматичні)									
Червоний	+			+		+	+		
Помаранчевий	+					+	+		
Жовтий	+		+			+			
Жовто-зелений	+		+						+
Зелений		+			+				+
Зелено-блакитний		+	+		+				+
Блакитний		+	+		+				+
Синій		+		+	+				
Фіолетовий		+		+	+			+	
Пурпурний	+			+		+	+		
Ахроматичні									
Білий			+						
Світло-сірий			+						
Темно-сірий				+				+	
Чорний				+				+	

Перераховані особливості психофізіологічного впливу кольорів є найхарактернішими, однак із цього не випливає, що колір однаково впливає на людину, це залежить від середовища й обстановки, у якій знаходиться людина, від наявності й сполучення між кольорами і від психологічного стану людини та її настрою.

Питання психологічного впливу колористичних сполучень набагато складніше перерахованих загальних відомостей про сприйняття людиною окремих кольорів і тісно пов'язані з теорією колірних гармоній.

Розрізняють такі колірні сполучення: гармонійні (позитивні сполучення) і негармонійні (негативні сполучення).

Гармонічне колірне рішення припускає комбінацію різних кольорів по найпростішим естетичним закономірностям колірного кола. Абстрактні колірні сполучення можуть бути гармонійними, однак колірну групу необхідно вибирати для визначеного предмета та у визначених умовах, тому що тільки в цьому випадку колір, форма і середовище утворюють єдність. Емоційний вплив, гармонії кольору залежить від багатьох складних, зв'язаних між собою причин.

Кольорові контрасти

Контраст (від французького «*contraste*») – різко виражена протилежність. Контраст – зіставлення двох протилежних якостей, що сприяє їхньому посиленню. Контраст – міра індукції, тобто міра відмінності кольорів. Контрасти поділяються на два види: ахроматичні і хроматичні (колірні).

Темна пляма поряд зі світлою видається ще темнішою, і навпаки, світле від сусідства з темним як би світлішає (ахроматичний контраст) (рис. 12.6, а).

Якщо розташувати поряд два додаткових кольори, їхня колірна насиченість буде більш інтенсивна (хроматичний контраст) (рис. 12.6, б) [86].

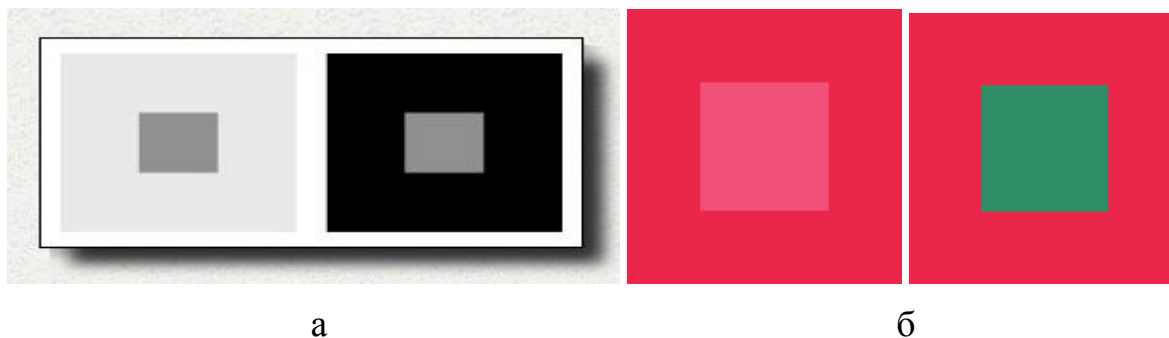


Рисунок 12.6 – Види контрастів за тоном: а – ахроматичний;
б – хроматичний контрасти [86]

У кольорознавстві важливе значення має кольоровий контраст та контраст за яскравістю.

Кольоровим контрастом називається зміна кольору, яка відбувається внаслідок його сусідства з іншими кольорами.

Контрастом за яскравістю називається зміна яскравості або світлоти кольору під дією сусідніх кольорів (рис. 12.7).

Яскравий контраст математично виражається не різницею яскравості, а відношенням їх різниці до більшої яскравості: за $r_1 > r_2$

$$K_r = \frac{(r_1 - r_2)}{r_1}, \quad (12.1)$$

де r_1 і r_2 – коефіцієнти яскравості двох предметів, що порівнюються;

K_r – яскравий контраст, який завжди менший одиниці.

Коефіцієнти яскравості найпростіше вимірювати за допомогою ахроматичної шкали, побудованої за принципом рівномірного спадання

яскравості еталонів від білого до чорного в діапазоні коефіцієнта яскравості від 0,87 до 0,04.



Рисунок 12.7 – Типи контрастів за яскравістю [57]

Під час вибору кольорів для фарбування будь-якого об'єкта або предмета яскравість контрасту можна визначати за графіком відомого радянського спеціаліста з кольорознавства Ф. Ф. Кизилова (рис. 12.8). На запропонованому графіку подано пучок променів контрастів яскравості від $K_r = 0$ до $K_r = 0,90$ [37].

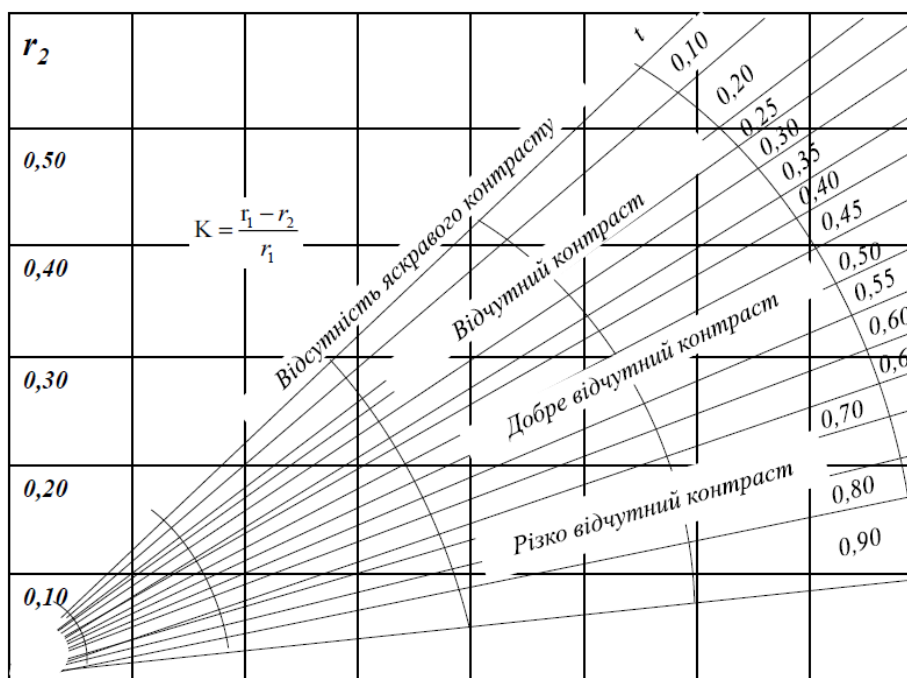


Рисунок 12.8 – Графік величини контрасту яскравостей двох сусідніх плям [57]

Згідно з розробленими нормами на графіку подано три основні значення порогів контрастів яскравостей: зона малої помітності ($K_r = 0$ і $K_r = 0,20$); зона нормальних контрастів ($K_r = 0,25$ і $K_r = 0,45$); зона підвищених контрастів ($K_r = 0,50$ і $K_r = 0,70$).

Співвідношення кольорів – основний фактор, що визначає характер і вплив композиції. Воно підпорядковано закономірностям колірних сполучень, серед яких одна з найголовніших – *кольоровий контраст*, що керує співвідношенням кольорів між собою за всіма основними параметрами і багатьма асоціаціями сприйняття (виступні – відступні, теплі – холодні тощо).

Розрізняють три ступені контрасту: великий, середній і малий (контрастні і нюансні співвідношення) (рис. 12.9) [105].

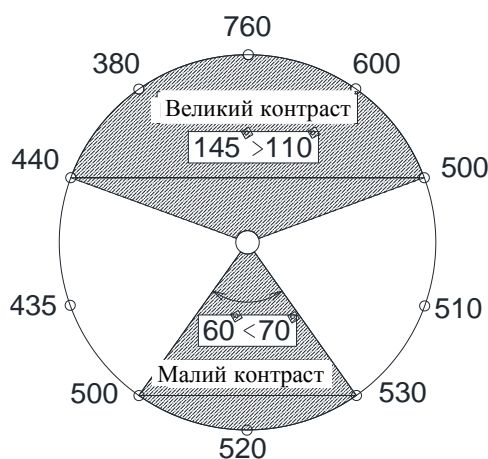


Рисунок 12.9 – Графічний спосіб визначення кольорових контрастів між поверхнями [57]

Великий кольоровий контраст – допускає великий контраст за кольоровим тоном за середнього і великого контрасту за світлотою (жовтий-синій); середній контраст за кольоровим тоном при великому контрасті за світлотою (жовтий і темно-зелений – більше 0,5).

Середній кольоровий контраст – зумовлює середній контраст за кольоровим тоном за середнього контрасту за світлотою (жовтий і зелений); малий контраст за колірним тоном за великого контрасту за світлотою (жовтий і темно-жовтогарячий – 0,5–0,2).

Малий кольоровий контраст припускає малий контраст за кольоровим тоном за середнього і малого контрастів за світлотою (жовтий і ясно-зелений); великий контраст за кольоровим тоном за малого контрасту за світлотою (жовтогарячий і блакитний – менше 0,2) [105].

Сприйняття розходжень за кольоровим тоном активніше, ніж сприйняття розходжень за світлотою.

Види контрастів та їхній діапазон:

- *за світлотою*: світлий – темний (ахроматичні, хроматичні, змішані);
- *за кольором*: основний колір – додатковий;
- *за насиченістю*: насичений хроматичний – ахроматичний;
- *за чистотою*: оптимальний темно-сірий;
- *за фактурою*: матовий – блискучий;
- *за асоціаціями*: виступні – відступні (просторові); теплий – світлий (температурні); легкі – важкі (вагові); пасивні – активні (за активністю впливу); заспокійливі – гнітючі (збуджені).

Німецький фахівець із кольору В. Оствальд вважав, що гармонійні колірні сполучення можна отримати простими комбінаціями додаткових кольорів за його колірним колом: червоний – зелений; червоний – жовто-зелений – блакитний; червоний – зелений – жовтий – синій; червоний – жовтий – зелений; червоний – жовтий; червоний – жовто-зелений (див. рис. 12.6, 12.7) [105].

Важливим показником гармонії є так званий панівний колір, що є головним у композиції. У контрастних гармоніях усі інші кольори протиставляються панівному, а в нюансних гармоніях вони, навпаки, наближаються до нього і підпорядковуються його основним рисам.

Узагальнюючи дані про гармонії кольорів та кольорові композиції, можна дійти таких висновків:

1. Кращі поєднання дають кольори в межах великих і малих інтервалів по кольоровому колу, гірші – у межах середніх інтервалів.
2. Малі інтервали сприймаються швидше як відтінки одного і того саме кольору, а не як поєднання кольорів.
3. При поєднанні кольорів необхідно брати однакові співвідношення світлостей.
4. Більш інтенсивні кольори при поєднаннях із менш інтенсивними необхідно підбирати у меншій кількості.
5. Хроматичні кольори можна поєднувати з ахроматичними, крім того, теплі кольори поєднувати з темними, а холодні зі світлими. Вибір колірної гами (тональності) колірного рішення оздоблення інтер'єру є підготовчою стадією роботи над інтер'єром, на якій архітектор аналізує функціональне завдання колірного рішення залежно від особливостей середовища та робочих процесів у приміщенні. Допомогою

проектувальнику під час вибору тональності оздоблення можуть бути дані таблиці 12.3 щодо психологічного впливу кольорів залежно від їхнього розташування в просторі інтер'єру.

Таблиця 12.3 – Психологічний вплив кольору на людину

Кольори	Розташування у просторі		
	Зверху	Збоку	Знизу
Теплий, світлий, мало насичений (блідо-жовтий, рожевий)	Збуджує	Здається ближче «зігріває»	«Піднімає площину»
Теплий затемнений і середньої насиченості (коричневий, маслиново-зелений)	Пригніченість, замкнутість простору	Наближення поверхні	Міцність, надійність, стійкість
Холодний світлий, або малонасичений (блакитний, бірюзовий, ліловий)	Візуально збільшує простір, робить вище приміщення	Відчуття прохолоди, розширює простір	Відчуття зволоженої поверхні
Холодний затемнений, або насичений (темно-синій, темно-зелений тощо)	Присмерковий, півморок	Холод, відчуття суму	Пригніченість

Для вирішення колористичних завдань у інтер'єрі необхідно знати особливості емоційного впливу кольорів на людину.

Емоційне сприйняття кольору визначено його безпосереднім фізіологічним впливом, збуджувальним або пригнічуваним його характером, асоціаціями, викликаними кольором. Загальна тенденція полягає в закономірності подібного впливу кольору на людину у разі зростання довжини хвилі випромінювання від мінімальної в синьо-фіолетовій частині спектра до максимальної – у червоному кольорі.

Характеристики спектральних та ахроматичних кольорів за асоціаціями для всіх основних поверхонь відображені у таблиці 12.3, але наведені дані є суб'єктивними та можуть змінюватися разом зі зміною чистоти кольору або умов освітленості.

Володіючи просторовими якостями кольорів, можна впливати на сприйняття об'ємно-просторових форм та створити колірну композицію, використовуючи основні якості кольорів (колірний тон, світлість, насиченість, фактуру), або деякі особливості сприйняття кольору.

12.2 Нормування і проєктування кольорового рішення

12.2.1 Основні принципи нормування кольорів

Результати будь-яких вимірювань мають бути однозначні і порівняні, що є однією із головних вимог метрології. Для її існування необхідно, щоб умови вимірювання, від яких залежать їхні результати, були постійними, прийнятими за норму. Сукупність нормованих умов вимірювання кольору становить кольориметричну систему. Нормують основні кольоровості, рівень яскравості, одиниці основних кількостей, розміри фотометричного поля – усі ці фактори визначають значення колірних координат вимірюваного кольору.

В основі будь-якої кольориметричної системи знаходяться тріади кольорів, оскільки від них значно залежать результати вимірювань.

Із рівнем яскравості об'єкта пов'язана контрастна чутливість ока, тому дві ділянки різних кольорів, розрізненні за одної яскравості, можуть виявитися невиразними за іншої, коли чутливість ока знижується. Отже, умови кольориметричних вимірювань доцільно унормувати так, щоб рівень яскравості поля був оптимальним щодо чутливості ока [105].

Систематизація кольорів

У поліхромних композиціях колір застосовується як комплексне, цілісне відчуття в сукупності всіх його характеристик. Часто їх важко чітко розмежувати, тому що, насправді, вони існують у незлічених сполученнях один із одним [86].

Однак власне колірний тон, навіть поза взаємодією з іншими характеристиками, містить у собі композиційні можливості. Іноді тільки зміною відтінків тону можна інтенсивно впливати на його емоційну виразність.

Тон, світлота і насиченість є параметрами, які точно визначають кожний колір. Ґрунтуючись на них, можна побудувати кольорове тіло, яке графічно зображується у вигляді кольорового атласу.

Композицію можна побудувати тільки на визначеному наборі колірних тонів і сполучень, ігноруючи інші характеристики, властиві кожному кольору як невід'ємні властивості. Цю композиційну можливість ілюструє *чистий ряд за колірним тоном*, що складається з будь-якої кількості кольорів, розташованих чітко в порядку спектра сонячного світла за їхньої незмінної яскравості (світлоти) і насиченості. Чистий ряд дає

можливість будувати композицію, що виходить з будь-якої ділянки цього ряду [105].

Людське око розрізняє кілька десятків тисяч хроматичних кольорів (за Елісом, наприклад 13 тис.). Природною шкалою колірних тонів слугує спектр сонячного світла, у якому розрізняють близько 130 кольорів. Проте у практиці використовують атлас кольорів – еталонний прилад із систематизованими характеристиками кожного зразка кольору [86].

Історія розвитку моделей представлення кольору розпочинається з XVI сторіччя. Вона свідчить про те, як глибоко розвивалися уявлення і теорії, пов'язані з феноменом кольору. При всіх досягненнях цієї епохи в її ставленні до світу кольору в природі та матеріально-художній культурі воно залишається до початку XVII ст. ненауковим. Більшість цих моделей прив'язувало кольорову гамму до основних геометричних фігур. Кола, які пізніше стали сферами, були найбільш популярними. Часто також зустрічаються трикутники, які потім перетворилися на конуси і піраміди. Проте з часом для відображення видимих типів кольору в теорії стали все частіше використовувати квадратні й кубічні моделі (рис. 12.10) [86].

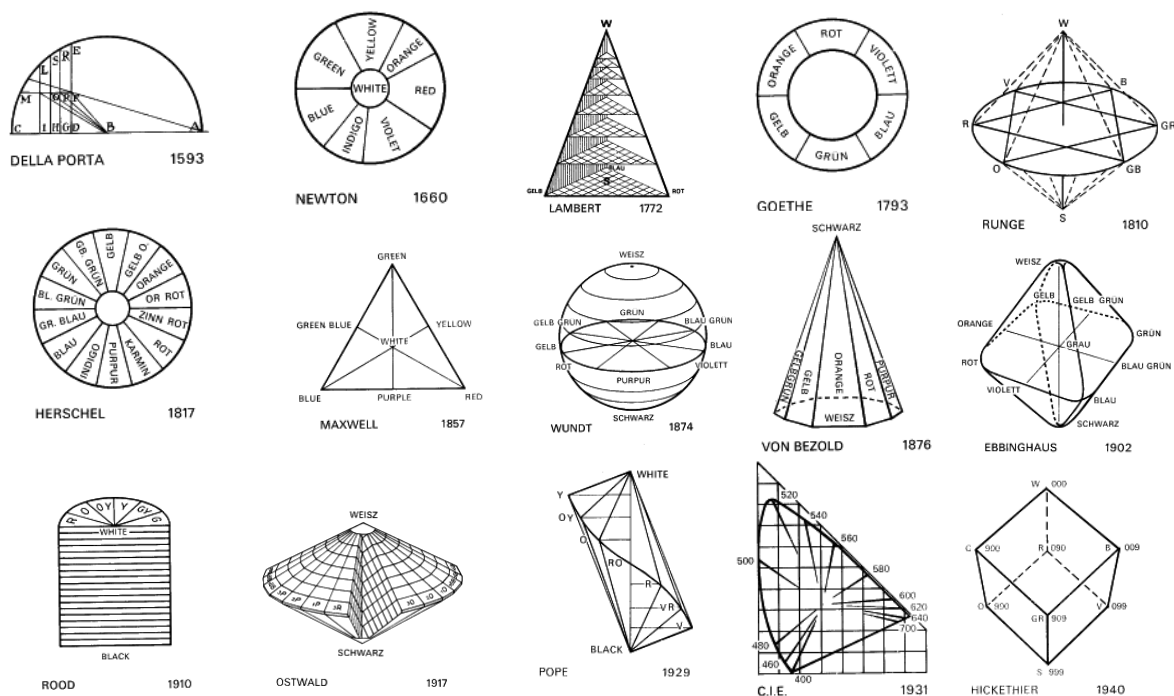


Рисунок 12.10 – Моделі представлення кольору за Ф. Герітсеном (F. Gerritsen) [57]

Науковий період історії в кольорознавстві починається з того часу, як Ісак Ньютон у 1665 р. справив свої досліди з розкладанням скляною призмою пучка сонячного кольору. Він довів, що поява веселки спектра на

екрані під час проходження світла через призму пояснюється не якимось впливом скла на білий світ (як вважалося раніше), а тим, що білий світ є складною механічною сумішшю різноманітних кольорових променів, що заломлюється в склі різною мірою [14].

Ньютон виміряв, зокрема, довжину хвилі кольору, що лежить на кордоні зеленого і синього частин спектра, визначивши, що вона відповідає $\lambda = 492$ нм. А довжину хвилі червоного кольору він визначив рівною приблизно 700 нм, фіолетового – 400 нм.

Завдяки дослідям І. Ньютона суб'єктивна область колірних явищ, що протягом тисячоліть вислизала від наукового пояснення, нарешті виявила свою кількісну сутність і стала відтоді цілком доступною точному науковому аналізу.

Після Ньютона багато дослідників природи кольору і особливостей сприйняття кольорів людським зором (на основі психології та психофізіології зору) розвинули, доповнили, уточнили і систематизували наукову базу кольорознавства. Це І. В. Гете, Я. Е. Пуркіне, І. П. Мюллер, Г. Л. Гельмгольц, Т. Юнг і багато ін. Наприкінці ХІХ ст. німецький вчений Герман Гельмгольц (1821–1894 рр.) зібрав і підсумував всі знання про колір як фізичне й оптичне явище, чітко систематизував, виправив вікові (і тисячолітні) помилки в питаннях кольорознавства, заповнив прогалини, прояснив непорозуміння і зробив фізіологічну оптику наукою в сучасному розумінні цього слова [102].

Протягом тривалого періоду вченими розроблені різні за формою кольорові тіла: Гофлера, Бецоляда, Ламберга (1772 р.), Попа, Лютера, Оствальда, Менселла (1915 р.), Рабкіна (1950 р.). Були запропоновані й різні кольорові круги: Ньютона (1680 р.), Гете (1810 р.), Фільда (1850 р.), Рескіна, Попа, Оствальда (1890 р.), Менселла (1915 р.), Рабкіна (1950 р.) [86].

Серед інших моделей, на які варто звернути увагу – сфери Мюнселля (Munsell Spheres) і діаграми СІЕ, які кожна по-своєму є тими стандартами, за якими зараз вимірюються кольори. У сучасному світі, коли постійно розширюється асортимент барвних засобів, особливо необхідна єдина система, що дисциплінує важко керований кольоровий достаток. Ця система повинна гранично точно відповідати як технічним, так і естетичним вимогам.

Із кожним новим успіхом у теорії кольору з'являється нова модель, за допомогою якої викладається ця нова теорія. На жаль, прихильники старих колірних моделей рідко коли звертають увагу на нові моделі. Наприклад, популярне зараз колірне коло мало чим відрізняється за

зовнішнім виглядом і роботою від поданого Ісаком Ньютоном. Художники, спираючись на це коло, як і раніше неправильно вважають основними кольорами червоний, жовтий і синій всупереч тому факту, що такі технології, як офсетний друк і фотографія, яким вже більше ста років, базуються на тривимірній системі кольору, де основними кольорами є ціан, фуксин і жовтий.

Колірне коло – це особливий вид ритму, найважливіший з усіх можливих рядів. Це – ряд за колірним тоном, замкнутий у вигляді кола, який складається з будь-якої кількості відтінків різних кольорів пігментів, розташованих строго послідовно в порядку спектра. Таке коло (ряд) виявляє суворий природний порядок кольорів із послідовними дуже м'якими (залежно від їхньої кількості) переходами одного кольору в інший. Він визнається всіма дослідниками як першооснова і навіть символ гармонії (рис. 12.11). Кольори пігментів, що утворюють ряд (назвемо їх оптимальними), найбільш близькі до спектральних, але ніколи не досягають чистоти останніх, прийнятих за одиницю [105].

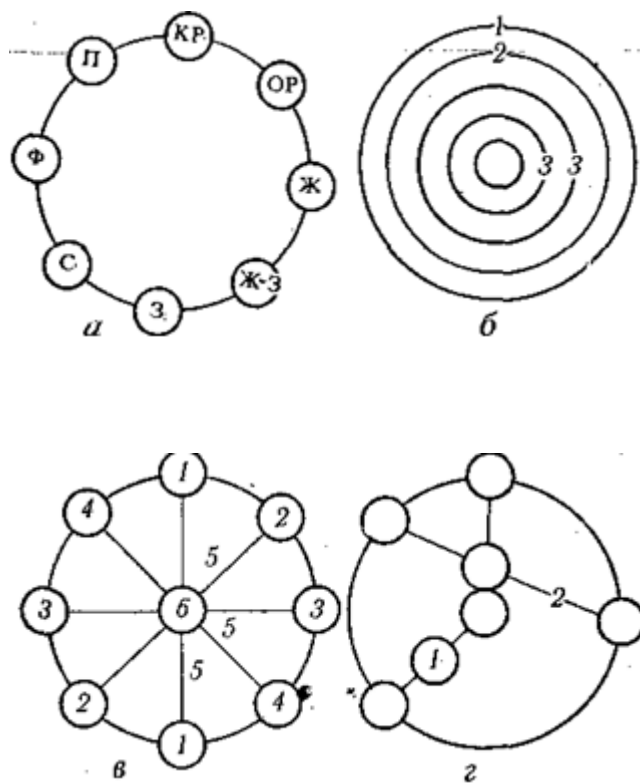
Системи (RGB, CMYK, HSL): у різних випадках залежно від того, як відтворюється колір, використовуються різними кольоровими системами. Якщо використовується джерело світла – панівною системою є RGB (від «red / green / blue» – «червоний / зелений / синій») [105].

Для кольорів, які виходять шляхом змішування фарб, пігментів або чорнила на тканині, папері, полотні або іншому матеріалі, як кольорова модель використовуються система CMY (від «cyan / magenta / yellow» – «ціан / фуксин / жовтий»). У зв'язку з тим, що чисті пігменти дуже дорогі, для отримання чорного (букві К відповідає Black) кольору використовується не рівна суміш CMY, а просто чорна фарба.

Іншою популярною колірною системою є HSL (від «hue / saturation / lightness» – «колір / насиченість / яскравість»). У цієї системи є кілька варіантів, де замість насиченості використовується хроматична (chroma), світність (luminance) разом з яскравістю (value) (HSV / HLV). Саме ця система відповідає тому, як людське око бачить колір.

Найбільш розповсюдженні атлас кольорів Менселла (США), атлас Оствальда (Німеччина) і кольоровий атлас (CPCP), складений під керівництвом професора Б. Е. Рабкіна (1956 р.). Оскільки колір визначається трьома незалежними змінними, для наглядного сприйняття всіх кольорів краще всього користуватися тривимірним простором. Центральною віссю просторової схеми розміщення кольорів є ахроматична шкала від чорного кольору внизу до білого вверху (рис. 12.12). По великому колу розміщені всі спектральні кольори найбільшої насиченості.

По мірі наближення до центральної вісі насиченість кольору спадає. По вертикалі змінюється яскравість цих кольорів [108].



а. Схема кольорів кола

Ряд по колірному тону – червоний, помаранчевий, жовтий, жовто-зелений, зелений, синій, фіолетовий, пурпуровий.

б. Характерні лінії в колі:

1. Лінія спектральних кольорів.

2. Лінія оптимальних кольорів пігментів.

3. Лінії, що характеризують чистоту і насиченість кольорів у площині кола

в. Додаткові кольори:

1–1 Червоний – зелений

2–2 Помаранчевий – синій

3–3 Жовтий – фіолетовий

4–4 Пурпуровий – жовто-зелений

5. Лінії змішання додаткових кольорів – двотональний ряд із гармонічними переходом між цими кольорами скрізь ахроматичну точку у центрі

6. Темно-сірий колір – результат змішання двох додаткових кольорів.

г. Лінії змішання не додаткових кольорів:

1. Лінії змішання оптимальних кольорів з ахроматичним – ряд за чистотою і насиченістю.

2. Лінія змішування не додаткових оптимальних кольорів – тритональний ряд з гармонійним переходом між тонами

Рисунок 12.11 – Колірне коло – особливий вид ритму, ряд за колірними тонами [57]

Кількість основних кольорів по великому колу, кількість еталонів в ахроматичній шкалі по центральній вісі та кількість ступенів по радіусу круга можуть бути різними.

Усі кольори, що зустрічаються в природі та людській діяльності, та їхню насиченість зручно встановлювати за графіком Міжнародної кольориметричної системи МКО, де в координатах (x та y) дається кольоровий тон, довжина хвилі і чистота кольору, яка характеризує насиченість. Кольориметрична система МКО була прийнята на

Міжнародному конгресі з освітлення, який відбувся в 1931 році в Кембриджі [105].

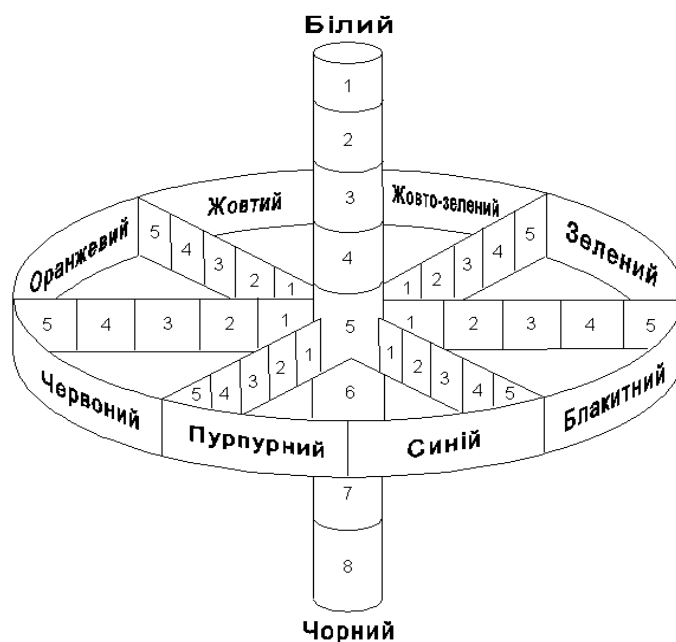


Рисунок 12.12 – Схеми побудови кольорового тіла [57]

На відміну від загальновідомого кольорового кола, на цьому графіку розміщені не лише насичені, а також ненасичені спектральні кольори. Графік розширює можливості вибору найрізноманітніших гармонійних кольорових поєднань.

Відомо кілька колірних систем: міжнародна кольориметрична система (МКО – міжнародна комісія з освітлення), система Рабкіна (СРСР), Рунге, Освальда, Бауманна – Празе, TGL (Німеччина), Манселла (США), Практична колірна координатна система (Японія) та інші [14].

Основний елемент кожної з них – атлас кольорів, найважливіший інструмент, що вносить порядок у виготовлення пігментів і барвних складів.

Зразок, поданий в атласі, оснащений необхідними характеристиками: довжина хвилі, відповідно до сонячного спектра, яскравість (світлота), чистота кольору, найменування пігменту, найменування кольору та інші показники. У результаті домагаються точної рецептури готування барвистих складів і високої якості.

З атласу легко вибрати колірні сполучення, ряди гармонії кольору і тим самим вирішувати питання архітектурної поліхромії як в інтер'єрі, так і в екстер'єрі. Деякі атласи кольорів відтворюють до 2 000 відтінків,

отриманих різним змішанням основних найбільш чистих поліхроматичних пігментів між собою, а також із чорним і білим [102].

Основа системи змішання – *колірне коло*, містить різну кількість оптимальних, найбільш чистих кольорів пігменту, складовий діапазон основних колірних тонів.

Атлас Манселла має колірне коло з 100 кольорових тонів (10 основних із 10 відтінками кожний), а всього з 379 відтінків.

Атлас Освальда – колірне коло складається з 100 кольорових тонів, а всього з 680 відтінків.

Колірна система TGL – колірне коло розділене на 24 ступені добре помітних кольорових тонів.

Колориметричний атлас СРСР «вказівки з проектування колірної обробки інтер'єрів виробничих будинків промислових підприємств» складає 23 пігменти з 5-6 зразками кожного пігменту (разом 127 зразків).

Під час виконання реставраційних робіт неможливо створити справжній вигляд того або іншого елемента міського середовища або інтер'єру будинку за допомогою сучасних стандартизованих пігментів.

12.2.2 Основні принципи кольорової організації міста

Для сучасного міста надзвичайно важливий пошук шляхів упорядкування колірних характеристик візуально сприйманого простору. Метою колірного проектування є розроблення способів колористичної гармонізації колірного середовища, у якій людина має відчувати себе комфортно в естетичному і в психоемоційному аспектах. Предметом проектування є саме середовище, а об'єктом є все навколишнє середовище: від малих форм (транспорту, елементів дизайну, квіткового і святкового оформлення, реклами, мощення дорожніх покриттів) до макроелементів міста (будівель, вулиць, кварталів, мікрорайонів і округів) [97].

За законами фізики всі матеріальні об'єкти мають свій колір. Із відносною мірою умовності в міському просторі можна виділити три групи носіїв кольору: найбільш постійні, умовно мінливі і швидкоплинні.

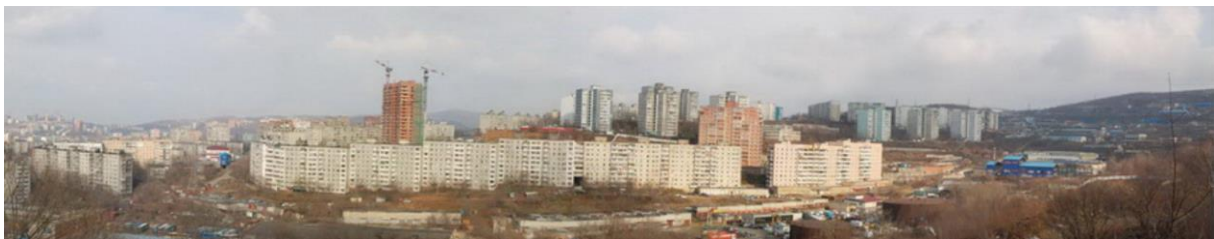
До перших належать основні носії кольору в місті фасади будівель, оброблена у певний спосіб підстелена поверхня і деякі елементи природного світу. Вивчення цих носіїв кольору особливо важливо, тому що саме вони повинні формувати колірний баланс у місті, характеризувати його своєрідність, нести колірну культуру минулого і сьогодення.

До других належить велика кількість елементів урбаністичного дизайну, малих архітектурних форм, транспорт, реклама, оформлення перших поверхів будівель.

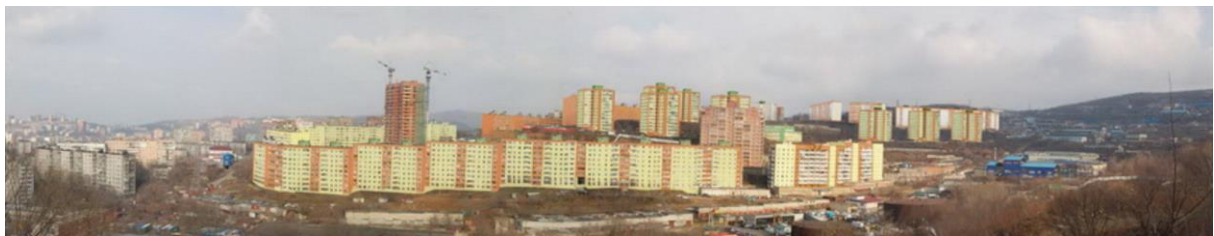
Третя група носіїв кольору швидко змінюється і пов'язана з природною необхідністю швидкої заміни. Це квіткове оформлення, святкове оздоблення, газони і низька зелень, контейнерна зелень, тобто об'єкти, що змінюють свій колір залежно від зміни пори року.

Вивчення взаємодії всіх груп носіїв кольору та їхньої кількості в просторі міста є вкрай важливим, тому що саме колірне поле щодня впливає на психоемоційний стан городян [97].

У зв'язку з цим на перший план виходить широке коло питань формування колірної гармонії міського середовища. У кожному місті існує певна кількість носіїв кольору, що становить кольоровий простір. Однак кольорограма може мати різну насиченість для кожного конкретного міста і періоду його розвитку. Від кількісних і якісних характеристик носіїв кольору, їхньої взаємодії залежить художньо-естетичне сприйняття середовища, у якому перебуває людина. Отже, кожен носій кольору в місті має бути спеціально досліджений і мати базову колірну палітру. Грамотне поєднання цих палітр дозволить професіоналам підійти до реального проектування середовища, використовуючи колірні властивості об'єктів з метою гармонізації урбаністичних просторів (рис. 12.13) [108].



а



б

Рисунок 12.13 – Схема колористики міста: а – наявний стан;
б – колористичне рішення [108]

Колір у містобудівних просторах має змінюватися. По-перше, відповідно до різних характеристик цих просторів і, по-друге,

дотримуючись закономірностей колірних переходів. Основою для визначення колірних переходів є колірне коло. Існують два колірних кола: європейська палітра, яка складається із 8 кольорів та центральноазіатська палітра, яку складає 15 кольорів. Фрагмент колірного кола між двома кольорами є вихідним для побудови колірного ряду, існує ще колірна «підкова» (І. Гете), у якій кольори показані перехідними від світла до мороку за насиченістю. У цій «підкові» також представлена палітра з 15 кольорів. З обраного фрагмента колірного кола або «підкови» варто побудувати колірний ряд із кольоровими переходами, що кількісно відповідають, наприклад, кількості будинків на проєктованій вулиці: у кожного будинку буде свій колірний тон, насиченість і світлість [108].

Фактори, що впливають на кольорове рішення міста

Регіональний клімат, будівельні матеріали, місцеві традиції, історико-культурні й соціальні умови.

На основі аналізу *природно-кліматичних, культурно-історичних* особливостей використання кольору в архітектурі, його ролі в компенсації відсутніх фарб природи встановлюється палітра кольорів (як характеристику кольору поверхні варто приймати: колірний тон λ , насиченість P і ясність (світлоту) ρ) [108].

Психофізичні закономірності – закономірності дозволяють визначити оптимальні параметри кольору для різних видів діяльності людини:

- індивідуальні особливості сприйняття;
- колірна преференція (перевага);
- тривалість іконічної (зображуваної), короткочасної і довгострокової (що формується постійно) пам'яті на колір;
- контрастність кольору.

Установлені оптимальні зони кольорів для міського середовища з насиченістю 0–60 %, яскравістю (світлотою) 20–30 % і області сигнально-попереджувальних кольорів, що не суперечать один одному [79].

Важний естетичний фактор у колористиці міського середовища, є саме те, що варто ширше використовувати, можливість інтегрувати обсяг і простір за допомогою кольорової графіки або навпроти розчленовувати їх, ці заходи зв'язані з проблемою гармонізації. При гармонізації засобів поліхромії в масштабі міста потрібен облік в умовах динамічного сприйняття [108].

Моделювання кольору в архітектурі та містобудуванні

Проектування кольору в архітектурному середовищі необхідно розглядати в межах складного динамічного комплексу взаємозв'язку:

– *Підсистема «середовище»* – феномен природи, міста – має тимчасові зв'язки;

– *Підсистема «людини»* – включає властивості індивіда, соціальної групи, суспільства.

Варто враховувати основні типи динамічних зв'язків:

– *Довгострокова* – історичні епохи і розвиток відчуття кольору в процесі еволюції;

– *Періодична* – зміна природних ритмів і занять людини;

– *Контактна* – щоденна динаміка середовища, переміщення людини, добові біоритми.

Сполучення прямих і перехресних зав'язків дає можливість найбільш повно представити поліхромну модель міста. Сприйняття кольоровості простору збагачує технічні засоби пересування людини.

Під час моделювання архітектурного середовища істотно виявлення основних типів кольорових просторів: точкового, просторового, глибинного, концентричного і складного, а також специфіки відчуття кольору в динамічному середовищі та під час руху людини [108].

Для містобудівних умов із цього погляду виникають розходження: зростає масштаб, укрупнюється модуль, збільшується композиційне охоплення середовища, зменшуються елементи композиції при сприйнятті панорам, груп будинків на відстані, стає помітною містобудівна концепція кольору.

Принципи кольорової організації міста

Зонування засобів поліхромії; історико-культурної обумовленості кольорових структур; органічного зв'язку з природним оточенням; виявлення естетико-композиційної ідеї міста.

Поліхромне зонування здійснюється з огляду на значущість суспільних, культурних, ділових та інших центрів, охороною зони міста на тлі більш спокійної поліхромії рядової забудови, залежно від приналежності до житлової, виробничої, рекреаційної суспільної території.

Відмінність у колірному відношенні: функціональність, об'ємна просторовість, пластичність забудови.

Історична зона міста – ув'язування кольорового рішення в цілісний ансамбль. Виявлення історично сформованих уявлень про колорит (стилі, етногенезисний фактор, кольорову преференцію, традиції); акцентування

домінант абрису забудови міста, позначення акцентами суспільно значущих центрів або магістралей [108].

Методика побудови колористичного ансамблю міста

Головна мета побудови колористичного ансамблю міста – формування образу міста шляхом керування колоритом:

1. Генплан – виявлення колориту, установлення взаємозв'язків, композиційна структура система основних ансамблів, формування кольорових районів міста.

2. Проект детального планування – загальна композиційна ідея колориту, колірна структура кольорових ансамблів і магістралей, макетування та аналіз відчуття кольору.

3. Проект забудови – архітектурно-планувальний прийом, основні акценти і тло, кольорове рішення головних площ і планувальних вузлів, пішохідні маршрути, внутрішні простори житлової зони, декоративна пластика міста.

4. Технічний проект – використання оздоблювальних матеріалів (робота з фактурою), взаємозв'язок кольору і пластики форми, структура кольорового рішення, взаємозв'язок кольору і штучного освітлення, колір дорожнього покриття та покрівель, колір форм живої природи, транспортно-технічні засоби і малі форми [7].

Колористика елементів міста

Структура поліхромних просторів має бути строгою, з полярним сполученням кольорів. Поліхромія сельбищної території: виявлення основних елементів певної зони міста можуть ранжуватися спектром навколо визначеної кольоровості по колірному колу по кожному об'єкту, утворити помірний розклад кольорів – широкі можливості за різноманітністю середовища й упорядкування пошуку [108].

Колірна композиція кварталів: розвиток кольору всередині і поза житловою групою, виділення дитячих садків, шкіл за допомогою яскравих кольорів; виявлення торгово-культурної зони кварталу тощо та об'єктів первинного обслуговування населення; укрупнене моделювання протяжних будинків і виділення точкових доміант; розтяжка тону по вертикалі, декоративна пластика.

Промислові території: з урахуванням сприятливого впливу видимого спектра кольору на організм людини залежно від їхньої діяльності в певній структурі міста.

Рекреаційні зони: будується за принципом доповнення до основних зон міста, кольорографічні варіації, декоративна пластика, форми природи, де потрібно виділяти дворові мікрозони: ігрові майданчики, видові майданчики, пішохідні і транспортні зони, сигнально-попереджувальні (дорожні знаки) засоби, малі форми тощо.

Кольорове моделювання магістралей: облік їхньої значущості, ширини, швидкості руху транспортних коштів, характеру забудови (вуличний фасад). Усі заходи спрямовані на усунення почуття монотонності.

Одиниці пішохідного ритму вживають під час вивчення пішохідних просторів, обліку сприйняття нижніх і середніх ярусів міської забудови (дрібнорозмірні, деталізовані, непротяжні ділянки, що вимагають динамічних змін кольору), вимір – 3–4 секунди.

Одиниці транспортного ритму вживають під час вивчення враження від великих просторів міської забудови, сприйняття їхнього узагальнення, протяжності й вимагає чіткої зміни планів, диференціації акцентів на загальному тлі, вимір – 60 секунд [108].

Особливу роль у кольоровій композиції міста відіграють панорами, під час формування колориту яких варто враховувати силует забудови, ритміку домінант, послідовність розкриття планів, чергування кольорів і загальний колорит середовища, детальність образу і закономірності зміни кольору. Зміна кольору на відстані:

– сині, фіолетові, пурпурні – сутеніють на відстані, а сині втрачають насиченість;

– жовтогарячі і добре освітлені жовті – червоніють; зелені – блакитніють.

Зміна кольору залежить від освітленості, стану атмосфери, колір приблизно з 5 км перестає розрізнятися, велике значення має силует забудови [108].

Використання кольору в різних світлокліматичних умовах

Науково доведена необхідність безперервного припливу інформації до людини, зокрема і колірної, інакше виникає колірне голодування. *Безбарвність і колірна монотонність* викликає відчуття байдужості й млявості. Зважаючи на це, на дітей ахроматичні тони діють пригнічено, для них важлива новизна кольору, зміна колірних вражень. Водночас мозок людини у деяких випадках відпочиває від додаткової колірної інформації. *Неорганізована багатоколірність* створює відчуття безладдя і стомлення. Дорослі люди постійно відчувають потребу в нормальному

колірному навантаженні. *Чисті – сильно насичені колірні тони* – активно впливають на різні сторони психіки [86].

Ставлення до кольору цілком і повністю визначається культурно-історичними традиціями і звичаями. Не заперечуючи ролі предметних зав'язків кольору в становленні його значень, варто визнати, що провідним фактором у формуванні колірних значень є об'єктивний характер колірного впливу на людину, як про це свідчать дані психофізіологічних і психологічних досліджень. Щодо створення комфортного та гармонійного середовища під час проєктування містобудівних просторів виникає необхідність урахувати дані про психологічний вплив кольорів на людину.

На півночі, де мало сонячних променів і протягом тривалого часу небо похмує, переважає яскрава червоно-біла колористика (червоний колір протягом дня сприймається без зміни колірного тону). На півдні ж за дуже високої освітленості насиченість кольору згодом зменшується, тони робляться білявими. Отже, в умовах інтенсивної інсоляції найчастіше створюється значний контраст не тільки по світлості, але й за колірним тоном (білого з чорним, білого із синім, блакитного або жовтого з чорним, блакитного або жовтого з зеленим, блакитного або жовтого із синім, білого з зеленим) [108].

Колір важливий не тільки і не стільки у вигляді окремих творів монументально-декоративного мистецтва, а насамперед, як система архітектурної поліхромії. Лише в цьому випадку реалізується художньо-естетична функція колористики міста [86].

Контрольні запитання

1. Дати визначення поняттю «колір».
2. Які основні характеристики хроматичних кольорів?
3. Яка основна характеристика ахроматичних кольорів?
4. Дати визначення понять важкі і легкі кольори; виступні і відступні кольори.
5. Що таке колірний контраст?
6. Які загальні положення контрасту за яскравістю і колірного контрасту?
7. Дати визначення гармонійних колірних рішень.
8. Які основні принципи нормування кольорів?
9. За якими ознаками створюється систематизація кольорів?
10. У чому полягають основні принципи колірної організації міста?

РОЗДІЛ 13 ШТУЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ

13.1 Штучне освітлення міських просторів і будинків. Кількісні і якісні характеристики

13.1.1 Кількісні і якісні характеристики штучного освітлення

Світло значно впливає на навколишнє середовище (екстер'єрний та інтер'єрний простір) та психологічний стан людини. Будинок, наповнений світлом, не лише яскравіший, але й красивіший та гармонічніший. У сучасному інтер'єрі архітектурна роль освітлення значно зросла, саме тому у багатьох випадках сприйняття архітектури інтер'єру визначається світлом. Штучне освітлення виконує утилітарну та естетичну функції (рис. 13.1) [101].



Рисунок 13.1 – Приклади застосування вишуканих освітлюваних приладів:
а – Дзеркальна галерея, м. Версаль, Франція; б – Люстри у Київському національному академічному театрі; в – застосування вуличного освітлення на вулицях Відня, Австрія (www.lookphotos.com/en/, <https://opera.com.ua>)

Утилітарна функція визначається гігієнічними нормами, що забезпечують нормальну зорову працездатність людини. Естетична

функція визначається архітектурно-художніми вимогами. Штучне освітлення виявляє і підкреслює внутрішній простір і тектонічну систему, масштабність інтер'єру, забезпечує єдність стилістичного вирішення за допомогою форм світильників і їхнього світлорозподілу. Рівень освітленості приміщення визначає його комфортність, що залежить від обраного прийому освітлення.

Електричні лампи П. Н. Яблочкова й О. Н. Лодигіна дали поштовх до застосування штучного освітлення по всьому світу. Саме такі цікаві з погляду додання виразності інтер'єрам освітлювальні прилади застосовувались в епоху російської класичної архітектури. Великі люстри з венеціанського скла, гранованого кришталю, у яких були сконцентровані численні неяскраві вогники свіч, збагачували інтер'єр і, відбиваючись у дзеркалах, створювали живу гру вогнів, відображень, переломлень світлових потоків. Велику увагу архітектори приділяли формі і художній обробці люстр. Додавали виразність деталям люстри. Люстри у сполученні з дзеркалами добре освітлювали верхню і нижню частину залу, ілюзорно збільшуючи простір. Зразки таких люстр можна побачити в палацових комплексах в усьому світі [57].

На зміну свічам прийшли газові лампи: пальник, судина для газу та абажур. Поряд із газовими лампами винайдені газові пальники з калільною сіткою, що застосовувалися для освітлення вулиць і площ міст.

Лампи накалювання вперше продемонстрував О. Лодигін на всесвітній виставці в Парижі у 1873 р. – премія Ломоносова.

Сучасні принципи пристроїв штучного освітлення залежать від об'ємно-просторового вирішення приміщення і його функцій. Функції приміщення впливають на вибір прийому освітлення, що визначає види джерел світла і світильників, їхній світлорозподіл і місце розташування, декоративність і систему освітлення (рис. 13.2) [37].

Штучне освітлення характеризується кількісними та якісними показниками та поняттями системи світлотехнічних одиниць і величин.

Основними поняттями цієї системи є світловий потік, сила світла, освітленість та яскравість (див. п. 9.1.1. Основні поняття та закони розповсюдження світлової енергії с. 156–160).

Світловий потік (Φ) – потужність світлового випромінювання – частина променистого потоку, яка сприймається людиною як світло. Одиниця світлового потоку – люмен (лм) – дорівнює потоку, який створюється в одиничному тілесному куті Ω , що дорівнює 1 стерadianу, точковим джерелом світла в 1 канделу [37, 57].



Рисунок 13.2 – Системи штучного освітлення [57]

Джерела світла випромінюють світловий потік у різних напрямках неоднаково. Отже, щоб подати характеристику інтенсивності випромінювання, застосовуємо поняття «просторова або кутова густина світлового потоку», яку називають *силою світла* (I), тобто світловий потік, віднесений до тілесного кута, у якому він випромінюється [5, 20, 39].

Освітленість (E) – поверхнева густина світлового потоку, одиницею виміру якої є люкс (лк) [37, 57].

Яскравість (L) – поверхнева густина світлового потоку, віднесена до одиниці площі проєкції поверхні, яка світиться на площину, перпендикулярну заданому напрямку. За величину яскравості прийнято ніт – це яскравість квадратного метра плоскої поверхні, яка відбиває у перпендикулярному напрямку силу світла в 1 канделу ($\text{кд}/\text{м}^2$) [37, 57].

Узагалі, яскравість поверхні залежить не тільки від падаючого світлового потоку та коефіцієнта відбиття, а й від кута, під яким розглядається ця поверхня.

До якісних показників штучного освітлення належать фон, контраст об'єкта з фоном, видимість, показник засліпленості.

Фон – це поверхня, на якій відбувається розрізнення об'єкта. Фон характеризується здатністю поверхні відображати падаючий на неї світловий потік.

Контраст об'єкта з фоном – ступінь розрізнення об'єкта і фону – характеризується співвідношенням яскравостей розглянутого об'єкта

(точки, лінії, знаки, плями, тріщини, ризики або інших елементів) і фону [37].

Коефіцієнт пульсації освітленості – це критерій глибини коливань освітленості в результаті зміни в часі світлового потоку. Показник засліпленості – критерій оцінки сліпучої дії, створюваного освітлювальною установкою [108].

Спектральний склад світла. Поява спектра пояснюється тим, що пучок білого світла становить сукупність світлових пучків різних кольорів, а світлові пучки різних кольорів поширюються в одному і тому саме середовищі з різною швидкістю.

Аварійне освітлення для евакуації людей необхідно влаштовувати: у місцях, небезпечних для переходу людей, а також в основних проходах і на сходах громадських будівель, де перебуває більше 50 осіб, і в сходових клітках житлових будинків висотою шість і більше поверхів, де можуть одночасно знаходитися 100 осіб. Аварійне освітлення для евакуації повинне забезпечувати найменшу освітленість підлоги основних проходів і сходів.

Забезпечують освітлення приміщень та містобудівних просторів світлотехнічні пристрої (рис. 13.3). Освітлювальні установки – сукупність світлотехнічних пристроїв, призначених для освітлення. Вказане поняття належить переважно до установок штучного електричного освітлення і в цьому випадку охоплює освітлювальні прилади з джерелами світла, пускорегулювальну апаратуру, провідники, розподільні щити та інші електричні пристрої, призначені для розподілу електричної енергії між освітлювальними приладами. Крім того, до складу освітлювальної установки зазвичай включають всі спеціальні пристосування для підвищення якості освітлення (наприклад, штучний фон), а також поверхні, що беруть участь у просторовому перерозподілі світлового потоку, зокрема, стіни і стелі приміщень [57].

Головними світлотехнічними характеристиками світильників загального освітлення є: крива розподілу сили світла; коефіцієнт корисної дії (ККД), захисний кут.

Світлорозподіл світильників характеризується кривими сили світла. Напрямок сили світла в просторі визначається кутом у вертикальній площині, утвореним радіусом – вектором сили світла з віссю світильника.

ККД розподілу світильника визначається відношенням світлового потоку світильника до світлового потоку джерела світла.

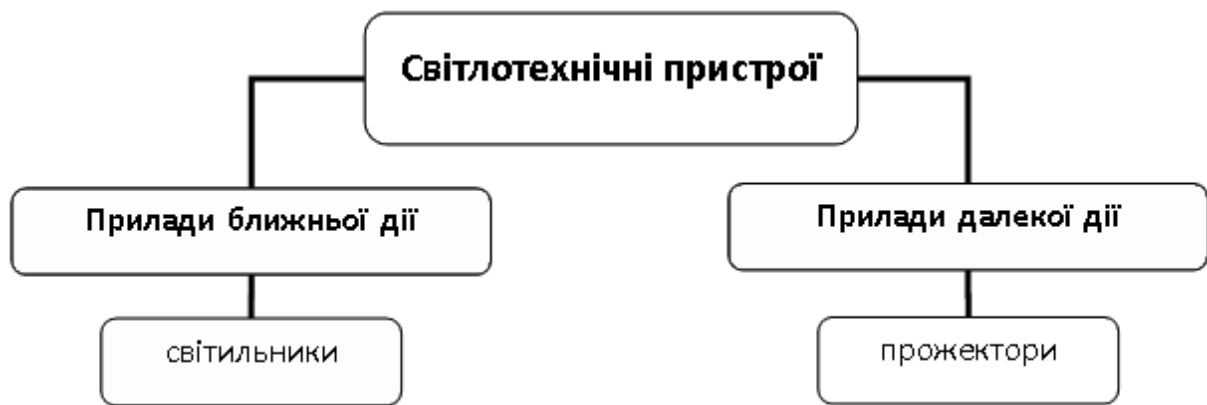


Рисунок 13.3 – Типи світлотехнічних пристроїв [57]

Світильники зі свого боку бувають: *мобільні світильники* – світні карнизи; плафони, що кріпляться до стелі; бра, що кріпляться на кронштейнах до стіни; люстри – встановлені на підлозі; переносні настільні лампи. *Світильники стаціонарні* кріпляться до стелі; торшери вбудовані, конструкції їх невіддільні від загального архітектурного рішення.

Тип світильників визначається характером виробничого приміщення. Світильники в системі загального освітлення розташовують в один ряд, у кілька рівнобіжних рядів, у шаховому порядку та інші композиційні види розміщення.

Варто також регламентувати відстань від крайнього ряду світильників до стіни. Коли робочі поверхні розташовуються уздовж стін, то ця відстань дорівнює 0,25–3 м; за відсутності робочих поверхонь біля стін – 0,4–5 м.

Прожектори розміщують групою по 10–15 шт. при освітленні великих територій – більше 1 000 м² з високим рівнем нормованої освітленості і тоді, коли кількість опор має бути мінімальною. Під час освітлення територій площею не більше 3 000–5 000 м² застосовують індивідуальне розташування прожекторів: 1–2 шт. Для усунення блискоті під час прожекторного освітлення передбачається установка прожекторів на опори визначеної висоти. Прожектори бувають: світлова стеля, світні панелі, («роттердамська» стеля) ліхтарі, штучні вікна [57].

Незважаючи на розподіл світильників за функціональністю, існують й інші освітлювальні пристрої, які неможливо з точністю зарахувати до якої-небудь категорії. Ці сучасні світильники мають універсальний характер і можуть використовуватися в різних площинах приміщення. Використання таких видів світильників дає новий підхід до світлового

рішенням будь-якого інтер'єру і дозволяє виконати його в індивідуальному, вишуканому і неповторному стилі.

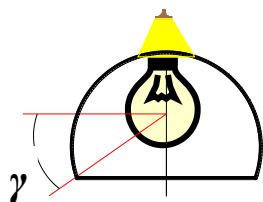


Рисунок 13.4 – Лампа накаливання [57]

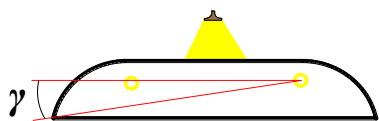


Рисунок 13.5 – Люмінесцентна лампа [57]

Захисний кут світильника визначається кутом γ , утвореним горизонталлю, проведеною через нитку розжарення лампи (поверхню лампи) із протилежним краєм відбивача (рис. 13.4).

Залежно від значення захисного кута нормується висота підвісу світильників над рівнем горизонтальної робочої поверхні або від підлоги приміщення [7].

Захисний пристрій впливає на світлотехнічні характеристики світильників: обмежує блискість, перерозподіляє світловий потік, захищає внутрішній простір світильника від запилення, а у низці випадків і від зволоження (рис. 13.5) [7].

Під час проектування освітлювальної установки порівнюють світловіддачі кількох придатних ламп і закладають у проект ті лампи, які мають найбільшу світловіддачу [37].

Лампи розжарювання:

- нормальні (газощільні й вакуумні) лампи, (15–1 500 Вт, 15–150 Вт);
- лампи відбивні з дифузійним покриттям колби, (40–1 000 Вт) дзеркальні;
- кольорові, галогенні лампи з йодно-вольфрамовим циклом (1 000–2 000 Вт).

Недоліки: недосконалість спектра їхнього світлового потоку, у якому переважають жовто-червоні випромінювання, що зліплює яскравість нитки розжарення, мала світлова віддача і короткий термін використання (див. рис. 13.4, табл. 13.1) [7, 37].

Для підвищення світлової активності і довговічності ламп розжарювання застосовано: безспіральна нитка, заповнення простору колби сумішшю рідких малих теплопровідних газів, (збільшення потужності – підвищення коефіцієнта корисної світлової дії). Щодо електричних джерел світіння в лампах розжарювання використовується нагріта до високої температури спіраль з вольфрамового тугоплавкого дроту, від якої залежить термін використання ламп накаливання.

Таблиця 13.1 – Порівняльна таблиця світлотехнічних пристроїв

Лампи розжарювання	
Переваги:	Недоліки:
<ul style="list-style-type: none"> – простота увімкнення; – низька вартість; – безінерційність; – простота утилізації; – широкий діапазон потужностей та напруг 	<ul style="list-style-type: none"> – низький коефіцієнт корисної дії (5 %), належать до теплових джерел світла; – низька світловіддача – до 20 лм/Вт; – низький термін використання (до 1 000 год.); – промені переважно червоні та оранжевої частини спектра; – значне нагрівання (до 1 400 °С та вище), що робить її пожегобезпечними
Газорозрядні лампи	
Переваги:	Недоліки:
<ul style="list-style-type: none"> – більший термін використання (18–14 тис. год); – може бути отриманий будь-який спектр; – світлова віддача (до 100 лм/Вт); – температура нагрівання лампи до 30–600 °С 	<ul style="list-style-type: none"> – складність увімкнення; – пульсація світлового потоку; – інерційність; – працюють тільки від мережі змінного струму; – впевнена робота тільки за температури +10 °С; – стробоскопічний ефект

Більш ефективними електричними джерелами світла є газорозрядні лампи (використання випромінювання газів або пар металу, що виникли під впливом електричного струму, що проходить крізь них).

Газорозрядні лампи – скляна або кварцова колба, у яку геометрично впаяні 2 металевих електроди, між якими під час проходження електричного струму відбувається розряд.

Недоліки: Перекручування кольору – випромінювання з безперервним світлом (див. рис. 13.5, табл. 13.1) [7].

У громадських, адміністративних, навчальних закладах замість газорозрядних ламп застосовуються люмінесцентні лампи, які не дають істотного перекручування кольору і великої пульсації та не мають інтенсивного випромінювання ультрафіолетової області спектра.

Люмінесценція – здатність тіл світитися без їхнього нагрівання, у результаті надлишку світіння речовини в цієї області спектра (люмінофор) над температурним випромінюванням тіла. На цій основі були розроблені люмінесцентні лампи.

Види люмінесценції:

- *хемілюмінесценція* – світіння, створюване хімічними реакціями;
- *фотолюмінесценція* – світіння тіл, створених невидимим ультрафіолетовим опроміненням;
- *електролюмінісценція* – світіння газу або пар металу створеного електричним струмом, що проходить крізь них.

Люмінесцентні лампи:

- лампи денного світла (ЛД) – забезпечують якісну передачу кольору під час переходу від природного освітлення до штучного;
- лампи білого світла (ЛБ) – створюють світло золотистого відтінку, наближеного до сонячного світла;
- лампи теплого білого світла (ЛТБ) – випромінюють світло, близьке за кольором до світла ламп накаливання;
- лампи холодного білого світла (ЛХБ) – світло за кольором займає проміжне положення між світлом хмарного неба і світлом ламп накаливання;
- лампи класу «де люкс»: денного світла з поліпшеною передачею кольору (ЛДЦ); ЛЕ – природного світла; ЛХЕ – холодного природного світла; ЛТБЦ – теплого білого світла з поліпшеною передачею світла. Основні якості таких ламп: мають спрямовану кольоровість, забезпечують гарну передачу кольору під час переходу від природного висвітлення до штучного;
- еритемні лампи і бактерицидні – призначені для ультрафіолетового випромінювання зі спрямованим потоком. Випромінювання цих ламп діє на людину подібно до природної ультрафіолетової радіації, загартовуючи організм, викликаючи в людини засмагу (еритему);
- ртутні лампи бувають еритемними і бактерицидними для загартовування організму і санації повітря в приміщенні, стерилізації води, харчових продуктів тощо, і сприяють передачі кольору. Ртутні лампи застосовуються для вуличного освітлення, а також у промислових і громадських будинках;
- ксенонові лампи мають високу яскравість і гарну передачу кольору, використовуються для висвітлення великих площ у містах, на виставках, звичайно встановлюються на великих опорах (30–60 м), застосовуються у сполученні з різними оптичними пристроями (високі цехи, спорт. зали). Недоліком цих ламп є пульсація світлового потоку [57].

Нормовані рівні освітленості при люмінесцентному освітленні встановлені з обліком: характеру зорової роботи, розмірів об'єкта розрізнення, його контрасту з тлом, характеристики тла і системи освітлення. Встановлюється на основі розрахункового запасу видимості об'єкта розрізнення для молодих людей з нормальним зором.

Виконуючи утилітарне призначення, штучне освітлення бере участь одночасно в загальній композиції інтер'єру. Освітлення впливає на зорову оцінку інтер'єру – сприйняття його просторового і планового вирішення. Роль світла як художнього засобу значна в архітектурі інтер'єру настільки складного комплексу, якими є приміщення громадського призначення. Вирішальне значення для художньої і психологічної оцінки штучного освітлення мають такі фактори: насиченість приміщення світлом, яскравість поверхні та її розподіл [57].

Висока яскравість потребує застосування нового світлотехнічного матеріалу – опалового і молочного скла, світлотехнічні папери і пластмаси.

13.1.2 Нормування та проектування штучного освітлення

Якісні показники освітленості: рівномірність (відношення максимальної освітленості до середньої або мінімальної); обмеження сліпучої яскравості й пульсації світлового потоку; сталість освітленості в процесі експлуатації.

Норми освітлення громадських будівель встановлені з урахуванням призначення приміщень, складності й тривалості зорової роботи, застосовуваних джерел світла [32, 37].

Приміщення громадських приміщень розділяють на три групи:

1) приміщення, що призначені для виконання точних зорових робіт за фіксованого напрямку лінії зору працюючих на робочу поверхню;

2) приміщення, у яких здійснюється розрізнення об'єктів і огляд навколишнього простору;

3) приміщення, у яких здійснюється огляд внутрішнього простору (найменша освітленість умовної робочої поверхні в приміщеннях від загального освітлення повинна відповідати світлотехнічним нормам) [32].

Спираючись на архітектурну типологію [32], будинки розділяються на чотири буквених розряди:

A – приміщення, до яких висуваються *високі вимоги освітленості* – приміщення, у яких виникає потреба створення враження урочистості або можливості виразного бачення робочої площини (зали засідання, проектні і

конструкторські контори, операційні, реанімаційні, кабінети лікарів, пологові зали, аптеки, науково-дослідні лабораторії);

Б – адміністративні й навчальні приміщення, концертні і читальні зали, театральні зали для глядачів – *підвищені вимоги освітленості*;

В – створення в приміщеннях насиченості світлом: фое залу для глядачів, виставочні зали, музеї – *нормальні вимоги освітленості*;

Г – забезпечення можливості вільного орієнтування в приміщенні (зали для глядачів кінотеатрів, вестибюлі суспільних будинків і гуртожитків, санвузли) – *помірні вимоги освітленості*.

Для житлових будинків і допоміжних приміщень регламентують норми освітленості – 30–50 лк (лампи накаливання), 100–75 лк (люмінесцентні лампи), 30–10 лк – для сходових кліток та ліфтових холів, для кухонь – 100 лк; інші приміщення – 75 лк; коридори – 50 лк; у вбиральнях – 30 лк [37].

У громадських будівлях суворо обмежується показник дискомфорту – характеристика якості освітленості, що визначає ступінь зорового дискомфорту, викликаного різкою різницею яскравості одночасно видимих поверхонь, їхніх кутових розмірів і положення в полі зору.

Показник дискомфорту не регламентується, якщо довжина приміщення не перевищує подвійної висоти установки світильника над підлогою, а також для гардеробних, коридорів, убиральнь, сходів і підсобних приміщень [101].

Додатковий рівень дискомфорту: категорія А – палати лікарень – 25 лк; Б – конструкторські бюро, читальні зали, музеї – 60 лк; В – зали для глядачів, фое – 60 лк.

У громадських та допоміжних будинках (зокрема готелі, гуртожитки, ЗВО, школи, театри, клуби тощо) освітлення коридорів, сходових кліток, ліфтових холів, вестибюлів, загальних гардеробів, приміщень культурно-масових заходів, службових приміщень обслуговуючого персоналу, приміщень для прасування та прання варто зазвичай виконувати люмінесцентними лампами.

Світильники, призначені для освітлення ліфтових холів і майданчиків перед ліфтами, мають бути встановлені так, щоб частина їхнього світлового потоку потрапляла безпосередньо на двері ліфтових шахт.

Освітлення технічних поверхів і підпідлогових просторів, підвалів, горищ, колясочних, кубових, комор, машинних приміщень ліфтів, насосних, теплових пунктів, електрощитових, вентиляційних та

сміттєзбиральних камер, у сушильних рекомендується виконувати лампами розжарювання.

В основі нормування виробничого освітлення покладена залежність необхідного рівня освітлення від зорової напруги (розряду зорової роботи), яка, насамперед, визначається розміром об'єкта розпізнавання, контрастом між об'єктом і фоном, характеристикою фона. Нормування освітлення в громадських, допоміжних та житлових будівлях здійснюють залежно від призначення приміщення (дод. Т).

Під час проектування штучного освітлення необхідно вирішити: вибрати систему освітлення, тип джерела світла, тип світильників, визначити розташування світлових приладів, виконати розрахунки штучного освітлення та визначити потужності світильників та ламп.

Розрахунок штучного освітлення

Завдання світлотехнічного розрахунку системи штучного освітлення полягає у визначенні потужності джерел світла за заданою освітленістю або у визначенні за заданим розміщенням світильників і відомій потужності джерел світла освітленості на розрахунковій площині і розподілення яскравості в полі зору.

Вирішення як першого, так і другого завдань, які часто в світлотехніці називаються прямим та перевірочним розрахунками, вимагає в загальному випадку як розрахунку розподілення світлових потоків, що безпосередньо надходять від світильників на розрахункову площину, стелю, стіни, так і розрахунку потоків світла, що багаторазово відбиваються між поверхнями, які обмежують освітлюване приміщення [57].

Розподілення відбитої складової освітленості на розрахунковій площині зазвичай вважається рівномірним, розподілення ж прямої складової освітленості може бути суттєво нерівномірним, оскільки залежить як від світлорозподілу, так і від розміщення світильників у просторі, що освітлюється. Якщо обидві складові освітленості (пряма та відбита) розподіляються майже рівномірно, то для розрахунку середньої освітленості прийнято користуватись коефіцієнтом використання світлового потоку, під яким розуміють відношення світлового потоку, що падає на розрахункову площину до сумарного світлового потоку джерел світла.

Коефіцієнт використання освітлювальної установки визначає ефективність використання світлового потоку джерела світла.

Його величина залежить від багатьох факторів, основними з яких є світлорозподіл та розміщення світильників у приміщенні, ККД

світильників, співвідношення розмірів приміщення і відбиваючих властивостей поверхонь, що обмежують приміщення. У тих випадках, коли умови рівномірності розподілення прямої складової освітленості не витримується, або коли необхідно проаналізувати фактичне розподілення освітленості на розрахунковій площині, виникає необхідність у окремих розрахунках прямої та відбитої складових освітленості. Для розрахунку прямої складової освітленості використовують різноманітні методи, які визначаються, переважно типом світильників та їхнім розміщенням у просторі, що освітлюється [37].

Вибір методу розрахунку. Існує кілька методів розрахунку освітленості. Для розрахунку штучного освітлення використовують переважно три методи: метод коефіцієнта використання світлового потоку, питомої потужності та точковий. Для розрахунку освітленості при загальному рівномірному освітленні використовують метод розрахунку за питомою потужністю (метод ватів) і метод із світловим потоком [57].

Метод питомої потужності вважають найбільш простим, однак і найменш точним, тому його застосовують лише при наближених розрахунках [5]. Цей метод дозволяє визначити потужність кожної лампи P_l , B_m для створення в приміщенні нормованої освітленості, що впливає з формули 13.1:

$$P_l = P_{num} \frac{S}{N}, \quad (13.1)$$

$$P_{num} = \frac{E_n \cdot K_3}{\eta} \quad \text{або} \quad P_l = P_{num} \cdot m \cdot K_3, \quad (13.2)$$

де $m = \frac{1}{\eta}$

P_{num} – питома потужність, Вт/м²;

S – площа приміщення, м²;

N – кількість ламп в освітлювальній установці.

Метод світлового потоку призначений для розрахунку загального рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь. Цей метод дозволяє врахувати як прямий світловий потік, так і відбитий від стін та стелі [57]. Сумарний світловий потік освітлювальної установки F_Σ визначають за формулою (13.3):

$$F_\Sigma = \frac{E_n \cdot S_n \cdot K_3 \cdot Z}{\eta}, \quad (13.3)$$

де E_n – нормована освітленість, лк;

S_n – площа освітлюваного приміщення, м²;

K_3 – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості внаслідок забруднення та старіння ламп (для ЛР : $K_3 = 1,3-1,5$; ГРЛ : $K_3 = 1,5-2,0$);

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення ($z = 1,1-1,2$);

η – коефіцієнт використання світлового потоку, який залежить від показника приміщення, коефіцієнта відбивання світла від стелі, стін, робочої поверхні та типу світильника. Коефіцієнт використання світлового потоку вказує, яка частина світлового потоку (корисна) падає на робочу поверхню. Коефіцієнт η визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення і коефіцієнтів відбиття стін та стелі. Показник приміщення i враховує висоту встановлення світильника над робочим місцем H_p , довжину та ширину приміщення a і b та вираховується за формулою:

$$i = \frac{a \cdot b}{H_p \cdot (a + b)}, \quad (13.4)$$

де a , b – відповідно довжина і ширина приміщення, м;

H_p – висота підвісу світильника над робочою поверхнею, м.

За величини показника приміщення $i > 5$ коефіцієнт використання приймається як за $i = 5$.

За показником приміщення і коефіцієнтами відбивання світла від стелі $\rho_{ст}$, стін ρ_c , робочої поверхні ρ_n та типом світильника за світлотехнічними таблицями знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку η .

Підраховавши F_Σ , знаходимо необхідну кількість ламп за формулою:

$$n_l = \frac{F_\Sigma}{F_l}, \quad (13.5)$$

де F_l – світловий потік однієї лампи, який вибираємо за табличними даними.

Після того розраховують необхідну кількість світильників за формулою:

$$n_{св} = \frac{n_l}{n_1}, \quad (13.6)$$

де n_1 – кількість ламп у світильнику.

Точковий метод

У цьому методі з початку приймається, що світловий потік лампи у кожному світильнику дорівнює 1 000 лм. Освітленість, яка створюється в такому випадку, називається умовною і позначається e . Величина e

залежить від світлорозподілу світильника та геометричних розмірів d та h (рис. 13.6), де h – перпендикуляр від джерел світла (точка S) до освітлювальної поверхні; d – відстань від перетину перпендикуляра поверхні (точка B) до контрольної точки (точка A).

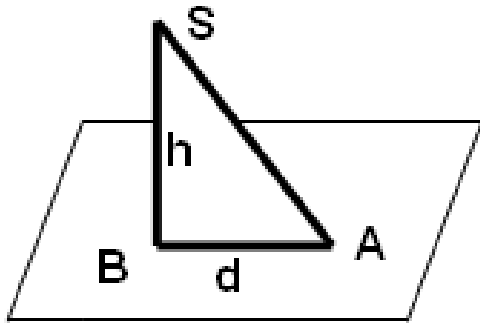


Рисунок 13.6 – Схема до точкового методу [57]

Для визначення e використовують просторові ізолюкси умовної горизонтальної освітленості. За цими значеннями d та h на ізолюксах для відповідного типу світильника знаходять значення e шляхом інтерполяції між значеннями, що належать найближчим ізолюксам.

Сумарна дія «найближчих» світильників створює в контрольній точці умовну освітленість e ; дію більш віддалених світильників та відбиту складову освітленості наближено врахують коефіцієнтом μ . Тоді для того, щоб отримати в цій точці нормовану освітленість E при заданому коефіцієнті запасу K_3 , лампи в кожному світильнику повинні мати світловий потік, що дорівнює:

$$\Phi_{л} = \frac{1\,000 \cdot E \cdot K_3}{\mu \cdot \Sigma e}, \quad (13.7)$$

де e – умовна освітленість у контрольній точці від сумарної дії «найближчих» світильників;

μ – коефіцієнт, який враховує дію більш віддалених світильників та відбиту складову освітленості;

E – нормована освітленість у контрольній точці;

K – коефіцієнт запасу.

За цим світловим потоком і обирається за таблицями найнижча стандартна лампа. Необхідно мати на увазі, що фактичний світловий потік стандартної лампи не повинен відрізнятись від розрахункового більше ніж на 10 % чи 20 %. Бажано розмістити світильники по сторонах квадрата з довжиною сторони $L = (1,1-1,6) h_p$. Для ліній, що світяться, теж відстань між лініями має дорівнювати L . Відстань від стіни до світильника або до лінії, що світиться, повинна складати $l = 0,3-0,5 L$ (рис. 13.7). Якщо вибрати лампу з таким допуском неможливо, то необхідно змінити схему розміщення світильників.

Метод світлового потоку зазвичай використовують для розрахунку потужності освітлювальної установки за рівномірного розміщення

світильників загального освітлення над горизонтальною площиною, коли відсутні крупногабаритні заповнювані предмети. Під час розрахунку за

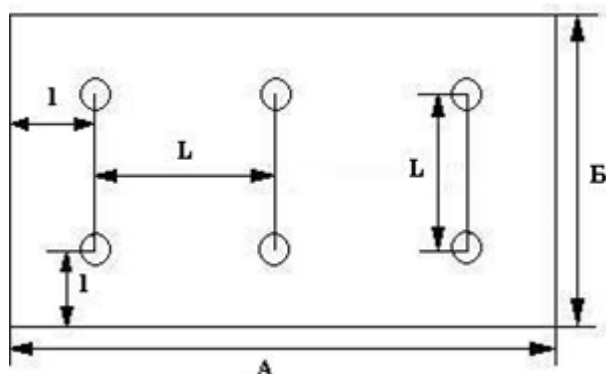


Рисунок 13.7 – Схема розміщення світильників [57]

цим методом враховується як пряме, так і відбите світло. Перехід від середньої освітленості до мінімальної здійснюється в цьому методі наближено.

Метод питомої потужності використовується в тих же випадках, що і метод світлового потоку. Цей метод вважається наближеним, оскільки простота розрахунку досягається шляхом

деякої втрати точності. Загальне локалізоване освітлення, а також загальне рівномірне за наявності суттєвих затінь мають розраховуватись за точковим методом, а також використовується при розрахунку освітленості похилих площин та відкритих просторів, а також місцевого освітлення. Відбита складова освітленості у точковому методі враховується наближено.

Інколи як джерела світла використовуються люмінесцентні лампи, які доцільно розташовувати рядами. Оскільки довжина цих ламп значна, то необхідно співвідносити сумарну довжину ряду світильників з люмінесцентними лампами з довжиною приміщення. При цьому можливі такі випадки:

- сумарна довжина світильників, що розташовані в ряд, перевищує довжину приміщення: необхідно застосовувати більш потужні лампи, у яких світловий потік на одиницю довжини більший, або збільшувати кількість рядів, чи компонувати ряди із подвоєних, потроєних світильників тощо;

- сумарна довжина ряду світильників дорівнює довжині приміщення: необхідно встановити неперервний ряд світильників;

- сумарна довжина ряду світильників менша довжини приміщення: необхідно світильники розмістити в ряд через рівномірні проміжки, які зазвичай не повинні перевищувати 0,5 розрахункової висоти.

Оцінка оптимальності штучного освітлення може бути проведена на підставі інструментальних вимірів і без вимірювань, зокрема в проєктах, розрахунковими засобами.

13.2 Штучне освітлення міських просторів і будинків

13.2.1 Засоби архітектурного освітлення міських просторів

Історично склалося так, що, приділяючи всю увагу зведенню будинків і пам'ятників, зодчі минулих років практично не займалися власне простором міського середовища. Сенсорна якість середовища і, звичайно, дизайн відіграють ключові ролі в процесі функціонування всього міста: саме у відкритих просторах середовища здійснюються різні взаємозв'язки і взаємообміни.

Засоби архітектурного освітлення вулиць, площ, парків, малих архітектурних форм і фасадів мають безпосереднє відношення до міського дизайну. Міський дизайн – відносно молода сфера проектної діяльності, звідси деяка фрагментарність рекомендаційних вказівок і правил щодо нього.

До засобів міського дизайну в контексті засобів освітлення належать: елементи освітлення і засоби візуальної комунікації (рис. 13.8).

Середовище, що існує незалежно від людини і днем автоматично містить у собі природне світло, а вночі – рукотворне штучне (якщо не вважати періодичний вплив місячного сяйва), є необхідною об'єктивною основою світового образу, який народжується і «живе» лише в людській свідомості, індивідуальному чи громадському, тобто в суб'єктивному, ідеальному плані [57].

Шлях до досягнення образної виразності світлової архітектури міста лежить через створення повноцінного світлового образу міста шляхом якісного освітлення його об'єктів. Тут велику роль відіграють психологічні функції освітлення, яке може не тільки витягти з темряви, а й «одушевити» і «оживити» архітектурні переваги подібного до денних умов сприйняття об'єкта.

Загальне враження від світлового середовища синтезується з суми зорових вражень, зорових образів, переважно, від конкретних об'єктів, а також від їхніх композиційно-просторових взаємодій один із одним. Водночас більш характерні, чуттєві, детальні враження людини-пішохода, що сприймає навколишнє середовище безпосередньо, тактильно, у «камерному» масштабі, усіма своїми органами сприйняття, із певною мірою взаємодії, порівняно з відстороненими, а тому орієнтовними, узагальненими враженнями про середовище водія або пасажера, зір якого працює в «відчужених» умовах в «ансамблевому» або «ландшафтному» масштабі.

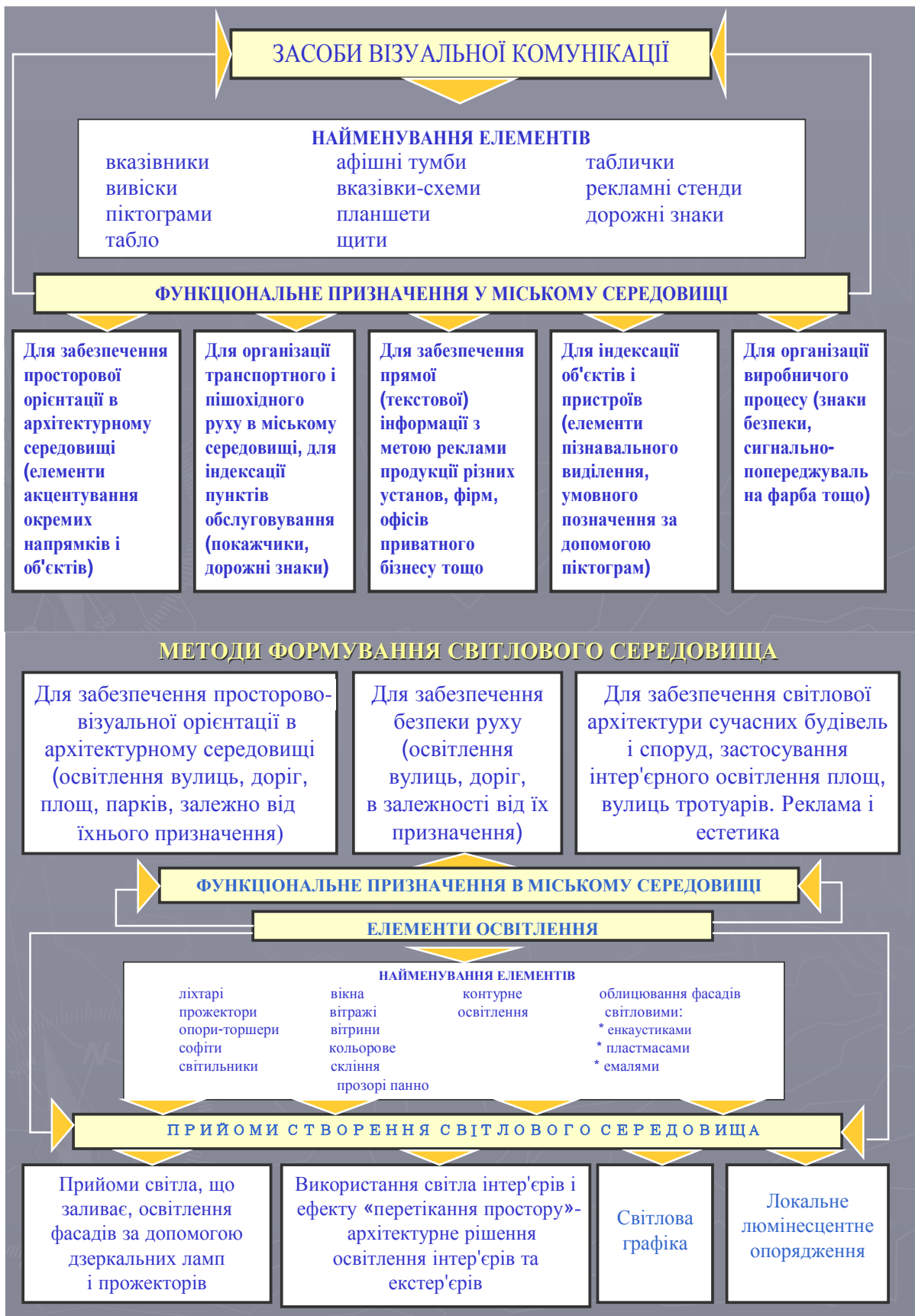


Рисунок 13.8 – Методологія формування світлового середовища [57]

Останніми роками все частіше з'являється поняття «світлова архітектура», що визначає якісно нове явище в електричному освітленні, яке створюється комплексною дією всіх сучасних елементів освітлення.

Світлова архітектура – альтернатива світловому оформленню міста, що ставить метою, здебільшого, насичення головних вулиць і центра міста засобами рекламного і вітринного освітлення. Тут мається на увазі не тільки виявлення електричним світлом художніх якостей архітектури і створення комфортних умов для життя міста, а й створення специфічного архітектурного образу, просторових картин і ефектів, які можуть бути створені тільки штучним світлом в його сучасних формах.

Головне завдання світлової архітектури – створення засобами світла і кольору цілісного художнього образу при переході від дня до ночі.

Основні положення вирішення цього завдання:

- збереження просторових рішень міста і його архітектурних ансамблів;
- виявлення будинків і споруд, що характеризуються високою архітектурною якістю;
- збереження колориметричного образу забудови різних частин міста;
- включення у світлову архітектуру міста засобів утилітарного, рекламного і вітринного освітлення;
- включення у світлову архітектуру міста малих архітектурних форм, розв'язуваних у єдиному ключі з художнім світловим образом вулиці або площі.

Світлова архітектура розкривається під час руху, отже, доцільно під час її рішення враховувати масштаб.

Тут переважно великі світлоритмічні поділи з ясно вираженими домінантами, контрастні, лаконічні, збільшені співвідношення світлоколірних та об'ємно-просторових елементів композиції. Освітлювальні установки, що формують видимі панорами та перспективи, зазвичай не видимі – не стають значними елементами панорам.

Ландшафтний масштаб – створюється просторовими елементами міста, розглянутими з великих відстаней (площі фокусного типу, проспекти, перехрещені вулицями, площами, каналами і завершуються високими будинками і спорудами (рис. 13.9), з високо розміщених точок або з магістралей під час руху транспорту, коли відсутні безпосередні контакти людини з об'єктом спостереження, а основне значення в світловому рішенні мають великі масштабні панорами, загальні силуетні обриси, глибинні перспективи [57].



Рисунок 13.9 – Приклад ландшафтного масштабу на авеню Єлісейські Поля, Париж, Франція [57]

Ансамблевий масштаб, що є проміжним між «ландшафтним» (рис. 13.10) та «камерним», архітектурних комплексів із середніх дистанцій під час руху в автомобілі по місцевим дорогам із невеликою швидкістю; або пішки, коли контакти людини з архітектурою очікуються, а її оцінка пов'язана зчитуванням зовні особливостей світлової та об'ємно-просторової побудови ансамблю, з виявленням

найбільш істотних елементів та ознак форми, з вибором напрямку руху до об'єкта і входу в нього.



а

б

Рисунок 13.10 – Приклади ансамблевого масштабу: а – кафедральний собор в Барселоні, Іспанія; б – храм Святого Сімейства в Барселоні, Іспанія (<https://wallpapersafari.com/catholic-church-wallpaper/>)

Тут доцільні акценти на тривимірність архітектурної форми та використання розкриттів місцевих перспектив, побудованих на ефекті несподіваності, контрасту або закономірним розвитком світлової композиції. Освітлювальні установки в таких випадках сприймаються конкретно та можуть бути повноцінними елементами ансамблю.

Камерний (інтимний) масштаб – це масштаб сприйняття пішохода, що переміщується в співрозмірному з ним просторі, безпосередньо контактує з оточенням та з людьми, які є активним компонентом середовища. Камерний масштаб створюється композицією будинків курдонерного типу з їхньою пластичною обробкою, будинок розглядається з невеликих відстаней (рис. 13.11).

Увага людини звернена на найближчу зону в полі центрального зору, що сприймається фрагментарно, у різних ракурсах, тому прийоми створення людського масштабу освітлюваного середовища ґрунтуються на різноманітності вражень та акцентів на порівняно коротких відстанях, на виявленні пластичних і колористичних якостей оточення, на детальній розробці переважно нюансних світлоколірних поєднань, також на дизайні елементів освітлювальних установок.



Рисунок 13.11 – Освітлення ліхтарями з натрієвими лампами, жовте світло яких створює рисунок ламаних світлових ліній. Будівля Капітолію, Рим, Італія [57]

Засоби художнього вираження, що використовуються при декоративно-художньому освітленні міста

У світловій композиції можуть застосовуватися всі професійні засоби художнього вираження, що містяться в самій архітектурній формі та випадково виявляються штучним освітленням (метр та ритм, нюанс і контраст, симетрія та асиметрія та ін.), а також використовуються

специфічні засоби – оптично створювані світлом ілюзорні світлові форми, що дозволяють здійснити:

- масштабні світлові модуляції простору по його світловому насиченню: оптичний розподіл світлового простору на ряд дрібних просторів або візуальне об'єднання різних світлових просторів в одне;

- аналогічні колірні модуляції світлових просторів, підсилюючи їх візуальну диференціацію з метою зонування та надання їм різного емоційного відтінку;

- візуальну передачу глибини, ширини, висоти простору, а також розмірів, форми, кольору, пластики архітектурних об'єктів та ландшафтних елементів;

- ілюзорна зміна масивності, статичності архітектурних та природних форм, навіть їхню віртуальну демонстрацію;

- візуальну театралізацію та драматизацію міського середовища завдяки підвищеній контрастності та художній декоративності світлоколірної композиції;

- програмовану світлоколірну кінетику середовища;

- підвищений емоційно-психологічний ефект завдяки синтетичної дії статичного та динамічного світла та кольору, зображення та стереозвуку. Ці засоби ефективно використовуються під час створення світлових «контробразів» об'єктів та ансамблів [66].

13.2.2 Світлова панорама міста, світлові ансамблі й доміанти

Сила впливу вигляду вечірнього міста на людину визначається не масштабами залитої світлом території, а насамперед архітектонікою світлової панорами міста.

Світлова панорама міста – поняття про доцільність використання штучного світла для архітектурної виразності міста у вечірній час.

Масштаб створеного світлового простору – критерій, який пов'язаний з ілюзорно-формуотворювальною дією світла в міському просторі, параметри та якості якого сприймаються зором у межах освітлюваної зони. Вона не обов'язково співпадає з фізичними габаритами простору. Масштабні характеристики простору можуть створюватися з урахуванням містобудівельних факторів та психологічних особливостей сприйняття.

Архітектоніка світлової панорами залежить від аналізу планувальної структури міста, її зонування. Виділяють такі основні зони на території міста стосовно світлокольорового зонування: сельбищна (квартали),

промислова, зона адміністративних і громадських центрів, зона спілкування (театри, концертні зали тощо) і територія відпочинку (парки, сади і тощо).

У вечірній час у місті необхідно забезпечити найкращі світлові умови. Сучасна світлотехніка дозволяє багато зробити в цьому відношенні, якщо при виконанні освітлювальних установок дотримуватися загальних принципів устрою раціонального освітлення і вимог, наведених нижче для окремих елементів зовнішнього освітлення. Освітлювальні установки на вулицях міста можна розділити на такі групи: вуличне освітлення, спеціальне освітлення фасадів будинків, освітлення садів і бульварів, світлова реклама та освітлення вітрин.

У штучному освітленні сучасних міст чітко різняться низка окремих елементів, що діють спільно, впливають один на одного і залежать один від одного.

Основними елементами освітлення сучасного міста є:

- освітлення проїзної частини вулиць і площ;
- світлові покажчики і світлова сигналізація для міського транспорту і пішоходів;
- освітлення архітектурних споруд (будівлі та малі форми архітектури);
- освітлення монументів та фонтанів;
- освітлення зовнішніх вітрин магазинів;
- рекламне, агітаційне та інформаційне освітлення;
- освітлення парків, бульварів та інших місць міського відпочинку.

Освітлення проїзної частини вулиць і площ створюється для зручного та безпечного руху пішоходів і транспорту у вечірній час і є головним і обов'язковим елементом освітлення для міст усіх категорій, для всіх районів та вулиць. Його світлотехнічні показники залежать від інтенсивності руху транспорту, а також категорії міст і вулиць.

Із тією саме метою безпеки і зручності руху використовуються світлові покажчики і світлова сигналізація, що також є невід'ємною частиною освітлення будь-якого міста з інтенсивним рухом.

Зовнішнє освітлення будинків, окремих частин будівель або їхніх груп, що становлять єдину архітектурну композицію, а також рекламне та вітринне освітлення, освітлення монументів, пам'ятників і фонтанів має головною метою створити архітектурно-художній образ міста або бути головною частиною цього образу, його найбільш характерним елементом, що зв'язує в єдине ціле загальне освітлення міста.

Освітлення споруд малих архітектурних форм – кіосків, зупинок транспорту – створює зручності мешканцям міста, як і освітлення проїзної частини, і є необхідним елементом у загальній системі міського освітлення.

Освітлення парків, бульварів та інших місць міського відпочинку має також утилітарне значення, але, разом із тим, необхідне для створення архітектурно-художнього образу місць відпочинку і певних умов для відпочинку, є продовженням освітлення проїзної частини вулиць і площ у специфічній обстановці. Крім того, нерідко один вид або елемент освітлення переходить поступово в інший, або обидва види поєднуються відповідно до характеру окремих вулиць і площ, які переходять у алеї, бульвари, сквери, набережні, і використовуються не тільки для руху пішоходів, але і як місця вечірнього гуляння та відпочинку [57].

Для раціонального вирішення архітектурно-художньої частини проекту освітлення міста архітекторам необхідно оволодіти деяким мінімумом знань у сфері світлотехніки, електропостачання міста та економіки освітлення.

Під час проектування освітлювальних установок вибір світлових приладів, як і прийомів і засобів освітлення, із функціональних і художніх міркувань доцільно підпорядкувати певними принципами:

- відкрите розташування приладів, настановних конструкцій та електротехнічних виробів, коли вони є видимими елементами архітектурного ансамблю або об'єкта, а їхнє конструктивне рішення має отримати відповідне художнє трактування;

- приховане розташування засобів освітлення або можливо більш нейтральне по відношенню до оточення рішення конструктивних елементів освітлювальної установки з метою концентрації уваги спостерігача на освітлюваних об'єктах і деталях і отримання ефекту несподіванки, невизначеності світлового рішення.

Відкрите розташування освітлювальних приладів і несучих їхніх конструктивних елементів – опор, кронштейнів, підвісів – є традиційним і масовим, особливо в установках функціонального освітлення [57].

За характером конструктивно-художнього рішення, виконуваних функцій і композиційної ролі, яку відіграють освітлювальні пристрої в міському середовищі, можна виділити чотири групи установок або типу систем освітлення:

- «традиційні» (функціональні, серійні) світильники (ліхтарі) на опорах, підвісах, кронштейнах, які не претендують на помітну

композиційну роль в ансамблі, основне призначення яких освітлювати територію і простір;

– «світільники-скульптури», що мають дві рівнозначні функції, як в денний час, так і ночі – освітлювати навколишнє середовище вночі і бути масштабним, декоративним елементом, малою формою в архітектурному ансамблі;

– малі форми що світяться – автономні рекламно-інформаційні установки, кіоски, паркові ротонди, торгові намети і міні-кафе, фонтани, світло яких для оточуючого середовища міста, або його частини є вторинною, супутньою функцією;

– елементи архітектури, які світяться – це зазвичай вбудовані в світлопрорізи, силуетні об'єми (скляні куполи, вежі тощо) та фасадні поверхні або розміщені на них світлові приховані прилади, які стали частиною їхньої матеріальної структури або представлені як декоративно-пластичні форми, вітражі і вітрини, інформаційні та рекламні вивіски на фасадах, підсвічені склепіння, арки і входи в будівлі.

При освітленні вулиць як лінійного об'єкта найбільша частка світлового потоку має бути спрямована вздовж вулиці по обидві протилежні сторони, створюючи при цьому рівномірне освітлення на всьому її протязі. Практика показує, що для оптимального вирішення цього завдання необхідно мати світільники, що мають максимуми сили світла, спрямовані приблизно під кутом $65-75^\circ$ до вертикалі у двох протилежних напрямках.

Подібну трансформацію світлового потоку лампи можна здійснити за допомогою дзеркал, якими і забезпечено більшість сучасних вуличних світільників. При освітленні площ, де потрібно освітити великі поверхні за відносно невеликої освітленості (яскравості) покриття, кількість опор завжди бажано скоротити або повністю від них відмовитися, для чого застосовуються прожектори з ксеноновими лампами ДКсТ одиничною потужністю 20 кВт або більше. Прожектори можуть бути встановлені на високих щоглах (висотою 20–25 м).

Бульвари і сквери не потребують інтенсивного освітлення, оскільки тут немає руху транспорту. Часто можна обмежитися освітленням тільки головних алей і проходів. Варто враховувати, що на бульвар зазвичай потрапляє також світло від прилеглих вулиць. Формальне виконання норм без урахування цієї обставини іноді призводить до надмірного збільшення кількості ліхтарів, що особливо помітно в скверах партерного типу і на бульварах із молодими деревами. Для садів і бульварів доцільно застосовувати ліхтарі торшерного типу.

Для світлового оформлення міської магістралі необхідно, насамперед, розподілити світильники вуличного освітлення, вибрати їхній тип, висоту і конструкцію опор. Виявити можливості вітринного освітлення і ступінь його впливу на освітлення тротуарів та проїзної частини вулиці. Варто також врахувати спеціальне освітлення фасадів окремих будівель історичного чи художнього значення. Світлова архітектура магазинів і виносні вітрини перетворюються в активний елемент вулиці. Застосовують екранування джерел світла, щоб уникнути засліпленості перехожих і автомобілів та розробляють проєкт світлових реклам, розміщених на дахах і фасадах будинків.

Необхідно також розробляти освітлення садів і бульварів, що входять до ансамблю вулиці, де зазвичай відсутні магазини і реклама, що знижує освітленість на вулиці. Усі джерела світла показують графічно на плані вулиці умовними знаками, а для наочності виконують кілька нічних перспектив вулиці, подібних до зображеної на рисунку 13.12 [71]. Варто пам'ятати, що архітектурне рішення освітлення вулиці залежить не стільки від рівнів освітленості, скільки від гармонійного поєднання і стильової єдності окремих частин освітлювальної установки і від ступеня зменшення блискоті в полі зору.

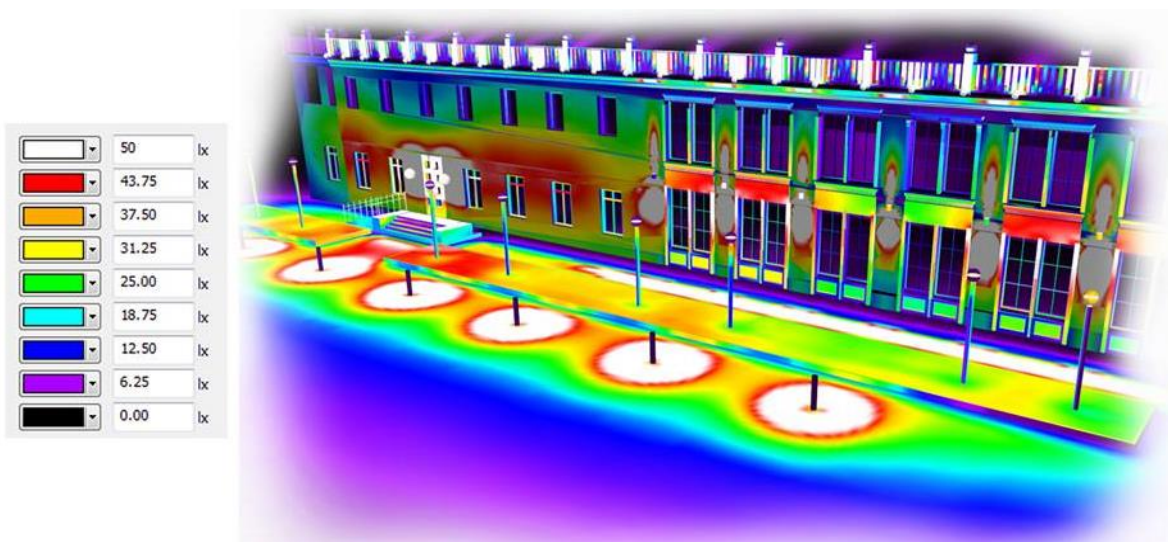


Рисунок 13.12 – Приклад макета світлової перспективи вулиці у нічний час [71]

З освітлювальних приладів істотну роль відіграють ліхтарі у формуванні світлового середовища на вулицях і площах міста, розміри, форма і членування яких повинні відповідати характеру і масштабності забудови. Залежно від ширини і категорії вулиць застосовуються такі схеми розстановки ліхтарів: одностороння, дворядна в шаховому порядку,

дворядна прямокутна, осьова, дворядна прямокутна по осях руху, дворядна прямокутна по осі вулиці. Перші три схеми відповідають випадкам установки ліхтарів, а останні – підвісці світильників на тросах. Особливу увагу варто звертати на освітлення перехресть, переходів і заокруглень доріг. Доцільним є сполучення прорисованих консольних високих опор (для освітлення проїзної частини вулиці) з невисокими опорами-торшерами для освітлення тротуарів, а також із вітринами [71].

13.2.3 Нормування освітлення вулиць і доріг

Освітлення вулиць, площ, тротуарів, переходів, під'їздів є одним із важливих критеріїв безпеки руху. Разом зі світловою рекламою і архітектурним підсвічуванням вуличне освітлення створює також вечірній образ міст, формує їхнє штучне світлове середовище.

Різке зростання інтенсивності руху на дорогах і вулицях створили додаткові проблеми щодо безаварійного переміщення автотранспорту внаслідок чого зросли норми освітленості вулиць, підвищились вимоги до яскравості полотна дороги і її розподілу; введено обмеження щодо освітлення житлових будинків і лікувальних закладів.

Ступінь освітлення вулиць і доріг у містах та інших населених пунктах залежить від розрахункових швидкостей та інтенсивності руху увечері (у темний час доби). Ці умови визначаються категоріями вулиць і доріг, а також типами населених місць.

Необхідно, щоб дорожнє покриття вулиці за різних умов (погодних, стану покриття) здавалося б водію освітленим з однаковою яскравістю. Під час проєктування освітлення і світлотехнічних розрахунків необхідно брати до уваги світловідбивання властивості вуличного покриття.

Освітлення вулиць і площ є основним, тобто обов'язковим елементом освітлення будь-якого міста. Класифікація видів зовнішнього освітлення в населених пунктах встановлюється залежно від типів об'єктів транспортної інфраструктури.

Освітлення проїзної частини вулиць і площ категорій А–Г регламентується в нормах середньої яскравості на сухих покриттях у напрямку до ока спостерігача, що знаходиться на осі руху транспорту. Вулиці, дороги, проїзди і площі поділяються на 5 категорій: А, Б, В, Г, Д. Рівень освітлення проїзної частини вулиць перших чотирьох категорій регламентується за яскравістю сухих покриттів проїзної частини в напрямку спостерігача, що знаходиться на осі руху транспорту. Крім

категорії вулиць у місті під час визначення рівня освітлення береться до уваги інтенсивність руху транспорту (дод. У) [37].

Нормується також рівномірність розподілу яскравості, тобто відношення максимальної і мінімальної яскравості залежно від значення середньої яскравості.

За умовами освітленості міські вулиці, дороги і майдани поділяють на 4 категорії:

А – магістральні вулиці загальноміського значення, а також швидкісні дороги й основні майдани;

Б – магістральні вулиці районного значення, а також майдани різного призначення;

В – житлові вулиці з інтенсивним рухом, а також промислово-складські проїзди;

Г – житлові вулиці з обмеженим рухом.

Рівень освітлення проїзної частини вулиць, доріг і площ з перехідними і нижчими типами покриттів у міських поселеннях регламентується величиною середньої горизонтальної освітленості, яка для вулиць, доріг і площ категорії Б повинна бути 6 лк, для вулиць і доріг категорії В за перехідного типу покриттів – 4 лк і при покриття нижчого типу – 2 лк (дод. У) [37].

До категорії Д належать проїзди і пішохідні доріжки в мікрорайонах, житлові вулиці місцевого руху в районах малоповерхової забудови. Рівень освітлення для вулиць категорії Д нормується за мінімальної горизонтальної освітленості – 0,2 лк. Середня яскравість непроїзної частини вулиць, доріг і площ, які примикають до проїзної частини (тротуари, автостоянки тощо), мають бути не менше половини середньої яскравості, вказаної для цих вулиць, доріг і площ [37].

У житлових кварталах необхідно враховувати, що пристрої зовнішнього освітлення повинні естетично сполучатися з навколишніми архітектурними рішеннями. Це стосується форми й пропорцій світильників, кронштейнів й опор, висоти установки освітлювальних приладів.

Для освітлення вулиць і доріг рекомендується застосовувати переважно газорозрядні джерела світла. Наразі у цій сфері найрозповсюдженішими є лампи ДРЛ. Люмінесцентні лампи застосовують рідко, переважно в південних курортних невеликих містечках, де не потрібно великої яскравості. Експлуатація люмінесцентних ламп у північних міста в зимовий час важка. У закордонній практиці разом із

лампами ДРЛ доволі широко застосовують натрієві лампи низького і високого тиску. У великих містах для освітлення площ використовують ксенонові лампи ДКсТ. Для вуличного освітлення зараз широко застосовують світильники: РКУ – вуличний консольний; РБУ – вуличний підвісний; ІСУ – вуличний з галогенною лампою розжарювання; СППР – підвісний призматичний; СЗР – вуличний світлодіодний; РБУ – настінний. Найбільш поширений спосіб установки вуличних світильників – на спеціальних опорах або на опорах тролейбусної мережі. На вузьких вулицях, усередині кварталів, у дворах світильники іноді встановлюють на стінах будівель [71].

Що стосується освітлення вітрин, реклам та інших елементів, то воно може бути розвинене в більшій чи меншій мірі залежно від величини, характеру і значення міста і може, таким чином, доповнювати обов'язкове освітлення вулиць і площ. Головне завдання вуличного освітлення – забезпечити нормальний зручний, безпечний рух міського транспорту і пішоходів. Для цього освітлюються проїзна частина вулиць, тротуари, також включаються в загальну світлову архітектуру світлові покажчики і світлова сигналізація. Тільки спільна робота цих елементів освітлення забезпечує в сучасному місті безпечний інтенсивний рух транспорту і пішоходів.

Під час проектування установок зовнішнього освітлення особливу увагу варто приділяти оптимізації вибору й розміщенню освітлювальних приладів із найбільш повним урахуванням їхнього світлорозподілу. Критерієм оптимізації проектного рішення є енергоекономічність – мінімум потужності освітлювальної установки при забезпеченні нормованих кількісних й якісних показників [37].

Усі перелічені групи зовнішніх освітлювальних установок не ізольовані одна від одної, а працюють у безпосередній близькості і взаємодії. Наприклад, на фасад якого-небудь будинку, що має спеціальне підсвічування, падає світло й від світильників вуличного освітлення, і від рекламних написів і вітрин, розташованих навпроти, тощо. Отже, взаємної координації окремих частин та єдності архітектури та світлового оформлення міста має бути приділено особливу увагу. Світлове оформлення міста має завжди створюватися як частина гармонійної композиції його вечірнього образу.

Контрольні запитання

1. Які основні кількісні й якісні характеристики штучного освітлення?
2. Нормування та проектування штучного освітлення.
3. Які відомі види штучного освітлення, у чому їхнє призначення?
4. Що варто розуміти під робочим, аварійним, ремонтним освітленням, завдання цих освітлень?
5. Які види люмінесцентних ламп застосовуються і які їхні переваги перед лампами розжарювання?
6. У чому полягає сутність методу питомої потужності?
7. У чому полягає метод світлового потоку?
8. У чому полягає сутність точкового методу?
9. У чому полягають основні завдання світлового середовища?
10. Які існують основні засоби архітектурного освітлення міських просторів?
11. У чому полягає нормування освітлення вулиць і доріг за світлотехнічною ознакою?

ЧАСТИНА IV АКУСТИКА

РОЗДІЛ 14 ОСНОВИ АКУСТИКИ

14.1 Основні поняття та визначення акустики. Звукові коливання та хвилі

Світ, що оточує людину, із цілковитою певністю можна назвати світом звуків. Звучать навколо голоси людей і музика, шум вітру і щебет птахів, гуркіт моторів і шелест листя. З погляду фізики звук – це механічні коливання, які поширюються в пружному середовищі: повітрі, воді, твердому тілі тощо. Струна в стані коливання призводить до руху навколишнє повітря, ущільнюючи його або розріджуючи. Шари ущільненого і розрідженого повітря розбігаються один за одним на всі боки і утворюють звукову хвилю. Досягаючи вуха людини, механічні коливання передаються на барабанні перетинки, внаслідок чого людина чує звук струни [73].

Здатність людини сприймати пружні коливання та чути їх відображено в назві вчення про звук – акустика (від грецького «ακουστική» – (акустікос) – «слуховий», «чутний»), яке досліджувало спочатку саме чутні людиною звукові хвилі з частотою від 16 Гц до 20 кГц (1 Гц – 1 коливання в 1 секунду). Низьким звукам (бій барабана) відповідають низькі частоти від 16 Гц до 200 Гц; високим (свисток) – великі частоти від 5 000 Гц (5 кГц) і вище. Акустика сьогодення як галузь фізики розглядає більш широкий спектр пружних коливань – від найнижчих частот (умовно кажучи, від 0 Гц) до гранично високих, аж до 10–1 013 Гц. Не чутні людиною звукові хвилі з частотами менше 16 Гц називають інфразвуком, а від 20 Гц до 109 Гц – ультразвуком, а коливання з частотами вище 109 Гц – гіперзвуком. Особливо бурхливо акустика стала розвиватися, коли люди навчилися передавати звук по проводах, перетворюючи звукові коливання в електричні і навпаки за допомогою телефону [73, 121].

Передача звуків на відстань, а також різні способи їхнього запису і відтворення (магнітофонні) – усе це лише одна зі сфер застосування акустики, а саме перероблення, передача, зберігання і використання звукової інформації.

Прикладну акустику підрозділяють на архітектурну та будівельну.

Архітектурна акустика – спеціальна галузь науки – архітектурна акустика – займається проєктуванням концертних, лекційних, театральних

та інших залів, намагаючись виконати умову гарної чутності, завданням якої є створення сприятливих умов повноцінного сприйняття звуків [9].

Будівельна акустика – галузь знань будівельної фізики про звук, яка вивчає пружні коливання і хвилі від низьких частот до порогово високих, їхнє розповсюдження в різних середовищах, придушення, ослаблення й обмеження поширення небажаних звуків, що прийнято називати шумами [9].

Будівельна й архітектурна акустика містить такі розділи: звукоізоляція; архітектурна акустика, захист від шумів і вібрацій інженерного обладнання; захист від міських шумів.

Архітектурна акустика містить у собі розповсюдження природного звучання й озвучення та звукопідсилення.

Архітектурна акустика вивчає:

- закони поширення в будинках і містобудівних утвореннях звукових хвиль;
- акустичний режим приміщень різного призначення;
- акустичні характеристики будівельних матеріалів і виробів, несучих та захисних конструкцій;
- умови планування і забудови населених пунктів.

Метою архітектурної акустики є захист середовища життєдіяльності людини від негативного шумового впливу і створення сприятливого акустичного режиму.

Акустика – одна з найдавніших областей фізики, що зародилася в зв'язку з потребою дати пояснення явищам слуху і мови.

У відкритих театрах та інших будівлях Стародавньої Греції та Риму вже можна помітити результати застосування примітивних акустичних знань, коли здчі свідомо досягали позитивної чутності в приміщеннях із великою кількістю слухачів. Емпедокл (490–430 рр. до н. е.) пояснив поширення і сприйняття звуків рухами особливої (тонкої) речовини, що виходить зі звучного тіла і потрапляє у його вухо. Перші спостереження за акустикою були проведені в VI столітті до нашої ери (6 ст. до н. е.), коли Піфагор встановив зв'язок між висотою тону і довжиною струни або труби, що видає звук, він перший сформулював закони коливання струн. У IV ст. до н.е. Аристотель (490–430 рр. до н.е.) перший правильно уявив, як поширюється звук у повітрі, та з'ясував, що тіло, яке звучить, викликає стискання і розрідження повітря, а луну пояснив відбиттям звуку від перешкод [19].

У XV столітті Леонардо да Вінчі сформулював принцип незалежності звукових хвиль від різних джерел. У 1660 році дослідями

Роберта Бойля було доведено, що повітря є провідником звуку (в вакуумі звук не поширюється).

Лише у XVII ст. Галілей і Мерсені встановили *кількісні закони коливання струн* і першими визначили швидкість звуку в повітрі. Брати Вебер і Савар у XIX ст. показали, що поширення звуку в рідинах і пружних тілах відбувається по тим саме законам, що й у повітрі.

У 1700–1707 рр. вийшли мемуари Жозефа Саверіо з акустики, опубліковані Паризькою академією наук. Ж. Саверіо перший намагався визначити межу сприйняття коливань як звуків: для низьких звуків він вказав кордон у 25 коливань у секунду, а для високих – 12 800. І Ньютон, ґрунтуючись на цих експериментальних роботах Ж. Саверіо, подав перший розрахунок довжини хвилі звуку і дійшов до висновку, добре відомому зараз у фізиці, що для будь-якої відкритої труби довжина хвилі звуку, який випускається, дорівнює подвоєнню довжині труби. Він упевнився, що в цьому складаються найголовніші звукові явища [19].

Англійський математик Брук Тейлор у 1715 р. розпочав математичний розгляд задачі щодо хиткої струни, поклавши цим початок математичної фізики. Йому вдалося розрахувати залежність кількості коливань струни від її довжини, ваги, натягу та місцевого значення прискорення сили тяжіння. Ця задача відразу ж стала широко відома і привернула увагу майже всіх математиків XVIII століття, викликавши довгу і плідну дискусію. Нею займалися серед інших Йоганн Бернуллі і його син Данило Бернуллі, Риккаті та Даламбер [118].

У XVIII столітті було досліджено багато інших акустичних явищ (швидкість поширення звуку у твердих тілах і у газах, резонанс, комбінаційні тони тощо) й всі акустичні явища пояснювалися як механічні процеси.

У 1877 році американський учений Томас Алва Едісон винайшов пристрій для запису і відтворення звуку, який потім сам же в 1889 році удосконалив. Винайдений ним спосіб звукозапису отримав назву механічного.

Наприкінці XIX ст. вийшли праці Г. Гельмгольца «Навчання про звукові відчуття» і праця Д. Релея «Теорія звуку», де було подано пояснення фізичної природи звуків і сприйняття звуку законами фізики. Особливо інтенсивно акустика стала розвиватися в зв'язку з розвитком електронної техніки [19].

Вважається, що сучасна архітектурна акустика починається з робіт вченого XIX століття У. Себіна, який показав, що в замкнутому приміщенні поступово слабшають відлуння, зливаються в гул і

супроводжують кожен звук. Він і встановив, що швидкість загасання цього гулу є найбільш істотним показником чутності.

У. Себін є піонером сучасної архітектурної акустики. У 1895 році проводилося акустичне поліпшення лекційної зали як частини новозбудованого музею Fogg Museum. Керівний персонал фізичного факультету в Гарварді вважав це неможливим завданням, тому до цієї роботи було залучено молодого викладача фізики У. Себіна, який зайнявся проблемою незадовільної акустики залу, намагаючись визначити відмінності лекційного залу, який було досліджено від іншого, акустично сприятливого – залу театру Сандерса, акустичні умови якого вважалися чудовими. Протягом наступних кількох років У. Себін і група помічників проводили дослідження акустики в цих залах. Використовуючи трубу органу і секундомір, У. Себін провів тисячі точних (для того часу) вимірювань часу, необхідного для загасання звуків різних частот у присутності різних матеріалів. Він виміряв час реверберації залу з декількома видами килимових покриттів, і з різною кількістю глядачів у залі.

У. Себін визначив, що тіло середньої людини (за фізичними параметрами) зменшує час реверберації так само, як і шість м'яких крісел. Ці вимірювання проводилися зазвичай вночі, щоб не заважати діяльності обох залів.

У. Себін експериментально встановив, що існує залежність між акустичними умовами, розмірами залу, а також типом і площею звукопоглинальних поверхонь. Він сформулював поняття часу реверберації, яке до цих пір є найважливішою характеристикою приміщення [125].

За останні десятиліття акустика, подібно іншим областям фізики, швидко розвивалася. Розвиток акустики вказав шлях як до раціонального проектування споруд, так і виправлення приміщень з поганою акустикою. Зараз вибір форми приміщення, його архітектури та оздоблення, облицювання стін та цілої низки інших даних розглядається на наукових засадах архітектурною акустикою – великий розділ сучасної акустики. Останнім часом в архітектурній акустиці успішно розробляється новий напрямок, заснований на хвильових уявленнях – хвильова теорія поширення звуку в закритих приміщеннях. Ця теорія уточнює межі застосування геометричної акустики при поширенні звуку в закритих приміщеннях і дає багато корисного для практики.

Архітектурна акустика стала ширше застосовуватися під час проектування вокзалів і аеропортів, великих магазинів і ресторанів,

виробничих цехів та інших будівель, у яких працює багата кількість людей. Методи архітектурної акустики дозволяють у деяких випадках забезпечити такі архітектурно-конструктивні рішення приміщень, за яких рівень шуму значно знижується [52].

Звукові коливання та хвилі

Поширення звуку в повітрі є хвильовий процес. Звук поширюється в різних середовищах (повітря, вода, тверді тіла). Частинки, починаючи коливальний рух, захоплюють за собою все нові і нові частинки. Енергія передається все більшій кількості частинок, і коливальні рухи поступово згасають. Найбільш наочним прикладом є хвилі від кинутого у воду каменю, що розходяться колами (поперечні хвилі). До того ж амплітуда коливань поступово зменшується в міру віддалення від джерела [16, 123].

Повітря має властивість об'ємної пружності. Стиснене повітря – своєрідна пружина (на властивості об'ємної пружності працюють автомобільні і велосипедні шини, що зм'якшують удар під час руху).

Повітря має масу та інерцію. Сполучення властивостей пружності й інерції повітря причиняє утворення пружних хвиль, які виникають за раптової зміни щільності повітря [7, 33].

Основні характеристики хвильового руху: довжина хвилі – відстань між двома точками хвилі в одній фазі, амплітуда хвилі – відстань, на яку частка коливань відхиляється від положення рівноваги (рис. 14.1), амплітуда визначає гучність звуку.

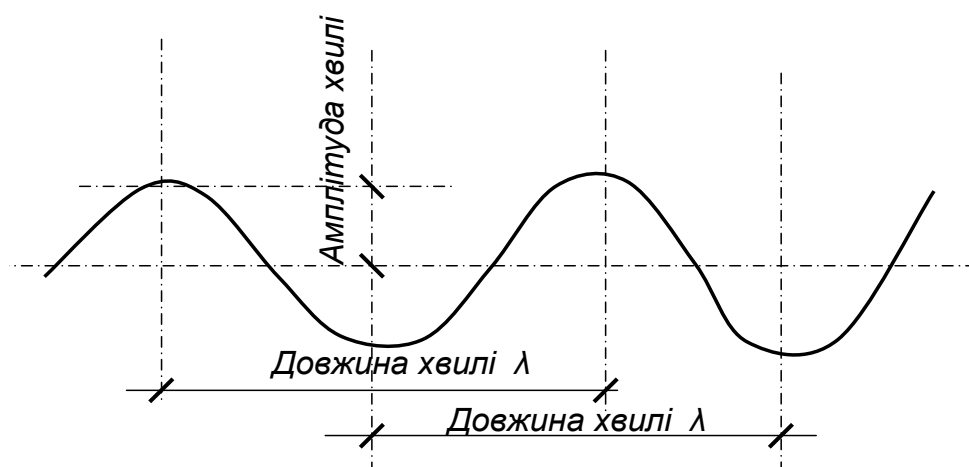


Рисунок 14.1 – Основні характеристики хвильового руху: довжина та амплітуда хвилі [57]

Звук поширюється хвилеподібно. Основні характеристики хвильового руху: довжина хвилі – відстань між двома точками хвилі в

одній фазі, амплітуда хвилі – відстань, на яку коливальна частка відхиляється від положення рівноваги (рис. 14.1). Довжина хвилі залежить від швидкості поширення звуку в повітрі c і від його частоти f :

$$\lambda = \frac{c}{f}. \quad (14.1)$$

Швидкість поширення звукової хвилі $v_{зв}$ у пружному твердому тілі залежить від фізичних властивостей цього тіла (від його пружності E та густини ρ).

$$v_{зв} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}. \quad (14.2)$$

Швидкість поширення звукової хвилі $v_{зв}$ у газах залежить від відношення модулю об'ємної пружності газів k та густини недеформованого середовища ρ .

$$v_{зв} = \sqrt{\frac{k}{\rho}}. \quad (14.3)$$

Низка фактів свідчить, про подібність властивостей рідин і твердих тіл (наприклад незначна стисливість рідин) з одного боку, та рідин і газів (наприклад, хаотичність руху молекул, залежність середньої швидкості молекул від температури тощо) – з іншого. Процес деформації рідини при поширенні в ній звукової хвилі відбувається, як і у газах – адіабатично. Із наведених та багатьох ідентичність аналітичних залежностей для швидкості поширення звукових хвиль у твердих тілах, газах і рідинах, а саме: інших не наведених характеристик рідин впливає:

$$v_{зв} = \sqrt{\frac{k}{\rho}} = \sqrt{\frac{1}{a\rho}}. \quad (14.4)$$

Існують і такі характеристики звуку, як тон – звукові коливання синусоїдальної форми, звучання – накладення багатьох тонів (характеризує красу звучання), шум – нерегулярні коливання без закономірної залежності. Існує поняття звукового сигналу – гучного, різкого, короткого звуку.

У повітряній пружній хвилі (на відміну від електромагнітних коливань) частки коливаються в напрямку поширення хвилі – *подовжні* коливання.

У природі не існує ізольованих коливань одного тіла. Свої пружні властивості має навколишнє середовище, у якому знаходиться розглянутий

предмет (повітря, вода, матеріал), тому коливання, що виникають у будь-якій точці простору, передаються прилеглим зонам середовища. Цей процес (передачі коливань у середовищі) зветься хвильовим [57].

Коливальні рухи в повітрі досягають приймача (вухо людини). Це поздовжні хвилі, що супроводжуються періодичним підвищенням і пониженням тиску. Змінний тиск (у Н/м^2 або Па) на барабанну перетинку сприймається як звук.

Крім цих характеристик, важливе значення в коливальному процесі має фаза коливань і зрушення фаз (зрушення однієї синусоїди стосовно іншої).

Коливальне тіло безперервно випромінює пружні хвилі, що характеризуються послідовними згущеннями і розрядженням повітря, у результаті чого з'являються і поширюються в повітрі, газах, рідинах і твердих тілах звукові хвилі.

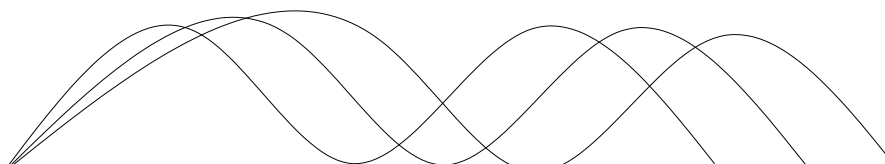


Рисунок 14.2 – Інтерференція звукових хвиль [57]

За наявності в середовищі декількох джерел звуку результуюче коливання дорівнює сумі коливань.

Явище посилення або знищення коливань у хвильовому русі – це інтерференція, виникає у разі дотримання таких умов: при співвідношенні частот двох джерел $1:1$, $1:2$, $2:3$ тощо, при сталості зрушення фаз коливань (рис. 14.2).

Дуже важливий в акустиці вид інтерференції – утворення стійних хвиль, відбитих від об'єкта віддзеркалення. Посилення або ослаблення голосності звуку [7].

Дифракція звукових хвиль – здатність у разі поширення обгинати зустрічні перешкоди. Розміри перешкод мають бути порівняні з довжиною хвилі або бути менше неї – неодмінна умова дифракції [7].

Звук характеризується частотою і амплітудою коливань. Швидкість поширення звукової хвилі (швидкість звуку) залежить від характеристик середовища.

Під час розгляду звукових хвиль, що поширюються, не враховуються явища інтерференції – оцінка звукового поля проводиться методом енергетичного підсумовування.

Звукове поле, що утвориться в приміщенні, приймається дифузійним – об'ємна щільність звукової енергії в будь-якій точці звукового поля приймається однаковою.

Ці твердження дозволили розробити теоретичні основи акустичних розрахунків і методів адаптованих до практичної роботи архітектора.

14.2 Об'єктивні та суб'єктивні характеристики звуку

Звуки розповсюджуються в газах, рідинах та твердих тілах. Під час проходженні звуків через межу двох середовищ вони можуть відбиватися та заломлюватися; закони відбиття та заломлення звуку є подібними щодо законів розповсюдження світла.

Фізичні характеристики звуку можуть бути розподілені на дві категорії: *об'єктивні* та *суб'єктивні*.

Об'єктивними називають такі характеристики, які можуть бути кількісно оцінені якимось приладом незалежно від враження людини. Найважливішими об'єктивними характеристиками звуку є: *частота* звуку, *звуковий тиск* (p), *інтенсивність* (I).

Звукові хвилі поширюються в усіх напрямках від точки поширення, цей простір називається *звуковим полем*. Фізичний стан середовища в звуковому полі характеризується звуковим тиском і коливальною швидкістю.

Звуковий тиск (L) – різниця між миттєвим значенням повного тиску і середнім тиском, що спостерігається в середовищі за відсутності звукового поля. У фазі стиску тиск позитивний, а у фазі розрідження – негативний [8]. Звуковий тиск, що виникає під час проходження звукових хвиль у рідкому або газовому середовищі, залежить від густини середовища, швидкості частинок середовища, що створюють коливання v , та швидкості хвилі у середовищі c :

$$p = \rho \cdot c \cdot v. \quad (14.5)$$

Уведення рівня звукового тиску дозволило перетворити величезний діапазон звукового тиску в практично зручний від 0 дБ до 120 дБ. Інша перевага рівня звукового тиску – зміна його на 1 дБ приблизно відповідає мінімальному, ледь відчутному людині у разі зміни голосності звуку. Для складного звуку, що складає з багатьох чистих тонів, вимірюються рівні звукового тиску окремих чистих тонів, або сумарний звук рівня звукового тиску в деякій смузі частот виміру [57].

Поширення звукових хвиль супроводжується перенесенням звукової енергії у відповідному напрямку.

Інтенсивністю звуку називають потужність на одиницю площі, передану в напрямку поширення звукових хвиль.

$$I = \frac{P}{S}. \quad (14.6)$$

Джерела звуку характеризуються звуковою потужністю і спрямованістю випромінювання. Звуковою потужністю джерела називають загальну кількість звукової енергії, що випромінювана джерелом звуку в навколишній простір за одиницю часу; одиниця виміру Вт [57].

Звукова потужність джерела у вільному звуковому полі визначається інтегруванням інтенсивності звуку в усіх напрямках від джерела. Поріг чутності наявний за інтенсивності звуку $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м².

Випромінювана джерелом звукова енергія розподіляється за частотами, тому при вирішенні акустичних завдань проектувальнику необхідно знати частотну характеристику звуку, що показує розподіл рівнів звукового тиску за частотами.

Спектр звуку може бути лінійчатим і суцільним. При суцільному (безперервному) спектрі джерела звуку вводиться поняття рівня спектра В, що становить рівень сили звуку в смузі частот (рис. 14.3), що дорівнює 1 Гц. Звуки, у яких рівень спектра В постійний на всіх частотах, називають *білим шумом* [13].

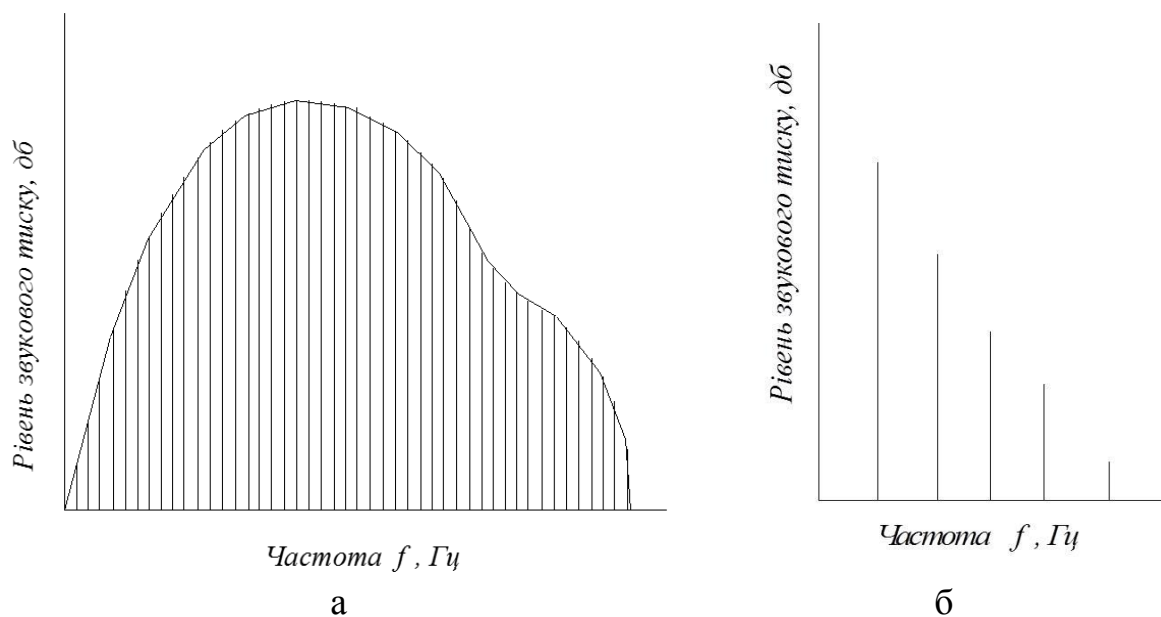


Рисунок 14.3 – Види звукового спектра: а – суцільний (безперервний); б – лінійчатий (перервний) [13]

Смуга частот характеризується граничними частотами (нижньою і верхньою), шириною і середньгеометричною частотою.

Швидкість звуку в повітрі визначається за формулою:

$$c = \sqrt{1,41 \cdot \frac{p}{\rho}}, \quad (14.7)$$

де p – атмосферний тиск, Па;

ρ – густина повітря, кг/м³;

1,41 – відношення теплоємності повітря при постійному тиску c_p та постійному об'ємі c_v .

Швидкість звуку в повітрі залежить від атмосферного тиску і густини повітря, відношення двох останніх залежать від температури повітря (14.8).

$$c = 20\sqrt{T}, \quad (14.8)$$

де T – абсолютна температура (за температури повітря 0 °С $T = 273$ °С)

Відповідно до цієї формули за температури повітря 0 °С швидкість звуку дорівнює 331,5 м/с, за температури 18 °С відповідно – 342 м/с [42].

Швидкість звуку залежить від матеріалу, у якому поширюється звук, від температури цього матеріалу і від частоти звуку. Для повітря справедлива формула:

$$C_L = 331,2 \cdot 0,6 \cdot T_{\Delta}, \quad (14.9)$$

де 331,2 – швидкість звуку (м/с) у повітрі при 0 °С;

T_{Δ} – різниця температури з 0 °С, фактично температура матеріалу.

Якщо прийняти середню швидкість звуку в повітрі 343 м/с, то можна отримати шкалу частот і залежних від них довжин хвиль (рис. 14.4). Спектр частот, які сприймаються вухом людини, величезний: від 16 Гц до 20 000 Гц.



Рисунок 14.4 – Інтервали частот в одну октаву і відповідні довжини звукових хвиль [57]

У будівельній акустиці параметри шуму оцінюються в октавних і трьохоктавних діапазонах. Октавою називається смуга частот, у якій

відношення верхньої f_1 і нижньої f_2 граничних частот. Співвідношення верхньої і нижньої граничних частот дорівнює двом октавам.

Частоти, наведені на рисунку 14.4, є стандартними для акустичних вимірювань та надають уявлення, що чим нижче частота, тим більше довжина хвилі [93].

Частота визначає висоту звукового тону. Одиниця частоти – число коливань в одну секунду – герц (Гц). Частотні діапазони звуку схематично подані на рисунку 14.5 [16].

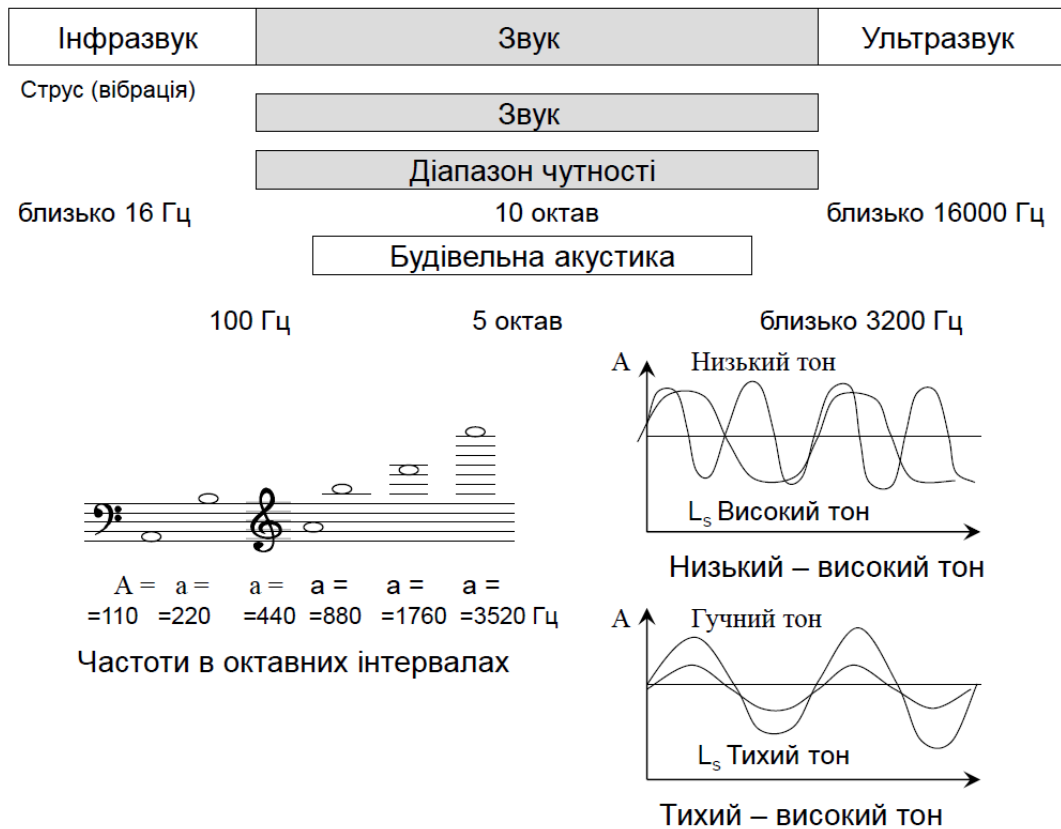


Рисунок 14.5 – Частотні діапазони звуку [16]

Звукові хвилі характеризуються довжиною хвилі, частотою коливання і швидкістю їхнього поширення. Частота звукових хвиль, сприйнятих нормальним вухом людини, лежить у межах від 20 Гц до 20 000 Гц. Звукові коливання з частотою менше 20 Гц мають назву – *інфразвук*, більше 20 000 Гц – *ультразвук*.

Згідно з теоремою Фур'є, будь-яке звукове коливання може бути розкладене на чисті тони.

Чистим тоном називають звуки, у яких коливання тиску є гармонійними, тобто виражаються у вигляді синусоїдальної функції часу.

Залежно від співвідношення довжини хвилі й рельєфу поверхні, відображення звуку може бути *дзеркальним* і *дифузним*. При розмірах

рельєфу поверхні, порівняних з $\frac{1}{4}$ довжини хвилі, звук відбивається дифузно (розсіюється), за менших – дзеркально. За дзеркального відображення звуку слухач може сприймати послідовно прямий і відбитий звуки. За різниці в годинах між ними менше $\frac{1}{18}$ – $\frac{1}{20}$ с відбитий звук сприймається як «затягування» основного, якщо різниця години більше, обидва звуки сприймаються роздільно, що називається явищем *луна*. Наявність або відсутність луни зручно перевіряється за різницею ходу прямих і відбитих звукових променів [57, 128].

Фізично звук становить хвильове коливання пружного середовища, а фізіологічно – визначається відчуттям, що виникає під час впливу звукових хвиль на орган слуху.

Суб'єктивними називають характеристики, що залежать від сприйняття людини. До них належать: *висота звуку*, *тембр* та *гучність*. Висота звуку залежить здебільшого від частоти основного тону, а тембр визначається спектральним складом звуку. Гучність звуку характеризує рівень слухового сприйняття. Вона пов'язана з інтенсивністю згідно з психофізичним законом Вебера – Фехнера. За цим законом під час збільшення інтенсивності звуку в геометричній прогресії (тобто в однакову кількість разів) його гучність зростає лише в арифметичній прогресії (тобто на однакову величину), тобто гучність звуку пропорційна логарифму його інтенсивності.

$$E = k \cdot \lg \left[\frac{I}{I_0} \right]. \quad (14.10)$$

Величина звукового тиску, сила звуку, а також звукова потужність джерел звуку змінюються в дуже великих межах.

Вухо людини не в змозі оцінювати абсолютні зміни звукового тиску або інтенсивності звуку. Воно оцінює відносні зміни цих величин. Водночас рівень відчуття за законом Вебера – Фехнера змінюється пропорційно логарифму фізичного впливу. Незважаючи на труднощі, пов'язані з використанням абсолютних значень цих величин у технічній акустиці, їх прийнято оцінювати у відносних логарифмічних одиницях – децибелах (дБ):

$$L = 10 \lg \left[\frac{I}{I_0} \right] = 10 \lg \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \lg \left[\frac{P}{P_0} \right]. \quad (14.12)$$

Кожний розподіл логарифмічної шкали відповідає зміні сили звуку, звукового тиску і потужності у визначену кількість разів [33].

Вухо людини має здатність чути звуки в достатньо великому діапазоні змін звукового тиску, а також диференціювати їх за частотами й інтенсивністю. Однак вухо має різну чутливість до звуків різної частоти. Суб'єктивна якість слухового відчуття називається *гучністю* [23].

Гучність виражається в белах (Б), якщо показник адиабати $k = 1$ і в децибелах (дБ), якщо $k = 10$. Ця одиниця є зручною, оскільки мінімальний приріст гучності, який сприймається вухом, приблизно дорівнює 1 дБ.

Гучність звуку залежить від звукового тиску, частоти і форми звукової хвилі, а також від тривалості дії звуку й умов його сприйняття. Наближена залежність зв'язана з відчуттям голосності із силою звуку, що впливає на людину, визначається законом Вебера – Фехнера. Відповідно до цього закону вухо людини оцінює не абсолютні, а відносні зміни інтенсивності зовнішнього роздратування [111].

При короткому імпульсі від джерела звуку – верхні зони стін (вище границі розташування звуку) – є поверхні, від яких до слухача звукова енергія приходить після багаторазових відображень.

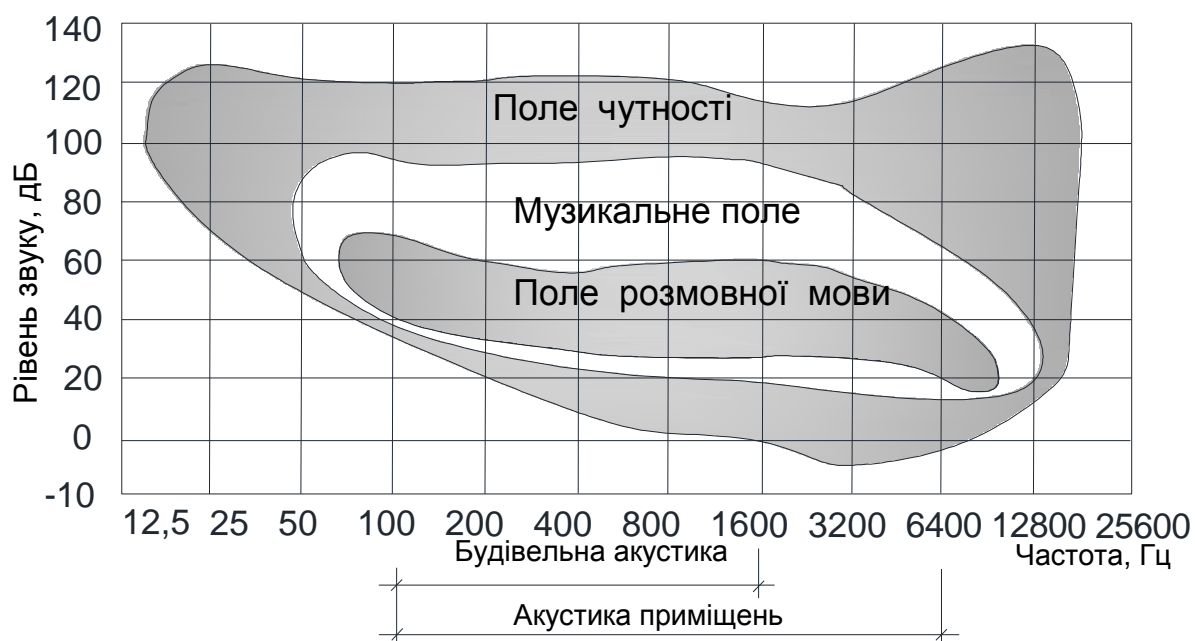


Рисунок 14.6 – Поле розмовної мови – поле музичне – поле чутності [111]

Отже, не початкова, а саме завершена частина процесу реверберації – визначає ступінь гучності приміщення.

Вухо людини здатне сприймати у вигляді звуку лише визначену за частотою та інтенсивністю область звукових коливань 20–2 000 Гц.

Здатність чути різна при сприйнятті мови, музики та інших звуків (рис. 14.6) [111]. Звукоізоляція огорож також може бути різною для різних частот звуку, тому норми проектування обмежують допустимі параметри

постійного шуму величинами рівнів звукового тиску L , Дб, які встановлені диференційовано для октавних смуг із середньгеометричними значеннями частот 63, 125, 250, 500, 1 000, 2 000, 4 000, 8 000 Гц [16].

Основними фізіологічними критеріями оцінки звуку є висота звуку і його гучність. *Висота звуку* – якість слухового відчуття, що визначає положення звуку в музичному ряді.

Для кількісної оцінки голосності застосовується метод суб'єктивного порівняння вимірюваного звуку з еталонним звуком визначеної частоти. За Міжнародною згодою за еталонний звук прийнятий синусоїдальний тон із частотою коливання 1 000 Гц у формі плоскої хвилі, крім того слухач має бути звернений особою до джерела еталонного тону [111].

Рівень звукового тиску не може характеризувати звук повністю, оскільки звуки різної частоти за однакового рівня звукового тиску можуть створювати різне відчуття гучності. Для характеристики гучності звуку у зв'язку з його частотою існує одиниця – фон. Вуху людини володіє найбільшою чутливістю на середніх і високих частотах і найменшою – на низьких. Це зрозуміло з графіків, які називаються кривими рівної гучності (рис. 14.7). У разі зниження частоти гучність менше, у разі підвищення (після 2 000 Гц) – більше. За частоти 1 000 Гц децибелі відповідають фонам.

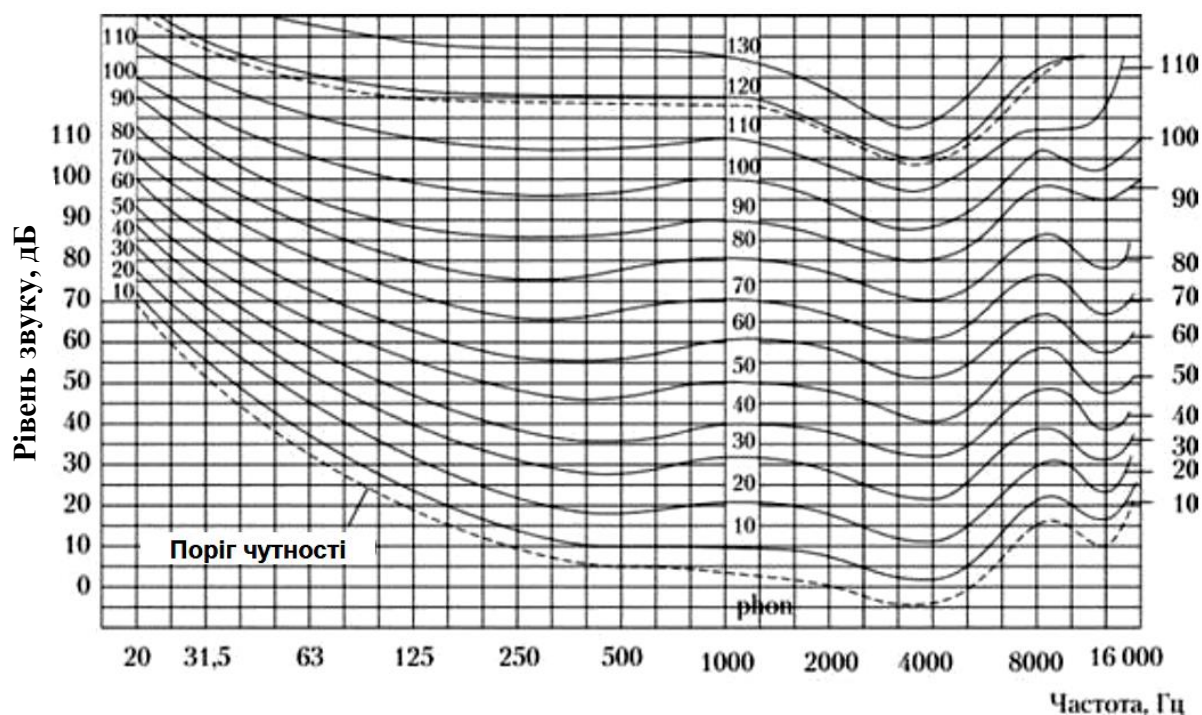


Рисунок 14.7 – Криві однакової гучності [57]

Із характеристики кривих однакових рівнів гучності можна дійти таких висновків:

- чутливість вуха людини зі збільшенням частоти коливань звуку підвищується;
- рівень звукового тиску і рівень голосності в області частот від 500 Гц до 2 000 Гц чисельно однакові [16].

Перевага рівня звукового тиску полягає в тому, що зміна його на 1 дБ приблизно відповідає мінімальному, ледь відчутної людиною зміні гучності звуку. Для складного звуку, що складається з багатьох чистих тонів, вимірюються рівні звукового тиску окремих чистих тонів або сумарний звук рівня звукового тиску в деякій смузі частот вимірювання. Рівні звукового тиску деяких джерел звуку наведені у таблиці 14.1 [111].

Таблиця 14.1 – Рівні звукового тиску, створені різними джерелами шуму

Джерела звуку	Рівень звукового тиску, дБ	Примітка
Розмова:		
– пошепки	40	На відстані 0,3 м
– звичайна, середньої гучності	60	На відстані 1 м
– голосна	75	На відстані 1 м
Механічний цех	90	На відстані 1 м
Ткацький цех	102 – 105	У проходах між верстатами
Авіаційні двигуни:		
– поршневі	120 – 130	На відстані 3 м
– реактивні	140 і більше	На відстані 3 м до вихлопу

Повсякденний досвід показує, що чутність мови і музики зазвичай ускладнюється за наявності сторонніх звуків. Вони істотно змінюють поріг чутності; останній визначається мінімальним рівнем звукового тиску, за якого звук певної частоти чує слухач.

Після припинення звучання звук зникає не миттєво. Звукові хвилі в приміщенні можуть багаторазово, відбиватися від стін і предметів інтер'єру, як би блукаючи по залу і поступово затухаючи. При кожному відображенні частина енергії звуку зникає, що супроводжується спадом у приміщенні рівня звукового тиску. Процес поступового завмирання звуку в приміщенні після припинення дії джерела звучання називають *реверберацією*. Цей процес характеризується трьома основними періодами:

I. Наростання щільності звукової енергії внаслідок підсумовування перших віддзеркалень енергії з первинними.

II. Період динамічної рівноваги між приростом звукової енергії і звукопоглинанням.

III. Період спаду, унаслідок ослаблення звукової енергії за багаторазових відображень.

Процес загасання звукової енергії, що спостерігається після припинення звучання джерела, називають *ревербераційним*, а час загасання – *часом реверберації*. Час реверберації визначає якість приміщення з погляду акустики. За дуже великого часу реверберації звуки «бродять» по залу, накладаючись один на одного і заглушаючи джерело основного звуку, зал стає занадто гучним [16].

Час реверберації, за який рівень тиску звуку знижується на 60 дБ, є найбільш важливим акустичним параметром приміщення. Чисельний показник цього параметра найчастіше знаходять за допомогою формули У. Себіна, американського фізика, засновника вивчення архітектурної акустики.

Розрахунок часу реверберації починається з розрахунку загальної еквівалентної площі звукопоглинання (ЕПЗ).

$$T = 0,1 \cdot 64 \frac{V}{A}, \quad (14.14)$$

де T – час реверберації;

V – загальний обсяг приміщення;

A – загальне поглинання звуку, що отримується з суми площ всіх поверхонь, помножених на коефіцієнт звукопоглинання.

$$A = a_1 \cdot S_1 + a_2 \cdot S_2 + \dots + a_n \cdot S_n, \quad (14.15)$$

де a_l – коефіцієнт звукопоглинання;

S_l – площа поверхні.

Чим нижче частоти звукової програми, тим більша ймовірність того, що приміщення є резонатором, і процес реверберації в такій ситуації є процесом загасання власних частот коливання поверхонь. У прямокутному приміщенні власні частоти можна розрахувати за формулою:

$$f_{k,m,n} = \frac{c}{2} \sqrt{\left[\frac{k}{L}\right]^2 + \left[\frac{m}{B}\right]^2 + \left[\frac{n}{H}\right]^2}, \quad (14.16)$$

де c – швидкість руху звукових хвиль;

L , B і H – параметри, що визначають габарити залу. Під час зустрічі з поверхнею звукові хвилі частково від неї відбиваються, утрачаючи водночас частину енергії, яка переноситься. Цей процес характеризується поглинанням поверхнею звукової енергії, називається **звукопоглинанням**. Структура, фактура, конструкція обробки є тим, від чого залежить здатність поверхні поглинати звукову енергію [16].

Коефіцієнт звукопоглинання α – відношення енергії, поглиненою поверхнею, до енергії, що падає на поверхню.

$$\alpha = \frac{E_n \cdot E_c}{E_n} . \quad (14.17)$$

Коефіцієнт поглинання залежить від частоти коливань звуку і від кута падіння на поверхню звукових хвиль.

Середній рівень звукового тиску в залах складає близько 60 Дб. Зручно ввести стандартний час реверберації, протягом якого рівень звукового тиску стандартного тону (500 Гц) зменшується на 60 Дб [111].

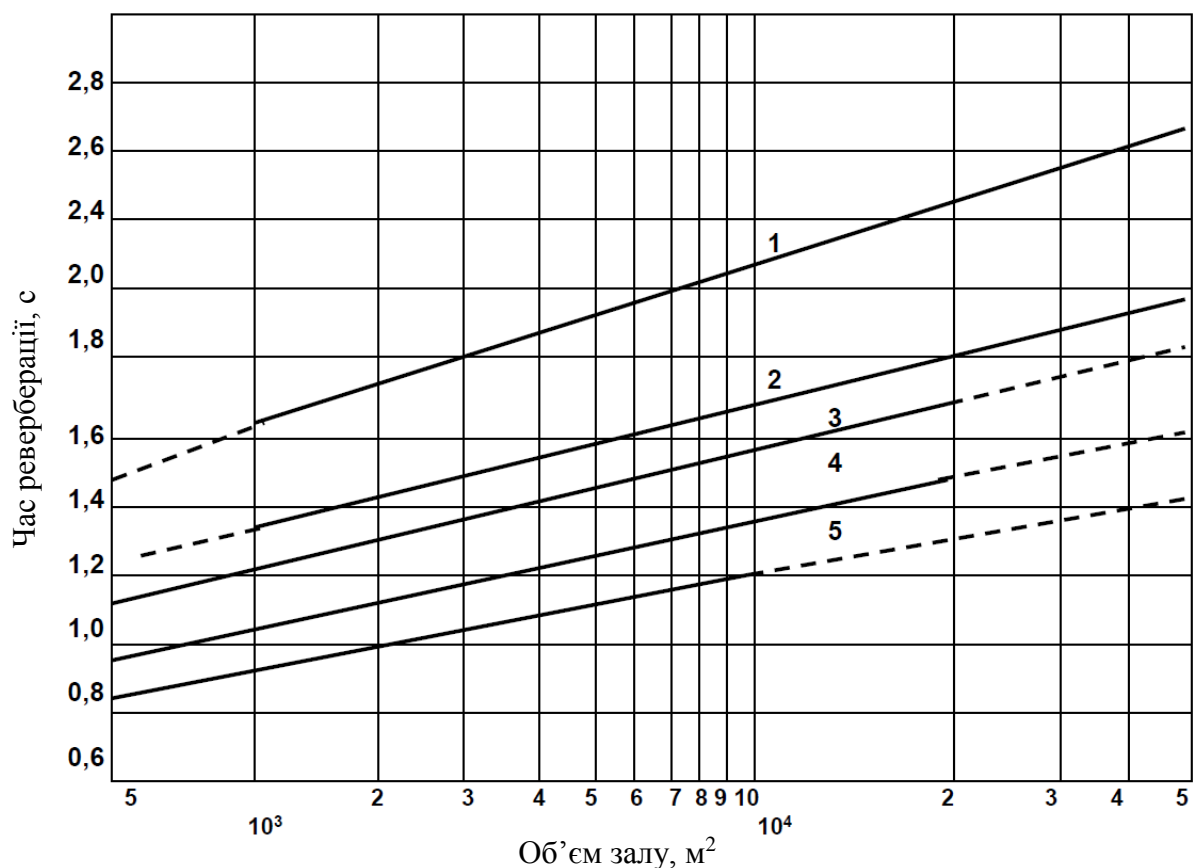


Рисунок 14.8 – Графік оптимального часу реверберації для залів різного призначення: 1 – органна музика; 2 – симфонічна музика; 3 – опера; 4 – багатоцільові приміщення; 5 – зали для лекцій і засідань [57]

Розрахунок часу реверберації наводиться для трьох частот 125 Гц, 500 Гц і 2000 Гц. Оптимальний час реверберації залежить від довжини пробігів відбитих звуків – від об'єму приміщення та його призначення (рис. 14.8).

14.3 Єдність архітектурних і акустичних рішень

Теорія архітектурної акустики розвивається в двох основних напрямках: хвильова акустика, строго вивчає суто фізичні процеси в замкнутому просторі з огляду на хвильову природу звуку; геометрична і статистична акустика, заснована на низці припущень і розглядає звукове поле у приміщенні як результат послідовного приходу в будь-яку його точку багаторазових відображень звуку. Хвильова акустика розглядає складні звукові процеси у приміщенні у вигляді законів про власні і вимушені коливання повітря в замкнутому просторі у заданих граничних умовах. Вирішення більшості інженерних завдань засновано на висновках геометричної і статистичної акустики. Незважаючи на низку істотних спрощень під час розгляду фізичних явищ, у цьому розділі теорії розроблено метод аналізу звукового поля і виведені зручні формули, достатньо точні для вирішення практичних завдань [52].

Геометрична акустика оперує поняттям звукового променя – лінії, під якою умовно сприймається напрям поширення звукової енергії. Користуючись законами оптики, геометрична акустика дозволяє побудувати на кресленнях приміщення схему поширення звукових променів від джерела після відбиття звуків від різних поверхонь; подати аналіз формування звукового поля; визначити фокусування та звукорозсіювальні властивості поверхонь; дослідити можливість виникнення луни та вплив форми приміщення на розподіл у ньому відбитої звукової енергії [52].

Статистична акустика користується методом середньостатистичного підрахунку відбитої звукової енергії в будь-якій точці об'єму приміщення.

В основі такого методу лежить припущення, що звукова енергія поширюється променями; суворий облік хвильових явищ відсутній. Приймається, що в будь-який момент часу звукова енергія розподіляється по всьому приміщенню дифузно та імовірний будь-який можливий напрямок поширення відбитої енергії у подібному випадку. У статистичній акустиці введено порівняно прості поняття середньої довжини пробігу звукової хвилі й середнього коефіцієнта поглинання; виведений основний закон загасання звукової енергії у приміщенні. На

підставі цього закону отримано низку формул, що пов'язують акустичні і геометричні параметри приміщення [52].

Сучасна архітектурна акустика має в своєму розпорядженні необхідні методи й апаратуру для глибоких досліджень усіх основних акустичних характеристик звукового поля в приміщенні: часу реверберації та його частотної залежності; структури відображень звуку, послідовно надходять у задану точку приміщення; ступеня дифузності звукового поля, критеріїв, що характеризують розбірливість мови в приміщеннях тощо. Крім того, досліджується вплив на акустичні характеристики приміщення його геометричної форми та звукових властивостей матеріалів і конструкцій і їхнє розташування [7, 45, 46].

Геометрична акустика. Акустичний комфорт приміщень

Висота резонансних частот залежить від висоти власних частот. На певній частоті, так званої – *критичної*, багато резонансних нюансів вже не помітно завдяки їхньому зливанню. Правила геометричної акустики починають працювати, коли певна частота перевищена.

Час реверберації є необхідним, але іноді недостатнім критерієм оцінки якості звучання. У великих приміщеннях якість звучання оцінюється не тільки часом реверберації, але і *структурою ранніх відбиттів* (передбачається формою і пластичною обробкою інтер'єру) [66].

Аналіз ранніх відбиттів заснований на застосуванні способів геометричної акустики і спирається на такі визначення: фронт звукової хвилі і метод звукового променя.

Фронт звукової хвилі – фронт, що рухається в просторі хвилі – безперервна поверхня, усі точки якої в певний момент часу мають однакову фазу коливання. Напрямок поширення хвилі розповсюджується перпендикулярно фронту звукової хвилі у всіх точках.

Звукові відбиття спрямовані: звукові промені відбивають спрямовано – подібно закону відображення світла від дзеркальної поверхні: кут падіння дорівнює куту відображення, що падає, та відбиті промені лежать в одній площині перпендикулярно поверхні, що відбиває.

Розсіяні відбиття виникають, коли розміри архітектурних членувань мало відрізняються від довжин звукових хвиль і у разі чергування в приміщенні звуковбирних поверхонь.

Структура ранніх відбиттів впливає на якість музики і на розбірливість мови. Необхідна структура ранніх відбиттів у залах забезпечується різного виду звуковідбивними екранами і пластиком

обробки інтер'єрів, що розташовані на шляху поширення звукових хвиль, від них відбивається звукова енергія [57].

Теорія геометричної акустики найповніше враховує форму приміщення. Розроблені на її основі методи здебільшого використовуються для аналізу розподілу перших відображень від поверхонь приміщення. Останнім часом геометрична акустика (метод уявних джерел і метод простежування звукових променів) у поєднанні з обчислювальною технікою застосовується також для розрахунку низки акустичних характеристик приміщення, зокрема його імпульсного відгуку [52].

Щоб створити приміщення, у якому звучання буде найвищої якості, потрібно використовувати прийоми, засновані на знанні правил архітектурно-будівельної акустики, на практичному позитивному досвіді в цій сфері. Правила ці засновані на вивченні законів поширення звукових хвиль у закритому приміщенні, на законах відбиття і поглинання звуку різними видами поверхні, оскільки відбиті хвилі значно впливають на якість звучання музики й мови. Важливе значення також має конкретний вибір матеріалів, передбачуваних до використання в кожному конкретному випадку [16].

Акустичний комфорт приміщення складається з трьох складових:

- висока розбірливість та звучання мови;
- мінімальний шумовий фон;
- достатній ступінь звукоізоляції.

Завдання проєктувальників і будівельників цілком конкретне: провести такий розрахунок акустики, щоб корисні звуки підкреслювалися і акцентувались, а сторонні, небажані, усувалися до рівня, що не порушує комфорт сприйняття [16].

Геометрична (променева) теорія акустичних процесів у приміщеннях заснована на законах геометричної оптики. Рух звукових хвиль розглядають подібно до руху світлових променів. Відповідно до законів геометричної оптики під час відбиття від дзеркальних поверхонь кут відбиття дорівнює куту падіння, і падаючий і відбитий промені лежать в одній площині (рис. 14.9). Це справедливо, якщо розміри відбитих поверхонь у багато разів більше довжини хвилі, і навпаки, розміри нерівностей поверхонь набагато менше довжини хвилі [57].

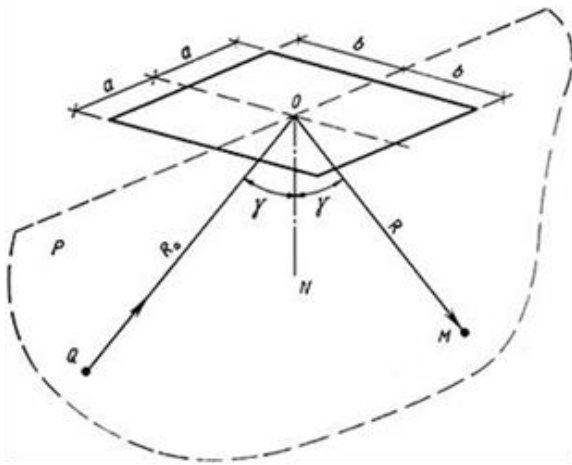


Рисунок 14.9 – Схема допустимості променевих відбиттів [57]

За певних умов можна замість звукових хвиль розглядати звукові промені, у напрямку яких поширюються ці хвилі. Поширення таких променів аналогічно поширенню світлових променів у геометричній оптиці, і побудова геометричних (променевих) відображень широко застосовується в архітектурній акустиці:

– падаючий і відбитий від будь-якої точки поверхні промінь утворює рівні кути (кут падіння і кут відбиття) із нормаллю до відбитої поверхні в цій точці;

– падаючий і відбитий промені лежать спільно з нормаллю в одній площині (променева площина).

Оцінка форми і розмірів залів, а також окремих поверхонь з акустичного огляду полягає в аналізі звукового поля на основі принципів геометричної акустики, тобто в розгляді поширення прямих і відбитих звукових променів і побудові так званого «променевого ескізу» [52].

Допустимість застосування променевих відбиттів залежить від: довжини звукової хвилі; розмірів поверхні, що відбиває, і її розташування стосовно джерела звуку і слухача.

Поверхні різної геометричної форми по-різному відбивають звук. Отже, аналіз геометричних форм залів зводиться до виявлення в них сприятливих і несприятливих сполучень геометричної форми і елементів, що викликають утворення мертвих зон, фокусних точок та інших акустичних недоліків (рис. 14.10) [52].

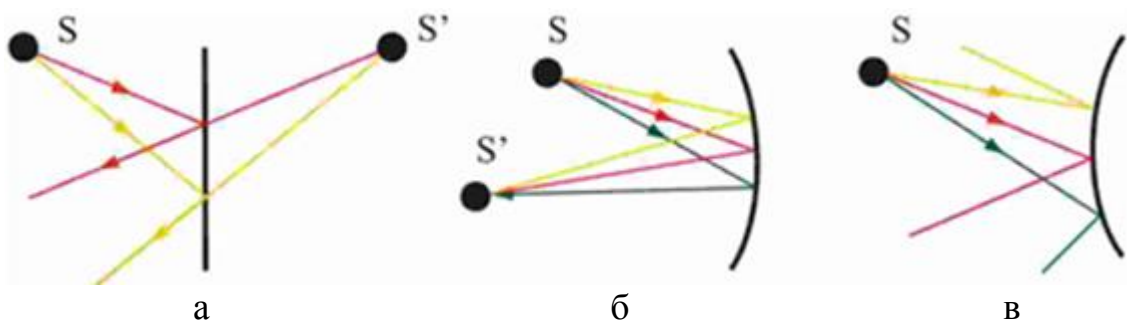


Рисунок 14.10 – Схема віддзеркалення звуку від поверхні різної форми: а – пряма; б – угнута; в – випукла [52]

Під час побудови геометричних відбиттів від площини варто використовувати зручний прийом (рис. 14.11, а), де використовується уявне джерело Q_1 , симетричне з діючим точковим джерелом Q відносно площини, що відбиває, і знаходиться з іншого боку. Для побудови уявного джерела потрібно опустити з точки Q перпендикуляр QA на площину, що відбиває, і на продовженні його відкласти відрізок AQ_1 , що дорівнює відрізку QA . Прямі, проведені з уявного джерела Q_1 , після перетину ними площини, що відбиває, задовольняють умові рівності кутів падіння і відображення, тобто є питомими відбитими променями, створюваними дійсним джерелом Q .

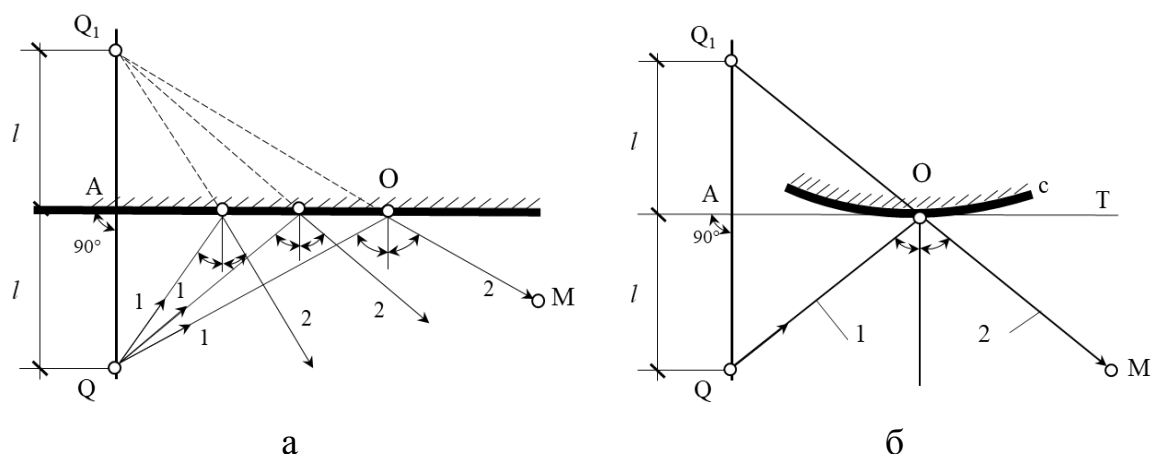


Рисунок 14.11 – Побудова геометричних відображень звукових променів за допомогою уявного джерела: а – відображення від площини; б – відображення від кривої поверхні; Q – джерело звуку; Q_1 – уявне джерело звуку; 1 – прямі промені, 2 – відбиті звукові промені [57]

Метод уявних джерел застосовується під час побудови відбиттів від кривих поверхонь. Якщо потрібно знайти відбиття від будь-якої точки O кривої поверхні c (див. рис. 14.11, б) при заданому положенні джерела Q , то варто побудувати в точці O площину дотику T відносно поверхні. Уявним джерелом в цьому випадку є точка Q_1 , яка є симетричною до джерела Q щодо дотичного до площини; продовження OM прямий Q_1O після перетину його з поверхнею є шуканим відбитим променем, де для кожної точки O відбивання доводиться знаходити уявне джерело Q_1 на відміну від раніше розглянутого випадку (див. рис. 14.11, а), у якій для відбиття від будь-якої її точки уявне джерело одне й те же саме (при заданому положенні джерела Q).

Сумарна довжина $QO + OM$ променів QO і OM , що дає довжину повного ходу відбитого звуку від джерела Q до деякої точки прийому M , дорівнює відстані Q_1M від уявного джерела Q_1 до точки M (див. рис. 14.11,

а, б). Водночас зрозуміло, що варто брати справжні довжини зазначених відрізків, а не їхні проекції. Якщо променева площина P (див. рис. 14.10) паралельна одній з площин проєкцій (вертикальної або горизонтальної), то кути падіння і відбиття проєктуються на цю площину без спотворення, і побудова відбитого променя виконується за допомогою описаних прийомів [52].

Під час відбиття від увігнутих поверхонь звукові промені сходяться в точці, яка називається «фокус» (рис. 14.12). Фокусування або концентрація звуків у залі є великим акустичним недоліком. Водночас у районі фокусу виникає зона підвищеної гучності, а інші ділянки позбавлені підсилювальних відбиттів («звукові ями») [16, 124].

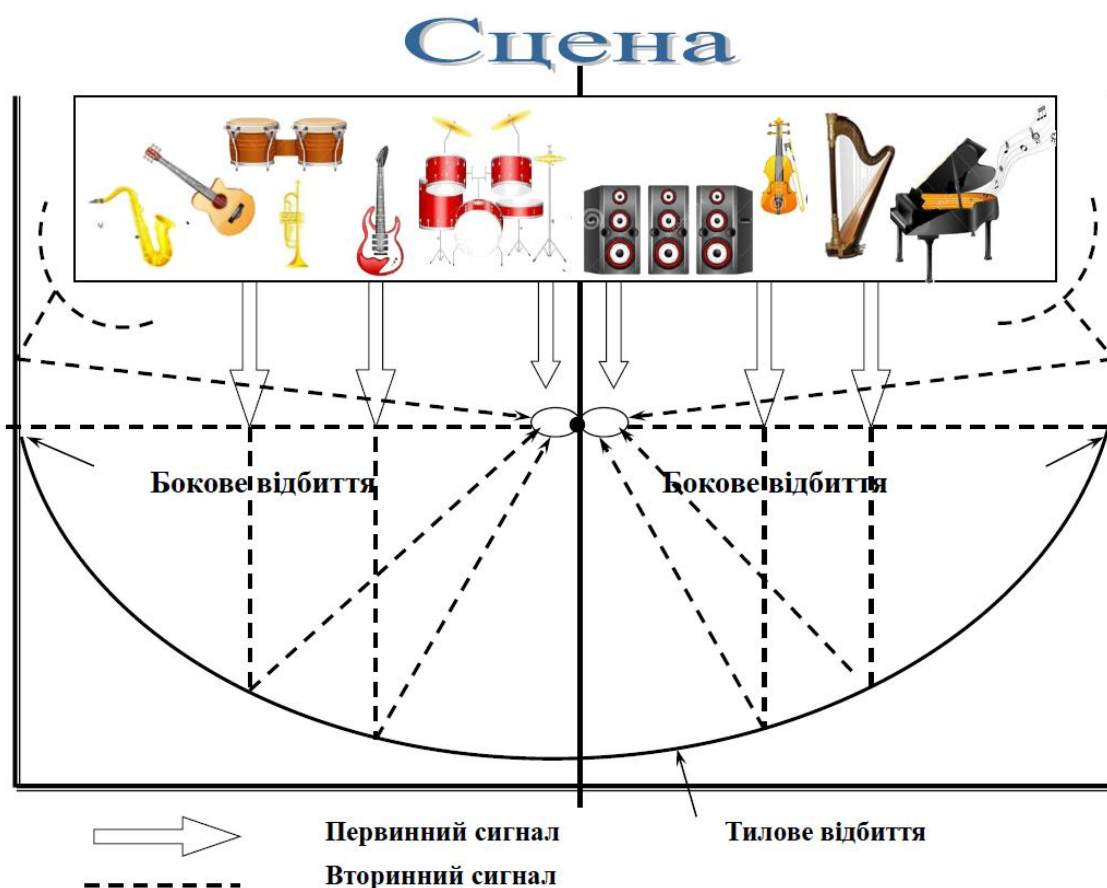


Рисунок 14.12 – Модель розповсюдження звуку в залах з увігнутими поверхнями [57]

Усунення цього недоліку під час проєктування залів забезпечується вибором належного радіуса кривизни R , за якого фокус не утворюється в районі розташування місць глядачів. Залишити форму поверхні без змін можна у разі застосування членування поверхні для розсіювання відбитих звуків – уникнення фокусування звуку або облицювати її звукопоглинальними матеріалами.

Місце знаходження фокусу, утвореного відбитими звуковими променями, визначається за формулою:

$$X = \frac{d \cdot R}{2d - R}, \quad (14.18),$$

де X – відстань від фокусу до поверхні, м;

d – відстань від джерела звуку до поверхні, м;

R – радіус кривизни поверхні, м.

Промінь AM , що проходить через фокус F та точку M (глядач у залі), є відбитим звуковим променем (рис. 14.13). Звукорозсіювальний ефект увігнутої криволінійної поверхні спостерігається за умови, якщо $R > 2d$. У цьому випадку $X < 0$ і фокус розташовується по інший бік поверхні.

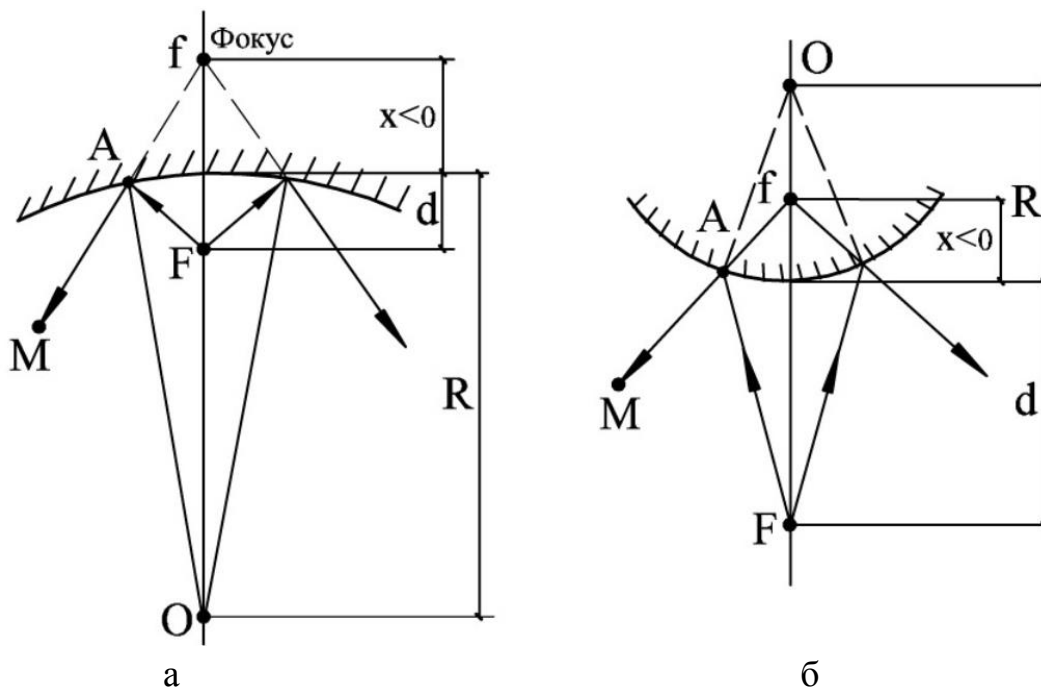


Рисунок 14.13 – Визначення місця знаходження фокусів під час відбиттів із різними радіусами кривизни: а – увігнутих поверхонь; б – випуклих поверхонь [57]

Побудова відбитих звукових променів від опуклих криволінійних поверхонь (див. рис. 14.12, 14.13) свідчить про звукорозсіювальні властивості цих поверхонь. Отже, на практиці цей вид пластичної обробки інтер'єру широко використовується для створення дифузного звукового поля.

Для усунення фокусів у зоні розташування глядачів у приміщеннях зі склепіннями або купольним перекриттям необхідно радіус кривизни перекриття вибирати в межах від полуторної до подвійної висоти приміщення [57].

Для створення залу з гарним звучанням потрібно виконати кілька обов'язкових вимог. По-перше, вирішити акустику приміщень потрібно ще на стадії проектування, адже вносити правки в акустичний розрахунок вже побудованого приміщення значно складніше, ніж здійснювати акустичні розрахунки на передпроектній стадії. По-друге, і це є найголовнішим, якість звуку насамперед залежить від геометричних параметрів приміщення, тому вибір форми залу є найважливішим етапом для досягнення мети – акустичного комфорту [16].

Контрольні запитання

1. У чому полягають основні завдання акустики?
2. Проаналізувати сутність хвильової теорії звуку.
3. Визначити основні фізичні та фізіологічні поняття звуку.
4. Проаналізувати основні принципи геометричної акустики.

РОЗДІЛ 15 АКУСТИКА ЗАКРИТИХ ТА ВІДКРИТИХ ПРОСТОРІВ

15.1 Основи акустичного проєктування залів для глядачів

Архітектурне проєктування громадських будівель, що мають у своєму складі лекційні та музичні зали, наразі досягло піку свого розвитку. Одним із важливих завдань, що стоять перед архітектором, є створення сприятливих акустичних властивостей залу, які можна забезпечити виконанням основних вимог архітектурно-будівельної акустики за розроблення об'ємно-планувального рішення інтер'єру [45, 46, 120].

Основними формотворними частинами залу є стіни і стеля, також значно на якість поширення звукових хвиль низької частоти впливають балкони, колони, пілястри, великі ліпні прикраси, люстри, розташовані в просторі залу, які створюють дифузні звукові поля. Дифузне розсіювання звукової хвилі можна досягти тільки параметрами поверхні, у якій вертикальний і горизонтальний розмір дорівнює або перевищує довжину звукової хвилі у два метри [52].

Для формування дифузного звукового поля в приміщеннях залів варто дотримуватися таких пропорцій:

- довжина залу не повинна перевищувати його ширину більш ніж удвічі;
- ширина може бути більше висоти максимально в два рази;
- уникати поверхонь великої протяжності, розташованих паралельно (вони утворюють дуже неприємний для слуху ефект «пурхаюча луна») [57].

15.1.1 Основні архітектурно-будівельні заходи і засоби для збереження природності звучання

Розрахунок акустики приміщення здійснюється не тільки на основі математичних формул. Час реверберації – найважливіша характеристика для акустичного розрахунку, але наведена формула (14.14) ефективна для використання тільки при дифузному звуковому полі, тобто за умови виникнення можливих рівномірних напрямів руху звуку, яке можливо в залах квадратної, прямокутної і тому подібних форм. У приміщеннях «коридорного» типу у звукових хвиль є обмеження для руху, тому розрахунок акустики буде іншим. Під час проєктування великих приміщень розрахунок часу реверберації може дати результат, який значно відрізняється від реального, і головне – ця величина не дозволяє повністю

оцінити акустичну якість приміщення. У такій оцінці головну роль відіграють ранні відбиття. Правильне тимчасове співвідношення початкових відбиттів забезпечує високу якість звучання навіть тоді, коли час реверберації відрізняється від оптимального [52, 96].

Об'єм залу визначається пропорціями залу: відношення довжини залу l до середньої ширини b оптимально:

$$1,3 \leq \frac{l}{b} \leq 1,6. \quad (15.1)$$

У таких межах і відношення ширини залу b до середньої висоти h :

$$1,3 \leq \frac{b}{h} \leq 1,6. \quad (15.2)$$

Найоптимальнішою формою приміщення для комфортної акустики залів є трапеція з кутом розкриття бічних стін 5° – 12° .

Прямокутна форма з горизонтальною стелею допустима тільки для лекційних залів місткістю не більше 200 осіб [45, 46].

Час запізнювання перших відбиттів від стелі (за подовжньому розрізу) і стін (за планом) перевіряється за формулою (15.3):

$$t_z \leq \frac{(l_{\text{від}} - l_{\text{пр}}) \cdot 1000}{340} \cdot c, \quad (15.3),$$

де $l_{\text{від}} = (l_{\text{над}} + l_e)$ – довжина шляху відбитого звуку;

$l_{\text{над}}$ – довжина променю, падаючого на поверхню, що відбиває від джерела звуку;

l_e – довжина променю, що відбивається від поверхні звуку до розрахункової точки;

$l_{\text{пр}}$ – довжина шляху прямого звуку.

Точки обираються на початку, у середині і у кінці залу, за наявності балкона одна точка береться додатково на балконі.

Припустимий час запізнювання для мови 20–25 мс (мілісекунд), для музики – 30–35 мс, для багатофункціональних залів – 25–30 мс.

Під час побудови поздовжнього розрізу залу варто враховувати, що підйом підлоги повинен складати 12–14 см на ряд у партері (крок рядів мінімум 90 см), на балконі підйом 25–30 см на ряд.

Пряма передача звуку забезпечується достатнім нахилом підлоги залу і відсутністю перешкод на шляху поширення звуків від джерела до слухачів (наприклад, колон). Радіус дії прямого звуку становить 8–9 м для мови і 10–12 м для музики. У цій зоні посилення прямого звуку за допомогою відбиттів не потрібно. У зв'язку з цим у зону радіусу прямого звуку не повинно потрапляти жодного першого відбиття. На інших місцях

інтенсивні перші відбиття повинні перекривати всю зону місць для глядачів [42].

Позитивна чутність у залах виникає у разі надходження прямої звукової енергії і потрапляння звуків в зону місць для глядачів.

У залах з відносно невеликою висотою і шириною завжди є небезпека приходу перших відбиттів від стелі і стін з великим запізненням у перші ряди місць для глядачів, що створює нерозбірливість звуків. Для виправлення цього явища на стелі і стінах у передпортальній зоні варто виконувати спеціальні звуковідбивні конструкції, завдання яких скеровувати відбитий звук у глибину залу (рис. 15.1) [16, 119].

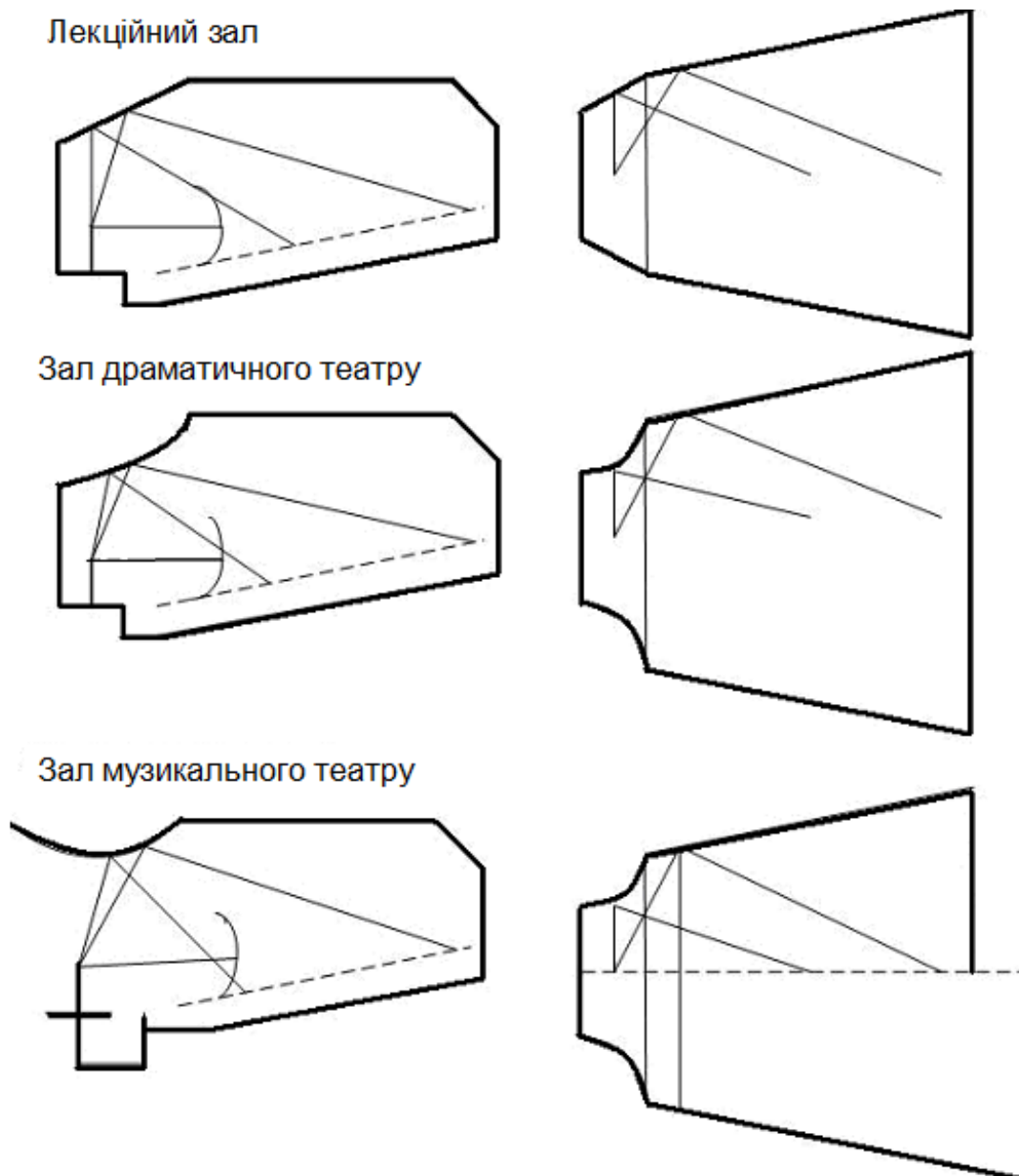


Рисунок 15.1 – Перші відбиття від стелі, стін і відбивачів [57]

Найсильніші відбиття є першими, які глядач може сприймати окремо, вони можуть бути чутні найчіткіше. Наступні відбиття, звані «ревербераційним хвостом», вже відчутно не виділяються, а перетворюються на подобу шуму.

У разі перевищення критичного інтервалу часу відбитий звук сприймається вухом як луна – процес, коли між відчуттям прямого і відбитого звуку створюється пауза.

У закритих приміщеннях луна створюється у разі відбиття звуків від поверхонь стелі й стін, у приміщеннях великих розмірів вона виникає у випадках, коли застосовується обробка з високим коефіцієнтом звукового відбиття (мармур).

Луна виникає у прямокутному приміщенні з обробкою мармуром або іншим щільним матеріалом. Різкий сигнал породжує послідовно серію відзвуків, що надходять у точку, з якої надійшов сигнал через визначений інтервал часу.

Заходи щодо усунення луни:

- пристрій скошених стелі й стін у частині залу, що прилягають до стіни;
- застосування підвісних звуковбиральних екранів, розташованих над естрадою (сценою) бо поблизу неї;
- партер або амфітеатр розташовувати під кутом від 15° .

У разі примикання задньої стіни залу до стелі під кутом 90° може виникнути так зване театральне відлуння – відбиття звуку від стелі і стіни в напрямку до джерела звуку, що надходить із великим запізненням. Для усунення цього неприємного явища необхідно передбачати похилу частину стелі біля задньої стіни або похилу задню стіну залу (рис. 15.2) [42].

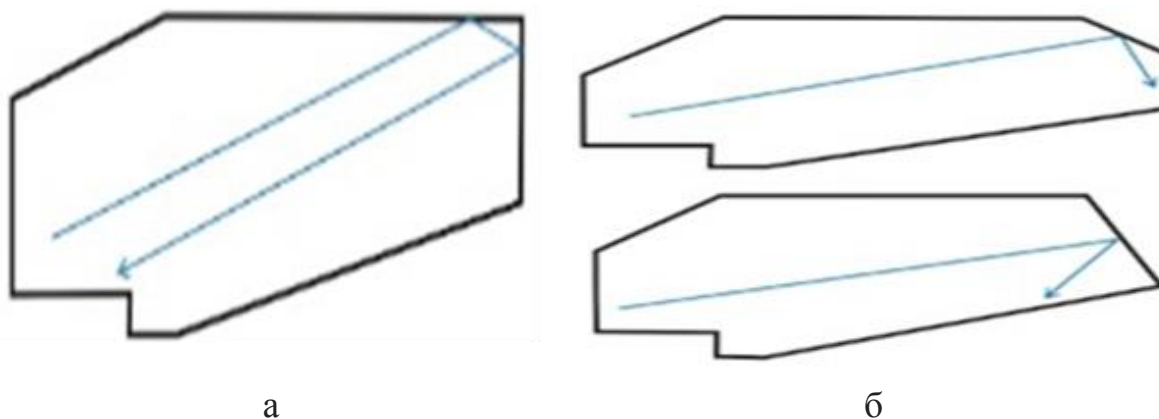


Рисунок 15.2 – Конструкція стелі або задньої стіни залу: а – театральна луна; б – театральна луна відсутня [42]

Результуючий ефект сприйняття звуку в приміщенні, з погляду його розбірливості, залежить від величини відносного впливу на слухача корисною і «марною» частин звукової енергії. До корисної звукової енергії зараховують енергію прямого звуку і перших його корисних відбитків (час запізнювання до 20 мілісекунд); до «марної» – уся інша звукова енергія; і «марною» вона названа умовно, тому що фактично вона становить ревербувальний фон у приміщенні [52].

Для лекційних залів і залів драматичних театрів розбірливість мови на місцях глядачів має найбільш важливе значення.

Коефіцієнт розбірливості мови K_p визначається з виразу за формулою:

$$K_p = \frac{A}{16\pi(1-\alpha^2)} \cdot \left[\frac{1}{r_0^2} + \frac{1-\alpha_1}{r_1^2} + \frac{1-\alpha_2}{r_2^2} + \dots + \frac{1-\alpha_n}{r_n^2} \right], \quad (15.4),$$

де A – еквівалентна площа поглинання в залі в діапазоні 500–2 000 Гц, м² (береться з таблиці розрахунку часу реверберації);

α – середній коефіцієнт звукопоглинання;

r_0 – відстань між джерелом звуку і розглянутою точкою, м;

$r_1, r_2 \dots r_n$ – довжина шляху перших відбиттів від джерела звуку до розглянутої точки, які прийшли протягом 20 мілісекунд, ($r_1 \dots r_n = l_{отр}$), м;

$\alpha_1, \alpha_2, \dots \alpha_n$ – коефіцієнти звукопоглинання поверхонь, від яких прийшли перші корисні відбиття.

Мінімальною величиною K_p вважається 0,2, що відповідає 80 % артикуляції, тобто глядачі мають правильно чути 80 % вимовлених звуків [52].

Критерієм акустичної якості мови (чутності і розбірливості) є *складова артикуляція*, яка залежить від рівня гучності мови, часу реверберації, рівня шуму в навколишньому просторі (шумове тло), форми приміщення.

За відсутності реверберації на відкритому повітрі, в умовах тиші, за нормального рівня звуку мови на відстані 1 м від оратора, у результаті багаторазових дослідів, Г. Кнудсен одержав артикуляцію на рівні 96 % та розробив формулу:

$$A = 0,96 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (15.5),$$

де K_1 – коефіцієнт, що враховує рівень гучності звуку;

K_2 – коефіцієнт, що враховує час реверберації;

K_3 – коефіцієнт, що враховує шумове тло в приміщенні;

K_4 – коефіцієнт, що враховує форму приміщення (у прямокутних і секторальних приміщеннях при забезпеченні дифузності звукового поля

$K_4 = 1$; у великих приміщеннях за наявності увігнутих стін і стелі $K_4 = 0,9$, у малих приміщеннях зі звуковідбивною обробкою $K_4 = 1,06$) [57].

Таблиця 15.1 – Коефіцієнти визначення артикуляції мови

Час реверберації, с	Величина коефіцієнтів			Процентна артикуляція	
	K_1	K_2	K_3	при $K_4 = 1,0$	при $K_4 = 1,06$
1,0	0,95	0,96	0,83	72,5	77
1,5	0,95	0,94	0,83	71	75
2,0	0,95	0,90	0,83	68	72
2,5	0,95	0,86	0,83	65	69

Дослідами встановлена оцінка артикуляції залежно від кількості правильно зрозумілих голосних.

Розбірливість буває:

- відмінна – 96 % правильно сприйманих складів слухачем;
- гарна – 96–85 %;
- задовільна – 85–75 %;
- важкорозбірлива – 76–65 %;
- неприпустима – 65 %, і нижче.

Якщо прийняти рівень гучності мови 50 дБ, а шумове тло – 35 дБ, то складається спеціальна таблиця значень K [7, 57].

Акустична якість залів для глядачів не можна оцінювати тільки фізичними показниками, необхідно ураховувати сукупність естетичного сприйняття звучання у приміщеннях з їхніми фізичними й архітектурними характеристиками.

Побудова геометричних відображень дозволяє проаналізувати профіль окремих поверхонь, а тим самим форму залів загалом.

Архітектурне рішення профілю стелі залу нараховує безліч варіантів – від простих геометричних елементів до складних радіальних форм, сполучених між собою. У залах, де глядачі повинні сприймати не тільки музику оркестру, а й голос співака (оперні театри), одним із головних завдань є наявність козирка або розсіювача стелі над оркестровою ямою із урахуванням форми цих виробів. Оскільки звукова енергія голосу співака, відбита від поверхні козирка, повинна першою досягти місць для глядачів, то розсіювальну поверхню над оркестровою ямою варто виконувати з частковим розкриттям для відбиття (спрямування) звуків на слухача [52].

У драматичних театрах козирок випуклої форми забезпечує структуру ранніх відбиттів за будь-якого положення джерела звуку, на відміну від козирка плоскої або увігнутої форми (рис. 15.3). Стеля основної

частини залу повинна направляти звукові хвилі до глядача, а тому найбільш функціонально буде вирішити стелю похило.

В окремих випадках форма стелі може бути вирішена дрібно. У цьому випадку сегменти стелі, розташовані під різним кутом, також працюють як додаткові відображають площині.

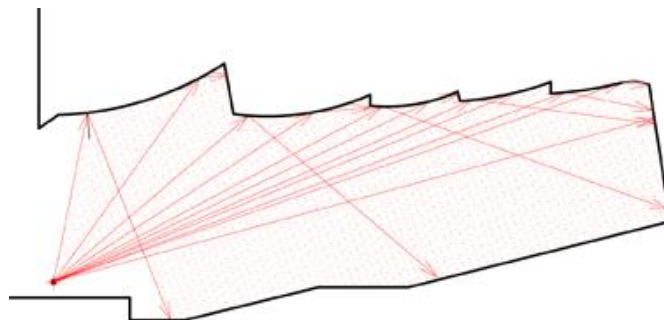


Рисунок 15.3 – Розріз залу драматичного театру [57]

Для того щоб отримати ефективне відбиття в такому невеликому просторі, шириною 20 м на першому поверсі, були побудовані провисаючі стіни бічних крил (рис. 15.4).

Для отримання ранніх відбиттів у залі бічні стінки були нахилені приблизно на вісім градусів (рис. 15.4).

Акустичне рішення знову проєктованого або залу, що реконструюється, залежить від його призначення і місткості (табл. 15.2). Однак арсенал методів, використовуваних під час акустичного проєктування, є загальним для залів різного профілю. У цей арсенал зазвичай входять вимоги до основних архітектурно-будівельних параметрів залу (табл. 15.2), а також розрахунки часу реверберації і геометричних відбиттів. Доповненням розрахункових методів, а часто і основним засобом акустичного рішення залу є застосування техніки моделювання. За допомогою всіх цих засобів вибираються і коригуються об'єм залу, його форма, а також абрис і оздоблення внутрішніх поверхонь. Незалежно від призначення залу в ньому мають бути забезпечені достатньо низький рівень шуму, відсутність луни і тембрових спотворень [57].

Основні архітектурно-будівельні параметри залу. Розміри залу залежні від його місткості і призначення й повинні задовольняти відповідним нормам. За акустичних міркувань відношення довжини залу до його середньої ширини варто приймати більше 1 і не більше 2. У тих саме межах рекомендується приймати і відношення середньої ширини залу до його середній висоті.

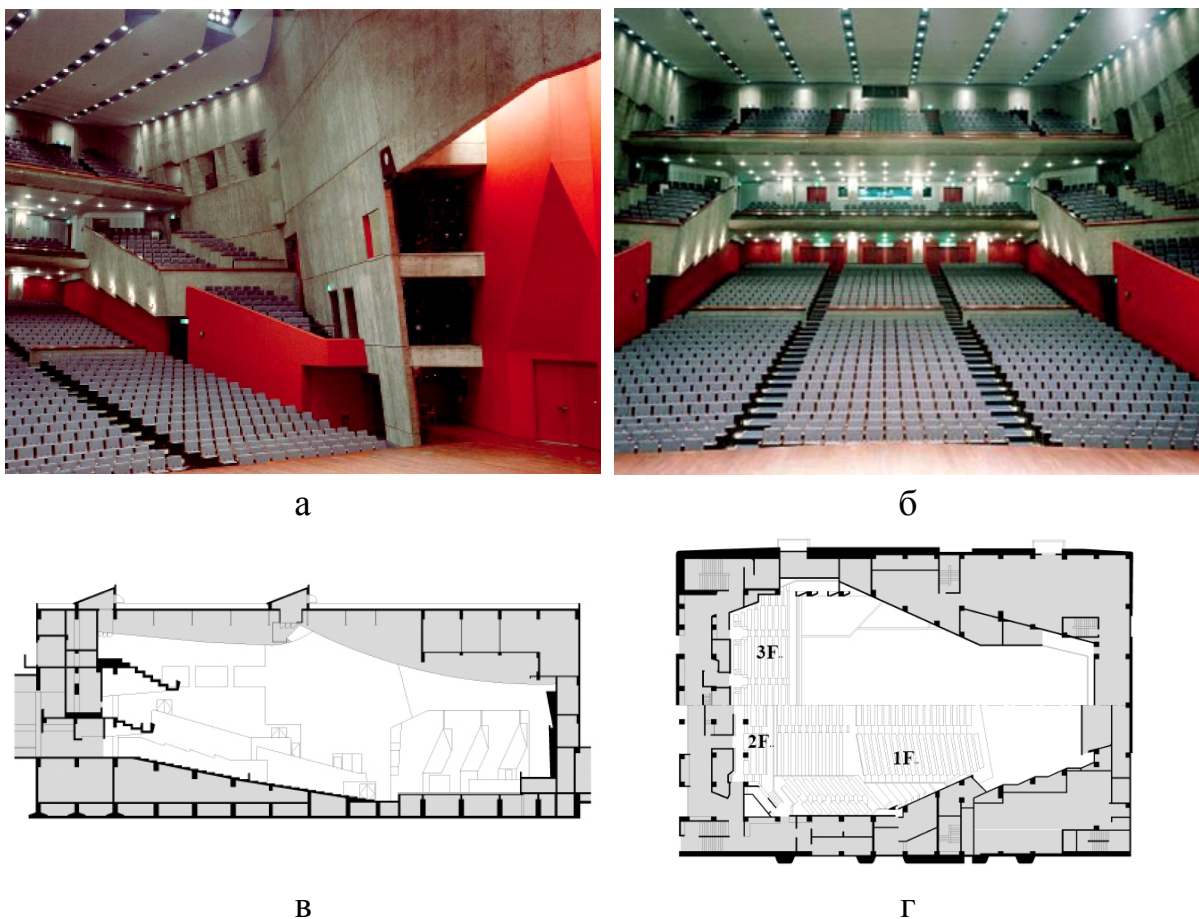


Рисунок 15.4 – Глядацький зал театру Кумамото, Японія; а, б – плани; в, г – розрізи [57]

Таблиця 15.2 – Рекомендовані параметри різних залів

Вид залу	Максимальна місткість, чол.	V питома вага, м ³ / чол.	Максимальна довжина (до авансцени), м
Лекційні та конференц-зали	400	4–5	24–25 (20)
Музично-драматичні театри (оперета)	1 200	5–7	28–26 (25)
Театри опери і балету	1 500	6–8	30–32 (30)
Концертні: камерні симфонічні	400 2 000	6–8 8–10	20–22 42–46
Зали для хорового співу та органної музики	2 000	10–12	42–46
Кінозали		4–5	45 (у літніх 60)
Багатоцільового призначення	500–1 000	4–6	30
Зали сучасної естрадної музики	2 500	4–6	48–50

Сучасні зали для глядачів за акустичними вимогами диференціюються у певні групи, що наведені у таблиці 15.3. [7].

Таблиця 15.3 – Акустична класифікація залів

Поділ залів на групи за акустичними вимогами	Сприйняття звуків глядачем	Засоби, що визначають якості звучання
1. Зали з природним (натуральним) звучанням музики, співу, мови. <i>Камерні оперні театри, музично-драматичні, зали філармонії, органні зали, культові споруди</i>	Безпосередньо йдуть від виконавців або інструментів	За архітектурно-будівельними і акустичними рішеннями залу
2. Зали, у яких музику, спів, мову глядач сприймає за допомогою звуковідтворювальної електроакустичної апаратури. <i>Кінотеатри, конференц-зали</i>	Велика увага приділяється якості відтворення, природності і виразності звучання	Архітектурне рішення залів і умови роботи акустичної апаратури. <i>Кінотеатри, конференц-зали</i>
3. Зали універсального призначення. <i>Зали музичного призначення: концертні зали, оперні театри, естрадні театри, музично-драматичні.</i> <i>Театральні зали для вистав різного жанру.</i> <i>Зали для проведення з'їздів, конгресів</i>	Зали, у яких поряд із природним звучанням передбачаються електроакустичні прилади для збагачення, а також для відтворення всякого роду звукових ефектів	Найбільша складність акустики залів з великою місткістю: повнота і ясність звучання, гарна артикуляція, виразність тембру, рівноважне звучання всіх музичних інструментів у різних зонах залу для глядачів

Забезпечення необхідних акустичних вимог стало обов'язковою складовою проєктів подібних приміщень. Будівництво великих залів багатоцільового призначення, що вміщають велику кількість глядачів, вплинуло на подальший розвиток питань архітектурної акустики [52].

15.1.2 Основні принципи акустичного проєктування концертних залів

Активне будівництво концертних залів як спеціалізованих будівель ведеться з кінця XIX століття, коли в усьому світі почалося створення філармоній, консерваторій і музичних шкіл. До того часу для публічного виконання музичних творів використовувалися приміщення іншого призначення: театральні зали, храми, палаци. Протягом XX століття був накопичений великий досвід будівництва концертних залів.

Архітектура концертних залів постійно змінювалася протягом ХХ і на початку ХХІ століття з урахуванням набутого досвіду. Сучасні концертні будівлі кардинально відрізняються за функціональною ознакою від аналогічних будівель, побудованих у 1970-ті роки [34].

Удосконалення концертних залів із метою поліпшення їхніх акустичних і зорових якостей безперервно триває і сучасні концертні зали будуються за принципово іншими типологічними схемами, ніж 30 років тому, але деякі принципи проєктування залів подібного типу залишилися незмінними, насамперед, це стосується класифікації та акустичного проєктування форми приміщення [116, 117].

Концертні зали поділяються на два типи:

1) *камерного типу* – невеликою місткістю (до 600–800 місць) і, відповідно, невеликих розмірів, а також невисоким діапазоном рівня сили звуку;

2) *зали для виступу солістів і симфонічних оркестрів з хором* (від 1 000–2 500 місць і більше) – діапазон сили звуку коливається у великих межах – від піанісимо соліста до фортисимо оркестру і хору.

Для забезпечення оптимального часу реверберації об'єм повітря в залі на одну людину повинний знаходитися в межах 7–10 м². Водночас чим менше місткість залу, тим більше має бути об'єм повітря на одного глядача. Необхідність дотримання цієї вимоги призводить до збільшення розмірів залу у плані, що віддаляє глядача від сцени, тому варто робити більшу висоту – 20 м.

Для усунення розбіжності в часі сприйняття прямого і відбитого звуку від стелі в партері, на проміжному рівні, підвішують звуковідбивальні панелі під різними кутами (щодо акустичного розрахунку). Площини бічних стін членуються різними пластичними елементами – лоджії, яруси, екрани, що відбивають звук, криволінійний обрис панелі (падуги), розташовані по всій ширині залу.

Форма залу в плані повинна забезпечувати одержання по можливості однакового часу загасання первинних відображень звуку від стін і стелі в різних напрямках. Щоб не відчувалося луни, різниця в русі, проходах відбитим і прямим звуком не повинна перевищувати 19 м, для чого відбиті поверхні розташовують не зовсім далеко від прямих шляхів звуку [57].

Для складу приміщень концертних залів, як і для багатьох інших залів, притаманні два акустичних об'єми: гігантський рупор – естрада, основна частина залу – місто для розміщення глядачів.

У першому об'єму формуються пластичні поверхні-екрани, які забезпечують напрямок і інтенсивність перших, найбільш важливих

відбиттів з погляду акустики. Профіль раковини-естради вибирається так, щоб відбитий звук спрямовувався в зал і на сценічний майданчик – для зручності простежуючи гру колеги в оркестровому ансамблі.

Другий об'єм – зал для глядачів, форма й об'єм якого повинні відповідати формуванню рівномірного звукового поля і забезпечувати оптимальний час реверберації. Формування дифузійного звукового поля є основними архітектурними засобами.

Одним із найбільш важливих факторів, що впливають на якість звучання музики в концертних залах, є початкова ділянка ревербераційного процесу або, точніше, структура ранніх відбиттів. Оптимальне звучання музики і максимальний просторовий ефект її сприйняття можна отримати, якщо слідом за прямим звуком надходить перше інтенсивне відбиття через 0,02–0,03 секунди, а наступне за ним через 0,015–0,02 секунд. Крім того, прихід першого відбиття кращий з фронтального боку, другого – від бічних стін [34].

Досвід показує, що акустичні якості кращих концертних залів відповідають зазначеним вимогам: у концертному залі Зальцбурга – 0,023 секунди (рис. 15.5), у Великому залі в Штутгарті – 0,029 секунди, в університетській аудиторії у Каракасі – 0,03 секунди. У концертних залах замість сцени з декораціями влаштовується естрада. Крім того, сучасні концертні зали навіть за дуже великої місткості рідко будуються за ярусною системою. Така побудова залів створила можливість влаштування жорстких, що добре відбивають звук від огорож навколо майданчика на естраді, підкріплюючи пряму звукову енергію інтенсивними ранніми відбиттями. Ці огорожі отримали назву акустичної раковини, яка встановлюється як у закритих, так і на відкритих концертних майданчиках.

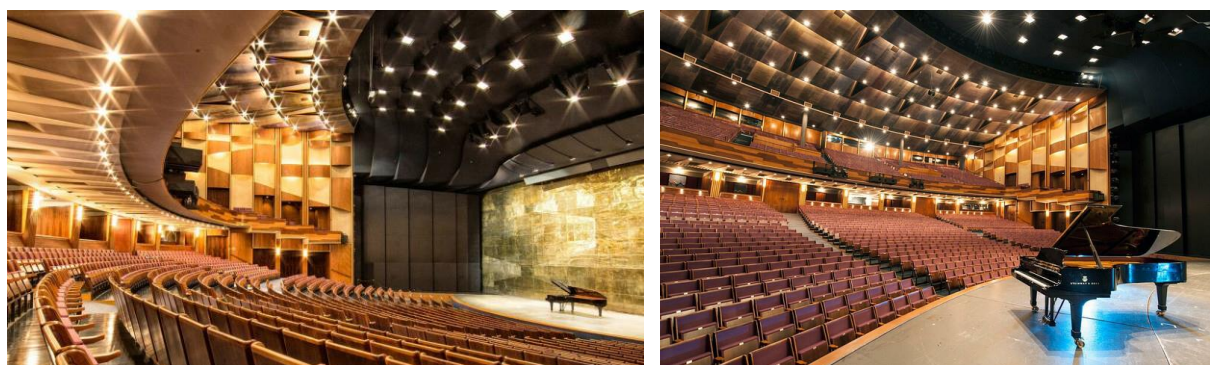


Рисунок 15.5 – Концертний зал у Зальцбурзі, Австрія
(<https://www.salzburg.info/cs/kulturni-porady/grosses-festspielhaus>)

Необхідна дифузність звукового поля в сучасних великих концертних залах досягається найрізноманітнішими засобами. Форма

концертного залу може бути різноманітною. Наприклад, зал у Токіо Опера Сіті Хол спроектований у формі піраміди, що дозволяє значно скоротити кількість паралельних один одному поверхонь і добре впливає на акустику, а завдяки правильно розрахованому освітленню зала зсередини начебто сяє та відблискує золотистим світлом (рис. 15.6). На сцені оперного залу виступають найвідоміші виконавці, музиканти, диригенти.



Рисунок 15.6 – Зал Токіо Опера Сіті Хол у Токіо, Японія
(<https://loretoaramendi.com/2019/05/kuhn-organ-concert-tokyo-opera-city-hall-japan-april-2019/?lang=en>)

Можна навести багато прикладів, де стіни і стеля розчленовані окремими поверхнями, розташованими в різних площинах і під різними кутами. Розміри неоднорідних поверхонь необхідно вибирати так, щоб не спотворювалася частотна характеристика звукової енергії. На низьких частотах через явище дифракції звукових хвиль кількість відображень енергії стає менше, ніж на середніх і високих частотах, і порушується частотний баланс під час звучання різних інструментів.

У сучасних концертних залах із природною акустикою відмовляються від розміщення виконавців на сцені театрального типу або сцені-естраді на користь висунутої в центр залу естради без завіси. Глядачі в цьому випадку розміщуються не тільки перед майданчиком, а й з боків від неї і навіть за нею (на піднятих галереях), опиняючись на мінімальній відстані у зоні прямого звуку. Такий тип майданчика оптимальний для великих філармонійних, камерних і літературних виступів і менш кращий для естрадних, хореографічних, народних і збірних концертів. Це пов'язано з тим, що інтенсивність звуку різко падає з віддаленням слухача від виконавця і необхідно розміщувати максимальну кількість глядачів у безпосередній близькості від естради. Не рекомендується розміщувати на

відстані понад 27 метрів від естради слухачів літературних концертів, понад 30 метрів – камерних, понад 45 метрів – великих філармонійних.

Галереї з боків і позаду сценічного майданчика використовуються також для розміщення хору у разі його спільного виступу з оркестром, або оркестру, якщо на основному майданчику виступає хореографічний колектив.

Така схема також добре підходить для використання в сучасних конференц-залах, у типології яких також простежуються тенденції до відмови від фронтальної схеми розміщення лекторів-глядачів на користь кільцевої.

Тенденцією сьогодення є відмова від ортогональної (прямокутної) форми залу, все більше залів мають складну конфігурацію, яка визначається акустичними розрахунками.

Розміщення залів в автономних «капсулах» стало невід'ємною вимогою сучасної архітектури концертних залів. У безпосередній близькості від залів (акустичних насамперед) забороняється розміщення венткамер, вентшахт, ліфтових шахт, інших приміщень підвищеної гучності, не рекомендується розміщувати зали поблизу авто- та залізничних магістралей, ліній метрополітену, трамвая, тролейбуса. Прикладом подібного підходу щодо організації внутрішнього простору є концертний зал королівський «Фестиваль-хол» у м. Лондон, на березі р. Темза (1951 р.), який за технічним оснащенням є і донині одним із найдосконаліших у Європі (рис. 15.7). Будівлю було спроектовано як «візуальне уявлення звуку в абстрактній формі» [57].

Відрізняється хорошою акустиккою (особливі заходи прийняті для ізоляції від зовнішніх шумів (неподалік від нього проходить залізнична магістраль, автомагістраль та судноплавний рух по річці).

Загальна місткість основного приміщення 3 300 місць (на естраді може бути встановлено додатково ще 200 місць), довжина залу – 50 м, ширина – 32,5 м, висота – 13,6 м, об'єм – 6,5 м³/чол.

Конструктивне рішення характерно застосуванням підвішених на могутніх амортизаторах-пружинах конструкцій і огорожень залів для глядачів. У планувальному рішенні будинку прийнято розташування залу у центральній частині будівлі, а навколо залу розташовані допоміжні приміщення, які використовуються як допоміжні засоби захисту залу від міського шуму.

Крутий ухил місць глядачів та яйцеподібна форма в розрізі створює позитивне дифузне поле. Рупороподібна форма акустичної раковини, у сполученні зі звуковідбивальним підвісним екраном та скошеними стінами

залу у зоні естради, пластична обробка стелі у вигляді падуг та лож, застосування резонуючих дерев'яних панелей та оздоблення задньої стіни шкірою на пористому поглиначі є прекрасним засобом звуковідбивання.



а

б

Рисунок 15.7 – Королівський фестивальний зал (Royal Festival Hall), м. Лондон, Великобританія: а – розріз комплексу; б – загальний вигляд головного залу (<https://londonlifestylemag.co.uk/the-best-music-venues-in-london/>)

Для того щоб уникнути зовнішніх впливів на зал, сучасні концерт-холи проєктуються у вигляді автономних акустичних капсул, пов'язаних з іншими конструкціями будівлі через спеціальні амортизатори (зали підвішуються на тросах або спираються на гумові подушки).

У концертних залах доцільно широко використовувати мобільні й трансформовані архітектурні елементи (для «налаштування» залу під певний тип концерту або колектив), які підвішуються над естрадою і залом, використовувати звуковідбивальні екрани, а також накладні звуковбирні елементи в задній частині залу [34].

15.1.3 Специфіка залів універсального (багатоцільового) призначення

Зали багатоцільового призначення можуть бути як великою, так і малою місткістю. Місткість таких залів становить від 400 чол. до 1 200 чол., а об'єм 1 500–6 000 м³. Їх будують зазвичай для клубів, кіноконцертних залів, актових залів навчальних закладів, конференц-залів. У них поряд зі звукопідсиленням використовуються електроакустичні засоби для збагачення і для відтворення всякого типу звукових ефектів [34].

Найбільша складність акустичного проєктування подібної групи залів спостерігається під час проєктування оперних театрів і концертних залів великою місткістю. Якість звучання визначається: природністю

(повнотою) звучання, ясністю звучання, виразністю і послідовністю чергування звуків, виразністю тембру, рівноважністю звучання всіх груп інструментів у різних зонах залу для глядачів [57].

Задовольняє всі ці вимоги більшою мірою архітектурне рішення залів, його розміри і форми, оздоблювальні матеріали і конструкції, розташування їх у просторі інтер'єру. Під час проектування універсальних залів рекомендується: розташовувати системи звукопідсилення в таких схованих від глядача місцях, що сприяють створенню в залі дифузійного (рівномірного) звукового поля, забезпечувати час реверберації необхідне для нормальної роботи системи звукопідсилення.

У залах універсального типу усереднене значення оптимального часу реверберації не може бути критерієм оцінки акустичної якості залу. Оптимум реверберації і частотна характеристика реверберації в таких залах істотно змінюється під час переходу від мови до музики різного характеру (оперний, симфонічний, джазовий).

Під час акустичного проектування залів універсального призначення рекомендується виконувати такі вимоги:

1. Створення в залі дифузійного звукового поля, що досягається формою та акустичним обробленням залу, що повинні допускати сховане від глядачів розташування систем звукопідсилення в місцях.

2. Забезпечення достатньої приглушеності приміщення – оброблення інтер'єру із широкосмуговою частотною характеристикою звукопоглинання (плавний спад кривої загасання реверберації).

Питомий об'єм залів багатоцільового призначення, відповідно до вимог, повинен складати 4–6 м³/чол. За наявності сценічної коробки об'єм залу визначається без урахування об'єму сцени. Відношення довжини залу до його ширини має бути більше 1 і не більше 2. Довжина залу від завіси до задньої стіни не повинна перевищувати 25 м. У таких же межах бажано мати і відношення ширини залу до його середньої висоти (1:1). У залах місткістю більше 600 осіб доцільно мати один або кілька балконів. Час запізнювання перших відбиттів – 0,02–0,03 секунд. За більшого часу запізнювання перших відбиттів погіршується розбірливість мови [57].

Під час вибору форми залу необхідно, щоб більша частина енергії прямувала в задню його частину. Тут можливо (але не обов'язково) збільшення часу реверберації на частоті 125 Гц до 40 %.

Рекомендується обладнання таких залів м'якими або напівм'якими кріслами, що робить час реверберації менш залежним від ступеня заповнення залу глядачами.

Необхідно улаштувати естради у вигляді рупороподібної акустичної раковини зі східчастою підлогою, із пластичною обробкою і профілем для забезпечення відображення перших звукових хвиль до глядача і сприятливих умов роботи оркестрантів.

Для акустичного налаштування залу доцільно використовувати обертові панелі Бекеші (мають різну здатність поглинати звуки різної частоти), оздоблюючи ними внутрішню і зовнішню поверхні, а також багатошарові конструкції із щитом, що висувається, та екранізують або відбивають шар поглинального звуку [57].

Зали, обладнані електроакустичними системами (системами озвучування), поділяють на дві групи:

1. Зали, у яких глядачі сприймають звук як безпосередньо зі сцени, так і за допомогою звукопідсилення (лекційні, концертні зали, зали багатоцільового призначення).

2. Зали, у яких глядачі сприймають звук тільки за допомогою звуковідтворювальної системи [16].

Доцільність використання систем звукопідсилення в залах першої групи визначається їхніми великими розмірами. У залах багатоцільового призначення великого об'єму, крім посилення звуку спеціальні електроакустичні системи можуть виконувати ще й функції регулювання часу реверберації. У такому випадку вони називаються амбіфонічні.

Системи звукопідсилення в лекційних і театральних залах призначаються тільки для посилення мови. Під час виконання концертних програм звукопідсилення може знадобитися солістам, яких супроводжує оркестр. В обох випадках мікрофон, який приймає сигнал для його подальшого посилення, знаходиться в звуковому полі гучномовців, що випромінюють вже посилений сигнал у зал, тому система звукопідсилення є системою з акустичним зворотним зв'язком [4].

Вибір електричної апаратури, місць розміщення мікрофонів і гучномовців, корекція частотної характеристики підсилення повинні здійснюватися спільно з архітектурно-планувальним рішенням залу. Створення електроакустичних засобів оперативного керування акустиккою – оптимальні умови слухання під час виступів різного жанру – амбіфонічні пристрої. Міланський оперний театр Ла Скала (рис. 15.9) і Віденська опера є яскравим прикладом використання звучання органу, який встановлено за межами сцени.

Амбіфонічні прилади диференціюються на дві основні системи:

1. Систему звукопідсилення в залі: мікрофони, що встановлені на сцені, мікрофон-ревербератор і розподільна система гучномовців.

2. Систему звукорозподілу в залі: магнітофони, амбіфон-ревербератор і розподільна система гучномовців у залі і на сцені.



Рисунок 15.9 – Зал оперного театру Ла Скала, м. Мілан, Італія
(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Teatro_alla_Scala_interior_Milan.jpg)

Гучномовці розташовують на сцені, особливо якщо сцена великих розмірів. У разі розміщення актора в глибині залу для полегшення форсування голосу доцільно застосовувати тверді декорації, розташовані поза актора, з високою відбивною здатністю, додавати сцені ухил у межах від 6° до 10° , забезпечувати безперешкодну видимість сцени вибором профілю підлоги всіх частин залу.

Кількість гучномовців у залі залежить від призначення приміщення і його розмірів, рівень гучності залежить від потужності гучномовця та його ККД [57].

У залах багатоцільового призначення необхідно керування часом і частотної характеристикою реверберації. Це завдання вирішується за допомогою спеціальних систем штучної реверберації.

У залах, обладнаних електроакустичними системами, істотно більше значення має пряма звукова хвиля. Отже, під час проектування таких залів їхні поверхні більшою мірою, ніж у залах із природною акустикою, піддаються обробці звукопоглинальними матеріалами, саме тому архітектор має більш вільний у виборі форми поверхонь цих приміщень, архітектурних членувань і відносних розмірів самих приміщень. Проте основні акустичні вимоги, що визначають вибір об'ємно-планувальних рішень залів, обладнаних електроакустичними системами, залишаються переважно тими саме, що і для залів із природною акустикою.

Зали багатоцільового призначення, що призначені для трансляції звукових програм різного типу, проектуються за допомогою архітектурно-планувальних засобів, які забезпечують зміну акустичних властивостей приміщення залежно від виду розважальних програм.

Для регулювання характеристик звукового поля застосовуються: рухливі відбивачі, штори-драпування, розсувні перегородки, екрани, які мають різне звукопоглинання на зовнішньому і тильному боці, та інші методи і пристрої, призначені для зміни об'єму приміщення. Зміна об'єму залу можлива шляхом спеціального конструювання оркестрової раковини і пересувних перегородок. У разі об'єднання об'єму оркестрової раковини й об'єму залу час реверберації може бути збільшено на 0,2 секунди на середніх частотах. Відділення раковини від залу досягається опусканням екрану і зміною відбивачів на стінах і стелі. Оркестрова раковина (акустична раковина) дозволяє не тільки регулювати об'єм залу. Огороджувальні поверхні раковини забезпечують необхідну структуру ранніх відбиттів. Розбірний пристрій раковини дозволяє використовувати зал для концертних програм, вистав і кінопоказу [34].

У разі використання залів для демонстрування фільмів необхідно змінювати ширину сцени залежно від розміру екрану, що може бути досягнуто за допомогою рухливих відбивачів типу ширм. Одним із можливих прийомів обладнання сцени є використання рухомого порталю або порталюних лаштунків, з якими можна поєднати відбивачі й гучномовці.

Один із ефективних методів досліджень в архітектурній акустиці – вивчення акустичних властивостей приміщення на спеціальній моделі цього приміщення, зменшеній в десятки разів, за допомогою ультразвуку. Отримання всіх акустичних характеристик приміщення на моделі дозволяє узгодити архітектурну частину проекту з акустики в лабораторних умовах. Цей метод особливо ефективний під час проектування приміщень складної форми або унікального типу. Моделювання проводиться відомими методами простеження променів або уявних джерел по одній із сучасних комп'ютерних програм. Якщо показання хоча б одного з критеріїв будуть відрізнятися від зон оптимуму, то варто провести додаткову корекцію проекту залу [16].

15.2 Архітектурно-будівельні заходи із розміщення відкритих театрів та засоби для збереження у них природності звучання

Спостерігаючи за культовими і видовищними спорудами, які збереглися до наших часів, видно, що основні положення променевої теорії були відомі древнім зодчим, які цих положень неухильно дотримувалися. Розміри грецьких і римських театрів на відкритому повітрі були обрані такими, щоб як найбільше використовувати енергію відбитих хвиль [16, 74].

Театри містили три основні частини:

- сцену (*shena*) глибиною 3,5–4 м у Греції і 6–8 м у Римі, на якій розігрувалося театральне дійство;
- майданчик перед сценою – оркестру (*orhestra* буквально «місце танців»), на якій розташовувався хор і виступали танцюристи;

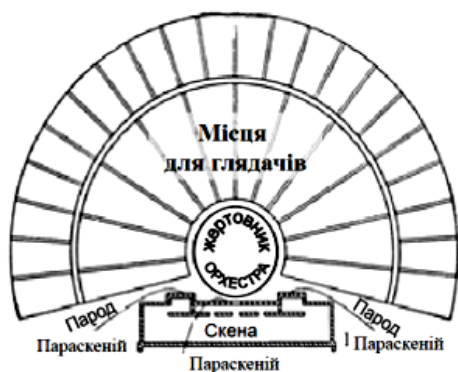


Рисунок 15.9 – Схема античного літнього театру [57]

– підйом сходами місць для глядачів навколо оркестри, що утворює так званий амфітеатр (від грецьких слів *amphi* – «з обох боків», «кругом» і *theatron* – «місце видовищ») (рис. 15.9).

Звуки від виконавців досягали глядачів, які перебували у амфітеатрі, прямим шляхом **1**, а також після відбиттів від поверхні оркестри (промінь **2**) і стіни **3**, що знаходяться позаду сцени (рис. 15.10, а). Поверхню оркестри покривали ефективним звуковідбивальним матеріалом. Щоб не допустити зайвого розсіювання звукової енергії у просторі, висота стіни **3** повинна бути рівною висоті парапету **4**, щодо огороження верхнього ряду амфітеатру «для поліпшення акустики» (за Вітрувієм).

Глибину сцени в грецьких театрах робили невеликою, щоб промені **5**, відбиті від задньої стіни, не надто запізнювалися відносно до прямого променя **1** і не погіршували розбірливість мови акторів. Частина звукової енергії, відбившись від стін **3** і **4**, йшла вгору [16].

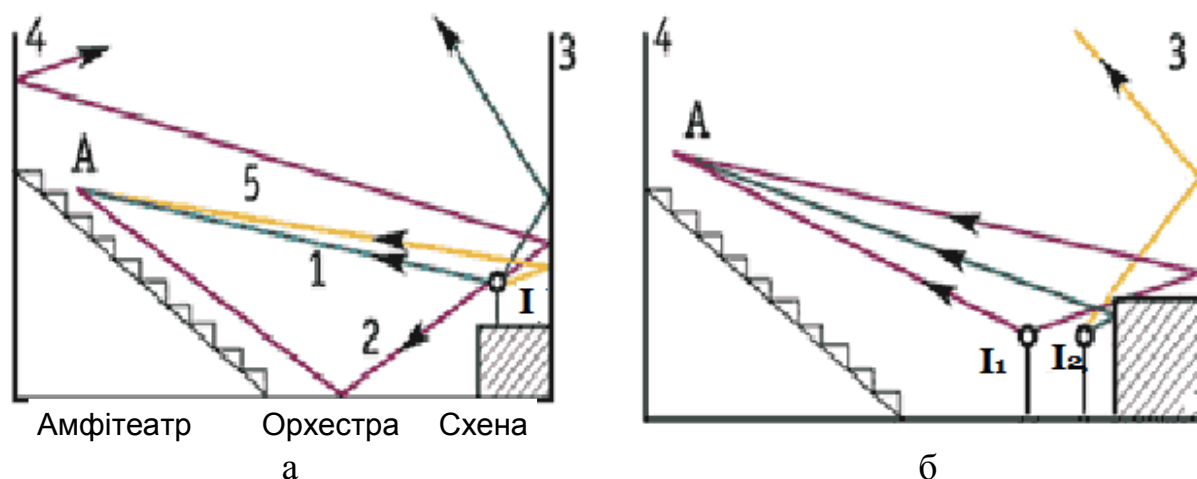


Рисунок 15.10 – Схема розповсюдження звукових променів у літньому театрі: а – при знаходженні джерела звуку на схемі; б – при знаходженні джерела звуку поза схемою [57]

У сучасних критих театральних залах ця енергія відбивається стелею вниз і збільшує інтенсивність звуку на місцях для глядачів. На оркестрі відбувалися танці і розташовувався хор, повторював репліки акторів, тобто виконував завдання звукопідсилення. За розташування хору в точці 1 звукові промені, відбившись від стіни 3 (рис. 15.10, б), надходять до глядача з великою затримкою в часі, що викликає відлуння. Для зменшення цього недоліку в римських театрах хор стали розташовувати ближче до сцени, у точці 2.

Для спрямування енергії в бік глядачів почали використовувати відбиття від сцени (її висота в римських театрах досягала 3,5 м), а вивільнену частину оркестри зайняли танцюристи. У сучасних театрах перед сценою перебувають музиканти, і на них перейшла назва займаної ними майданчика.

Особливу роль у посиленні і збагаченні звучання відігравали так звані «гармоніки» – системи резонаторів у вигляді бронзових циліндричних судин і глиняних глечиків-амфор, які розташовувалися в нішах стіни позаду місць для глядачів і під лавками. Греки вважали, що для милозвучності мови і музики резонатори мають бути підібрані або налаштовані за різноманітними тонами музичних гам [16].

Одним із прикладом античного відкритого давньогрецький театру є споруда IV століття до н. е., яка добре зберігалася до наших часів та знаходиться у східній частині Пелопоннесу у містечку Епідавр (рис. 15.11, а). Античний давньогрецький театр був побудований між 340 і 330 рр. до н. е. архітектором Поликлетом Молодшим з міста Аргос. Театр був побудований для розваги знаті і вмщував більше 15 000 глядачів і був розділений на дві частини: 21 ряд – із місцями для звичайних людей та 34 нижніх ряди – для знаті.

А також арена де Верона – один з найбільш приголомшливих оперних майданчиків світу, що становить прекрасно збережений амфітеатр, побудований майже 2 000 років тому, був побудований для проведення гладіаторських боїв, морських битв (навмахій) та циркових вистав, боїв з биками (у XVIII–XIX століттях) (рис. 15.11, б).

Споруду було побудовано за межами міста та розраховано на більш ніж 30 000 глядачів, місця для глядачів зроблені за грецьким звичаєм у формі мармурових сходів у 44 яруси. Амфітеатр складався з чотирьох еліптичних кілець (внутрішні осі 44,43, 73, 68 метри; зовнішні (включаючи не збережене четверте кільце) – 109,52 та 138,77 метри). Збережений фасад амфітеатру виконаний з каменя, цементу, річкової гальки і шматків цегли [34].



а



б

Рисунок 15.11 – Приклади античних театрів: а – Давньогрецький театр у Епідаврї, Греція; б – Давньоримська арена ді Верона, Італія (<https://www.greeka.com/peloponnese/epidaurus/sightseeing/epidaurus-ancient-theatre/>)

Особливості проектування античних відкритих театрів полягають у логіці просторового рішення, знання законів поширення звуків в атмосфері, що ґрунтуються на умовах ретельного вибору місця розташування театрів із урахуванням акустики (раціональне використання відбитої звукової енергії), розташування театрів на природних схилах пагорбів у віддалі від міського шуму [57].

Відсутність стін і стель у відкритих театрах Давньої Греції виключило можливість виникнення реверберації. Спираючись на закони розповсюдження звукової енергії у відкритих просторах, давні греки урахували в архітектурі амфітеатрів відбиті звукові хвилі від підлоги оркестри і від стіни сценічної забудови – сцени, використовували маски з рупороподібним отвором для рота для пожвавлення гучності звуку, його природності, також застосовували металеві труби у спеціальних нішах, розташованих на відстані від підлоги, які були перекинуті відкритою частиною вниз, створюючи та звані резонатори на середніх і високих частотах звуку.

Римські театри влаштовувалися за містом та становили єдину архітектурну споруду, сконструйовану у вигляді напівкруглих терас, органічно зв'язаних зі сценою у єдиний об'єм. Оркестра мала форму півкола, з часом поступово вона перетворилася у подіум висотою в межах 1–1,3 м, який було обмежено подовжніми стінами та причілками. Параметри античних відкритих театрів наведено у таблиці 15.4 [7, 57].

Таблиця 15.4 – Дані про Римські та Грецькі театри

Театри	Найбільша відстань від центра орхестри, м	Діаметр орхестри, (кавеа), м	Місткість театру, осіб.	Ухил, град.
Театр Діоніса у Афінах, Греція	85	27,4	14 000–17 500	20
Великий театр в Ефесі, Туреччина	76	24,66	23 000–28 700	26
Театр Марцелла у Римі, Італія	60 на 81	128	13 000	22
Театр в Оранже, Франція	61,1 на 9,3 на 26	103	7 800	26

Архітектурно-будівельні заходи і засоби для створення оптимальної акустики:

- надійна захищеність амфітеатру від зовнішнього шуму й вітру;
- напівкругла форма спорудження й амфітеатру, наближає глядачів до сцени;
- форма і глибока пластика сцени, із природного каменю великої щільності;
- крутий підйом місць – безперешкодне поширення прямих і відбитих звуків;
- пристрій резонуючих галерей по периметрі амфітеатру підвищує рівень звуку у вилучених місцях амфітеатру.

До сучасних успішно діючих відкритих театрів належать «Голлівудська чаша» США, співочі трибуни в Таллінні, Вільнюсі, літній театр у Дніпрі, Зелений театр у Маренні (Франція), літній театр Кірюрінлуотон (Фінляндія) амфітеатр Dalhalla, розташований у колишньому вапняковому кар'єрі (Швеція) тощо.

Під час проєктування сучасних відкритих театрів щодо акустики необхідно враховувати:

- особливості поширення звуку в різних атмосферних умовах;
- акустичні характеристики навколишньої місцевості (шумове тло, епізодичні шуми й інших);
- універсальність призначення відкритих театрів. Використання відкритих театрів для концертних, оперно-драматичних, хореографічних, хорових виступів, для демонстрації кінофільмів.

На поширення звуку в атмосфері значно впливає напрямок і швидкість вітру, розподіл температури повітря в міру віддалення від поверхні землі [127].

У разі збігу напрямку вітру і поширення звукових хвиль, швидкість яких дорівнює сумі швидкостей звуку і вітру спостерігається *притискання звукових хвиль до землі*. За зворотного руху вітру сумарна швидкість поширення звукових хвиль дорівнює різниці швидкостей звуку і вітру, унаслідок чого спостерігається так зване *відривання звукових хвиль від землі* (рис. 15.12) [57].

При виборі варіантів розташування відкритого театру щодо пануючих за літній період вітрів (сезонна троянда вітрів) варто віддавати перевагу розташуванню вздовж подовжньої осі театру, щоб напрямком пануючих вітрів збігався з напрямком великої осі театру – від сцени (естради) до амфітеатру, а не навпаки.

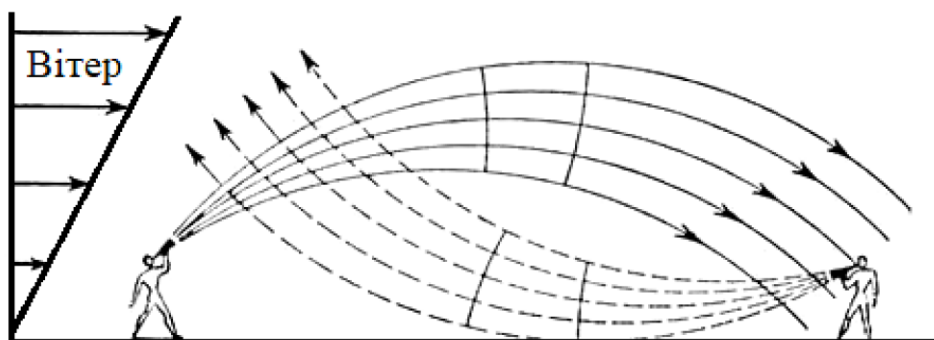


Рисунок 15.12 – Схема розповсюдження звуку при збільшенні вітру та висоти [57]

Значно на поширення звуку у відкритому театрі впливає *розподіл температури повітря на висоту*. Найрозповсюдженішими є випадки, коли температура повітря, у міру видалення від землі, знижується і випромінювані джерелом верхні звукові хвилі поширюються більш уповільнено, ніж низькі, та спостерігається повертання фронту звукових хвиль нагору (рис. 15.13, а).

Однак у разі розташування відкритих театрів у деяких долинах гір спостерігається підвищення температури повітря у міру віддалення від землі. У цих випадках звукові хвилі верхнього рівня мають підвищену швидкість порівняно зі звуковими хвилями у долинах. Фронт звукових хвиль у таких місцевостях нібито загинається до землі (рис. 15.13, б). Багаторазово відбиваючись від землі та від верхніх теплових шарів повітря, звукова енергія збільшує звуковий тиск на території відкритого театру [57].

Завдяки нерівномірності поглинання повітря звуків різної частоти особливо у повітрі з підвищеною вологістю, що є наслідком порушення природності звучання, виникає необхідність під час акустичного проектування відкритих театрів враховувати архітектурно-будівельні

засоби щодо збереження природного звучання. До цих засобів належить вибір оптимальної форми та конструкції акустичних раковин, застосування резонаторів тощо.

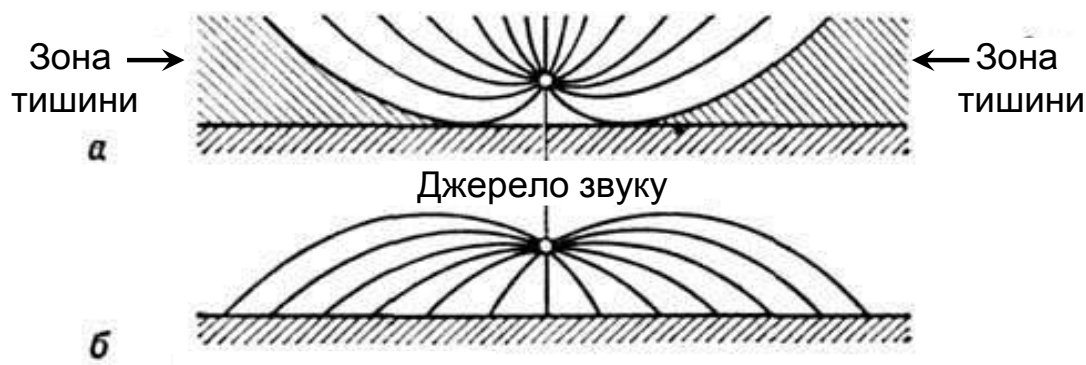


Рисунок 15.13 – Вплив вітру та температури на хід звукових променів.

Схеми викривленого шляху звукових променів від неспрямованого джерела звуку: а – при зниженні температури повітря по мірі віддалення від поверхні землі; б – при підвищенні температури повітря по мірі віддалення від поверхні землі [57]

Значно на якість акустики відкритих театрів впливають коливання повітря – флуктуація – (*fluctuatio* (лат. коливання) – випадкове відхилення величини від її середнього значення), яка виникає унаслідок різного нагрівання сонцем поверхонь території з неоднорідним підстільним шаром (пісок, трава, чагарник, скеля). Флуктуації впливають на якість звучання, коли підстільний шар має високе альbedo [4, 57].

Для обліку акустичних особливостей місця будівництва відкритого театру архітектору необхідно перед проектуванням мати у своєму розпорядженні дані з результатами метеорологічних і акустичних характеристик місцевості:

- можливість виникнення на території театру луни від навколишніх гір, лісу, будинків і споруджень;
- розрахункові рівні зовнішнього шуму: від автостради, стадіону та інших потенційних джерел шуму;
- ступінь захищеності відкритого театру від вітру.

Водночас рівень звукового тиску не повинен перевищувати 40 дБ, а швидкість вітру має бути не більше 4 м/с.

Гранично припустимі віддалення глядачів від джерела звуку визначаються призначенням спорудження з огляду на складову артикуляцію мови не менше 75 %. Для відкритих драматичних та естрадних театрів допустима межа віддаленості місць для глядачів

останнього ряду від естради (без звукопідсилення) на відстань не більш ніж 30–40 м (місткість 1 500–2 500 осіб) за умови оптимальної захищеності амфітеатру від шуму і вітру (табл. 15.5).

Таблиця 15.5 – Віддаленість місць від естради

Театри	Місткість, осіб	Межі віддаленості, м	
		По осі раковини	З боків раковини
«Голлівудська чаша» у Лос-Анджелесі, США	22 500	165	$2 \times 75 = 150$
Театр масової пісні у Таллінні, Естонія	–	160	$2 \times 80 = 160$

Важливими елементами відкритих театрів є акустичні раковини та екрани, які дозволяють створити рівномірне звукове поле і підвищити рівень звукового тиску щодо найбільш віддалених від сцени місць, а також забезпечення можливості для виконавців, які знаходяться на естраді, добре чути один одного, що важливо для синхронізації та збалансування виконання (великі хори – країни Балтії) [57].

Велике значення мають конструктивні рішення раковин і екранів:

- повинні мати високий коефіцієнт відбиття облицювального матеріалу за будь-якої частоти звуку і будь-якому куті падіння;
- мати достатню просторову твердість каркаса або форми; низьку власну частоту коливання, що залежить від маси конструкції, способу кріплення і твердості елементів;
- водночас конструкція має бути статична щодо дії вітру або потужних джерел звуку.

Яскравим прикладом оптимального рішення відкритого театру є «Голлівудська чаша» для симфонічних концертів, яка є втіленням гармонійного сполучення акустичних та конструктивних факторів щодо вирішення архітектурного образу споруди «Голлівудську чашу» розташовано у долині, захищеної від вітру горами, під час проєктування якої серйозну увагу приділяли природно-кліматичним особливостям місцевості: зокрема, нагріті сонцем гори у сукупності властивостей повітря долини, яке має велику густину у верхніх шарах, є найкращим засобом використання багаторазових відбитих звукових хвиль від землі і від щільних шарів повітря. Природна бухта, зайнята під забудову амфітеатру, була поглиблена і спланована. Чаша театру надійно захищена штучними насипами від транспортного і міського шуму. Акустична раковина забезпечує спрямованість звукових хвиль на всі ділянки величезного

амфітеатру. Кут нахилу амфітеатру складає 12° , що дозволяє забезпечити природність звучання, задовольняючи розбірливість звуків (рис. 15.14). [57].



Рисунок 15.14 – Приклад літнього театру «Голлівудська чаша», Лос-Анджелес, США (<https://thecalorihouse.wordpress.com/2015/08/06/live-from-the-hollywood-bowl/>)

До переліку відкритих театрів належать літні театри камерного типу, які збереглися з архітектурного минулого (див. рис. 15.11) та успішно слугують туристичному та рекреаційному середовищу завдяки унікальності архітектурного задуму й відповідності акустичним вимогам.

Контрольні запитання

1. Від чого залежить допустимість застосування променевих відображень?
2. Від яких факторів залежать форма та інтер'єрне обладнання залів для глядачів?
3. У чому полягають основні сучасні тенденції акустичного проектування концертних залів?
4. Специфіка залів універсального (багатоцільового) призначення.
5. Які основні принципи визначення акустики відкритих театрів?
6. Основні архітектурно-будівельні заходи і засоби для збереження природності звучання відкритих театрів.

РОЗДІЛ 16 АРХІТЕКТУРНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ ЗАСОБИ БОРОТЬБИ З ШУМОМ

16.1 Захист від шуму в міських просторах і будинках

Біологічна дія звуку на організм людини багато в чому пов'язана з наявністю в навколишньому середовищі шумів. Шум – звуки, що у певний момент не несуть корисної інформації для людини.

Шум – це безладне сполучення різних за частотою та потужністю звуків або різних складних тонів. Шум має визначену частоту, або спектр (Гц), і інтенсивність – рівень звукового тиску (дБ) [57].

Еквівалентний (усереднений) рівень шуму в аналогіях:

- 10 дБ – тиша гір, спокійний подих;
- 20 дБ – шелест сторінок;
- 40 дБ – робота холодильника, комп'ютера, кондиціонера;
- 50-60 дБ – легковий автомобіль;
- 70 дБ – радіомова;
- 80 дБ – гра на піаніно;
- 85 – 95 дБ – робота рейкового транспорту;
- 90 дБ – лемент;
- 100 дБ – звук сирени, домашній кінотеатр (працює на повну потужність);
- 160 дБ – літак під час зльоту.

Розрізняють три основних види шуму: повітряний, структурний і ударний. Середовищем поширення повітряних шумів є повітря; ударних та структурними – тверді тіла (рис. 16.1).

До повітряного шуму належить, наприклад, розмова людей в сусідній кімнаті або працюючий телевізор. Структурний шум може викликати пересування по підлозі меблі або стукіт молотка. Останній, до речі, належить до найбільш неприємного його виду – ударного, який можна почути, перебуваючи навіть на значній відстані від джерела (удари по батареї центрального опалення на першому поверсі будинку відчуються на сьомому).

Якщо повітряний шум переважає в офісах, то в виробничих приміщеннях набагато більшою проблемою є структурний і ударний види. Для житлових приміщень, з огляду на найбільш високі вимоги до рівня звукоізоляції з боку законодавства, актуальний захист від усіх видів шуму: і гучної музики у сусідів, і стуку дверей ліфта, що закриваються [111].

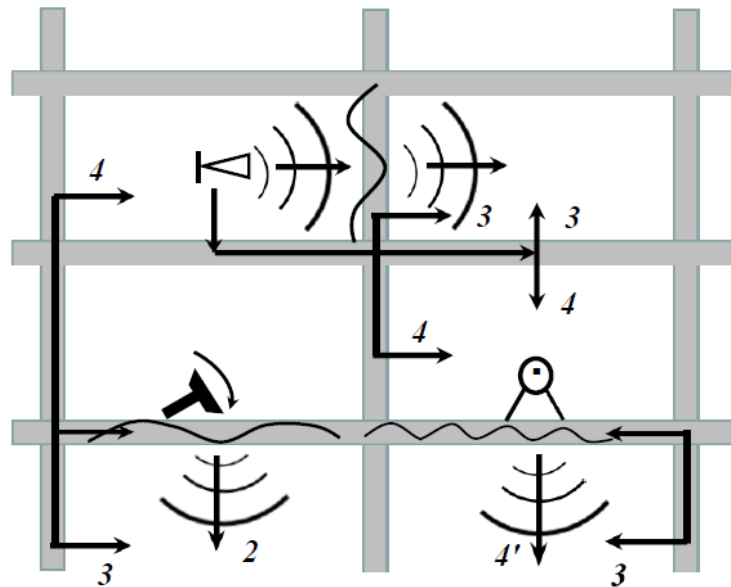


Рисунок 16.1 – Поширення шуму в будівлі: 1 – повітряний шум; 2 – ударний шум (прямі шляхи передачі шуму); 3, 4 – непрямі (обхідні) шляхи; 4' – структурний шум, що випромінюється конструкціями, пов'язаними з вібруючими механізмами і елементами інженерного обладнання [57]

16.1.1 Екологічні наслідки впливу шуму на живі організми. Основні принципи оцінки шуму

Шум негативно впливає на організм людини та є причиною його часткової або повної глухоти, викликає серцево-судинні та психічні захворювання, порушує обмін речовин. Результати проведених досліджень дозволили визначити критичні величини звукового тиску і максимально допустимий час його впливу на людину: рівень шуму 85 дБ людина може витримати (без наслідків) протягом 8 годин, 91 дБ – 4 години, 97 дБ – 2 години, 103 дБ – 1 години, 121 дБ – 7 хв. За рівня шуму 40–45 дБ порушується сон у 10–20 % населення, за 50 дБ – у 50 %, а за 75 дБ – у 95 % населення. Тривалий вплив шуму на організм людини призводить до розвитку стомлення з переходом в перевтому. Наслідки – приглухуватість іноді – глухота, астеничний синдром. Ризик втратити слух у робітників за десятилітньої тривалості впливу шуму складає 10 % за рівня шуму 90 дБ, 29 % – за 100 дБ та 55 % – за 110 дБ (за шкалою А) [111].

Несприятливо на людину впливають виробничі й комунальні шуми [25].

У виробничих умовах вплив шуму на працюючих залежить від низки несприятливих факторів: вібрації, незадовільного мікроклімату, впливу інфразвуку й ультразвуку, від електромагнітного поля. Шум і

напруженість праці біологічно еквівалентні за своїм впливом на нервову систему людини [53].

Вібрація – механічне коливання пружних тіл. Періодична вібрація цілком характеризує коливальний спектр, що визначає частоти й амплітуди простих (гармонійних) коливань. Частотні спектри вібрації охоплюють інфразвукові частоти – менше 16 Гц, звукові – від 16 Гц до 20 000 Гц і ультразвукові – понад 20 000 Гц.

Природні джерела вібрації в середовищі – це існуючі в природі явища: коливання повітряних і водних мас (шторми, тайфуни тощо), коливання земної кори (землетрус, вулкани).

Штучні джерела вібрації – різні механізми (вібраційне устаткування, віброінструменти), транспортні засоби, акустичні системи тощо. Причини вібрацій – зворотно-поступальні рухи під час обертання, удари і тертя, пульсація відпрацьованого повітря у пневмоінструментах, створення вихрів у ракетних двигунах, загальні струси під час руху транспорту нерівною дорогою. Передаючись через арматуру, перекриття і фундаменти будинків, через ґрунт, воду й атмосферу, вібрації можуть поширюватися на значні відстані [43].

Ультразвук – пружні коливання і хвилі, частота яких перевищує верхню межу чутного людиною діапазону звукових частот. Залежно від частоти ультразвук має специфічні особливості генерації, прийому, поширення і застосування.

Гострота слуху і доступний частотний діапазон у ссавців зазвичай достатньо значні, але істотно варіюють у різних видів, причому вони пов'язані з тими звуками, які ці тварини здатні видавати. Зокрема, людина в нормі може чути звуки в діапазоні від 30 Гц до 17 600 Гц, а у більшості інших приматів діапазон сприйманих звуків зміщений вгору (наприклад, у сенегальського галаго він простягається від 90 Гц до 65 000 Гц, так що ці напівмаври здатні чути ультразвуки). Здатністю сприймати ультразвуки володіють і багато інших ссавців (собаки чують звуки в діапазоні від 67 Гц до 45 000 Гц, кішки – від 55 Гц до 78 000 Гц). Особливо велика верхня межа частотного діапазону у видів, які використовують ехолокацію (наприклад, у білухи він досягає 123 000 Гц, у деяких кажанів – 110 000 Гц). З іншого боку, вусаті кити, жирафи і слони можуть спілкуватися один з одним інфразвуком, і у них значно менше значення приймає нижня межа частотного діапазону (наприклад, слони сприймають звуки в діапазоні від 16 Гц до 12 000 Гц).

Слух і звукова сигналізація у ссавців обслуговують найважливіші життєві явища – пошук їжі, розпізнавання небезпек, упізнання особин

свого і чужих видів, комунікацію між особинами, причому різні загони відрізняються різними особливостями слуху. Ссавці, хоча і в меншій мірі, ніж птиці, володіють звуковою локацією; вони видають звуки голосовими зв'язками і резонують їх повітряними шляхами. Серед видаваних ними звуків найбільш характерні рев, стогін, нявкання, шипіння [111].

Інфразвук – пружні хвилі, низькочастотні коливання, аналогічні звуковим хвилям, але нечутні для людини. Низька частотність інфразвукових коливань може поширюватися в області до тисячних часток Гц. Верхня межа – 16–25 Гц, деякі дослідники допускають сприйняття коливань з частотою від 1 Гц до 15 Гц.

Джерела інфразвуку – природні явища (вітер, грозові розряди, процеси, що протікають у земній корі – землетруси, обвали, вибухи, іноді утримуються у шумах, що супроводжують роботу промислових установок або транспортних засобів. Особливість інфразвуку – його мале поглинання різними середовищами і у зв'язку з цим здатність поширюватися на великі відстані по повітрю, воді й земній поверхні, отже, інфразвук супроводжує вібрацію. Поширення інфразвуку на великі відстані морем дає можливість передбачати стихійне лихо – цунамі [57].

Бермудський трикутник: беріг північної Америки з півостровом Флоридою та островом Куба – створюють гігантський рефлектор. Шторм над Атлантикою створює інфразвукові хвилі, що відбиваються від «рефлектора» та фокусуються у районі Бермуд. Унаслідок збігу таких природних явищ, створюються резонансні коливання, що може бути причиною руйнування або збою роботи електронної системи керування повітряних та судноплавних транспортних засобів (літаків і кораблів), або часткового руйнування елементів їхніх конструкцій [7].

Біологи припускають, що тварини мають аналізатор інфразвуку (кішки залишають будинок перед землетрусом), гіпотетично подібні здібності притаманні людині, але у процесі еволюції вона розучилася правильно трактувати сигнали інфразвуку. Вивчаючи поведінку живих організмів, людина створила прилади, що дозволяють за 15 годин визначити наближення бурі (засновані на принципі пристрою «інфравухо» медузи).

Проте незалежно від того, сприймає людське вухо інфразвук чи ні, але він впливає на людину. Коливання порівняно невисокої і середньої інтенсивності може викликати комплекс неприємних відчуттів: запаморочення, нудоту, ускладнений подих. І це пояснюється достатньо просто – органи людини теж мають власну частоту коливань – інфразвукову. Наприклад, легені людини працюють із частотою 0,3–0,5 Гц,

серце – трохи частіше, мозок працює на резонансних частотах – 4–9 Гц. Найшкідливіше на внутрішні органи людини впливають коливання в проміжку від 6 Гц до 12 Гц.

Сприйняття залежить від інтенсивності випромінювання, частоти коливань і тривалості дії (інтенсивність – 150 дБ, частота 1–7 Гц, тривалість – 8–10 хв). Біль в області живота, почуття психічного гноблення, пригніченості й страху, дзенькіт у вухах, нудота, розлад зору – це може спостерігатися за малої інтенсивності коливань. Інфразвук середньої інтенсивності порушує роботу мозку та органів травлення. У разі збільшення інтенсивності випромінювання – відчуття сухості у горлі, кашель, почуття задухи (за інтенсивності вище 150 дБ), а пружні хвилі частотою 7 Гц здатні зупинити серце і розірвати кровоносні судини.

За своїм характером шум буває *тривалим із постійним вузьким діапазоном спектра* (гудіння електромотора), *тривалим із широким діапазоном мало змінюваним спектром* (вуличний шум – шумове тло, що утвориться в результаті додавання різноманітних елементарних шумів), *епізодичним* – із вузьким спектром, високим рівнем і малою тривалістю (сигнали транспортних засобів) (табл. 16.1).

Таблиця 16.1 – Класифікація звуків за сприйняттям

Складні та аперіодичні	
Спектральний склад	Інтенсивність (рівень тиску)
Низькочастотні (до 300 Гц);	Звуки зі слухового порогу – у 40 дБ
Середньочастотні (300–800 Гц)	Від 40 дБ до 80–90 дБ (побутовий шум, телевізор)
Високочастотні (більше 800 Гц)	Від 80–90 дБ до 120–130 дБ (поріг болювого відчуття)

Перша група за інтенсивністю складають малочутливі шуми для вуха людини. До другої групи належить основна маса звукових сигналів, до третьої – дратівний вплив на людину – стомлення, роздратованість.

Рівні звукового тиску в смугах частот визначаються приладами – аналізаторами шуму, що мають октавні смуги пропущення, або смуги з одно- і двохоктавними фільтрами.

Резонанс – явище різкого зростання інтенсивності змушених коливань у якій-небудь системі, що настає у разі наближення частоти періодичного зовнішнього впливу до частоти власних коливань системи.

Із небажаними резонансами доводиться боротися, корисні потрібно використовувати. Динамічні головки, використовувані в системах

відтворення звуку, – приклад механічної коливальної системи, що працює із заходом у середовище резонансу. На основі цього явища були сконструйовані деякі пристрої, необхідні у сфері радіотехніки.

Прикладом простої акустичної коливальної системи є резонатор Гельмгольца, який становить посуд сферичної форми з відкритою горловиною (рис. 16.2, а). Повітря в горловині є масою, що коливається, а об'єм повітря у посуді відіграє роль пружного елемента. Характерна особливість акустичного резонатора полягає в тому, що довжина хвилі його власних низькочастотних коливань значно більше розмірів акустичного резонатора [57].

Сьогодні чотирьохвильові резонатори та резонатори Гельмгольца успішно використовуються як елементи акустичних студій і концертних залів, а також в інших сферах. Акустичні резонатори – «голосники» використовували багато століть тому під час будівництва соборів і театрів (рис. 16.2, б) [57].



Рисунок 16.2 – Акустичні резонатори: а – резонатор Гельмгольца; б – резонатори (голосники) для посилення звуку хору і збільшення реверберації [57]

Акустичні резонатори – струни, камертон, мембрана.

Резонансний підсилювач – підсилювач перемінної напруги, що забезпечує максимальне посилення сигналу у разі збігу частоти посилюваної напруги з власною резонансною частотою контуру. Використовується для вибіркового посилення перемінної напруги у радіоприймачах.

Румбатрон – резонаторний розрядник, використовуваний у радіотехніці (у радіолокаторах) як іскровий розрядник.

Існують вітчизняні та міжнародні стандарти, що встановлюють вимоги до цих приладів. В Україні діє стандарт DIN 18041 «Acoustical quality in small to medium-sized rooms», СП 23–103–2003 «Проектування звукоізоляції огорожувальних конструкцій житлових і громадських

будівель», гармонізований з європейським стандартом МЕК 61672–1 (ІЕС 61672-1), а також ДБН В.1.1–31:2013 «Захист територій, будівель і споруд від шуму» [33] У європейських країнах діють свої стандарти на шумоміри, проте всі вони також дотримуються вимог стандартів МЕК. Окремо стоять США, де застосовуються стандарти ANSI (зокрема ANSI S1.4), які істотно відрізняються від європейських.

Для вимірювання звукового тиску застосовуються прилади – шумоміри. Показчик приладу має три шкали – А, В і С.

Шкала А застосовується для вимірювання рівня шуму на середніх частотах, тобто для вимірювання гучності звичайного шуму і звуку. Одиницю прийнято називати дБ (А).

Шкала В застосовується для спеціальних видів шумів. Шкала С застосовується для вимірювання рівня звукового тиску. Повну характеристику шуму може дати вимір рівня звукового тиску за шкалою С і його частотна характеристика (розподіл компонентів шуму за частотою і рівнем звукового тиску). Шум вимірюється, реєструється й аналізується спеціальними приладами – шумомірами і спец. приладами (самописці рівнів шуму, магнітофон, осцилограф, дозиметри, аналізатори статистичного розподілу тощо).

Шумомір – прилад для об'єктивного вимірювання рівня звуку. У шумомірах використовують систему корегованих частотних характеристик – шкали А, У, З, Д та лінійну шкалу, відмінні за сприйняттям. У практиці застосовна переважно шкала А. За шкалою А неприпустимий рівень шуму дорівнює 80 дБ. Цифровий шумомір SL–401 – електронний вимірювач рівня звукового тиску, він дозволяє виміряти елементарні шуми (рис. 16.3, а) та складається з конденсаторного мікрофона, передпідсилювача, перетворювача, підсилювача, частотного фільтра [42].

Шумомір ШМ-1 складається з вимірювального приладу і капсули мікрофонного конденсаторного та призначений для вимірювання рівня звуку і має частотні характеристики А і С. Шумомір використовується під час вимірювання шуму на промислових підприємствах, у містах та інших населених пунктах (рис. 16.3, б).

Шумомір testo 815 є ідеальним приладом для вимірювання рівня шуму на робочих місцях, виробничих і житлових приміщеннях, у системах вентиляції, кондиціонування та опалення, шуму від транспорту тощо (рис. 16.3, в).

Принцип вимірювання шуму полягає в такому: мікрофон для акустичних вимірювань сприймає шум і перетворює механічні коливання

на електричні, які підсилюються і, пройшовши коректувальні фільтри та випрямляч, реєструються індикаторним приладом чи осцилографом.

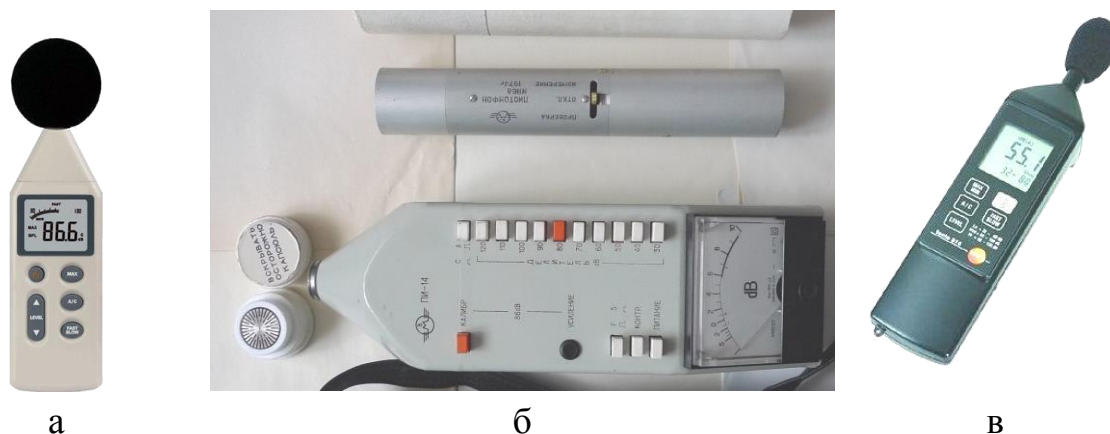


Рисунок 16.3 – Види вимірювачів рівня шуму: а – шумомір SL–401 є електронним пристроєм для вимірювання рівня шуму; б – шумомір ШМ–1 (ПІ-14); в – вимірювач рівня шуму testo 815 [42]

16.1.2 Основні містобудівні методи шумозахисту

Шум міста складається з шумів різних джерел і насамперед від промислових підприємств, транспорту, будівництва, роботи устаткування, побутових приладів тощо. У місті найпоширенішим і найбільш стомлюючим є шум транспорту, який залежить від швидкості руху та частоти зупинок (із їхнім збільшенням рівень шуму зростає). За проходження 100 автомобілів на годину середній рівень шуму на прилеглий до дороги території становить 70 дБ. Рівень шуму від руху автотранспорту на вулицях місцевого значення становить 55–65 дБА, на магістральних вулицях – 70–85 дБА [49, 50]. Усі дані шумових характеристик транспортних потоків подані у додатку У.

Для боротьби з шумом і вібрацією використовуються як загальні, так і індивідуальні засоби захисту.

Існує три способи боротьби з шумом:

- у джерелі (найефективніший, але не завжди можливий);
- звукоізоляція (огороджувальними конструкціями);
- звукопоглинання (оброблення приміщень).

Боротьба з шумом у джерелі його виникнення – найбільш дієвий спосіб боротьби з шумом. Створюються малозумні механічні передачі, розробляються способи зниження шуму в підшипникових вузлах, вентиляторів.

Архітектурно-планувальний аспект захисту від шуму пов'язаний з необхідністю врахування вимог шумозахисту у проєктах планування і забудови міст та мікрорайонів. Передбачається зниження рівня шуму шляхом використання екранів, територіальних розривів, шумозахисних конструкцій, зонування і районування джерел і об'єктів захисту, захисних смуг озеленення.

Організаційно-технічні засоби захисту від шуму пов'язані з вивченням процесів шумостворення промислових приладів і агрегатів, транспортних машин, технологічного та інженерного обладнання, а також з розробкою більш досконалих малошумних конструкторських рішень, норм гранично допустимих рівнів шуму верстатів, агрегатів, транспортних засобів тощо [43].

Основними джерелами зовнішнього шуму в містах і інших населених пунктах є транспортні потоки на вулицях і дорогах, залізничні дороги, трансформаторні підстанції та інші джерела шуму усередині груп житлових будинків [53].

Архітектурно-планувальними заходами захисту території міста від шуму є зонування території – раціональне планування з огляду на елементарні засоби шумозахисту територій.

За ступенем гучності місто поділяється на чотири зони:

- *Промислова* – найбільш гучна територія (рівень звукового тиску – 80дБ).
- *Громадський і спеціалізовані центри міста* – гучна зона, але тільки з інтенсивним рухом транспорту і пішоходів – 70 дБ.
- *Житлова забудова* – відносно тиха зона – 60 дБ.
- *Зона тиші* – (зона лікарень, бібліотек, дитячих установ, рекреація) – не більше 50 дБ.

Промислову зону необхідно розміщувати з підвітряного боку відносно сельбищної території, спираючись на облік пануючих вітрів. Відстанню між гучними виробництвами, підприємствами і сельбищною зоною є шумозахисна зона.

Припустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот і рівні звуку для приміщень житлових і громадських будівель, території мікрорайонів і житлових кварталів наводяться у ДБН В.1.1–31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму» [33].

Санітарно-гігієнічні вимоги до житлової забудови визначають необхідність захисту населення від шкідливого впливу міського шуму. Залежно від інтенсивності, частотних характеристик, часу і тривалості впливу для різних місць перебування людини встановлюються певні

допустимі рівні звуку в дБА (палати лікарень і санаторіїв – 25, житлові кімнати квартир – 30, території лікарень – 35, класи шкіл – 40, території житлових мікрорайонів – 45, вокзали – 60). Ці допустимі значення рівнів звуку відносяться до нічного часу (з 23 до 7 годин), в денний час ці рівні збільшуються на 10 дБА [33].

Вільне відкрите планування кварталів має перевагу перед периметральним плануванням. Використання будинків як екранів, що захищають квартал від шумів вулиці, не має супроводжуватися дискомфортом для житлових приміщень, які знаходяться в цьому будинку. Під час вибору розміру і форм кварталів варто враховувати співвідношення між площею кварталу, надійно захищеної від шуму вулиці, і його загальної площею. Для того щоб здійснити віддалення від джерела шуму всередині кварталів, необхідно враховувати санітарні розриви від об'єктів інженерної інфраструктури, спортивних і ігрових майданчиків, від магістралей [49, 50].

На зниження рівня шуму в населених пунктах впливають температура, вологість повітря і вітер, а також характер рельєфу, характер підстільної поверхні. Вплив підстільної поверхні на зниження сумарного рівня шуму враховується коефіцієнтом звукопоглинання k , який визначається залежно від типу покриття: для асфальту – 0,9, для відкритого ґрунту – 1, для газону – 1,1.

Коефіцієнт звукопоглинання дозволяє стверджувати, що зелені насадження є найбільш ефективними поглиначами шуму містобудівних просторів, саме тому для захисту житлових територій від шуму необхідно максимально використовувати міське зелене будівництво [49].

Зелені насадження, розташовані між джерелом шуму і житловими будинками, ділянками для відпочинку, можуть значно знизити рівень шуму. Ефект зростає в міру наближення рослин до джерела шуму; другу групу доцільно розміщувати безпосередньо біля об'єкта, який потрібно захистити від впливу шуму [49, 50].

Згідно з містобудівними нормами лінія забудови мікрорайону може бути віддалена, наприклад, від проїзної частини магістральної вулиці загальноміського значення на 22–30 м, на цих відстанях рівні звуку зменшуються незначно лише на 2–8 дБА. Розміщення спеціальних захисних смуг зелених насаджень може додатково знизити рівень шуму не більше ніж на 2–3 дБА [33].

Рядові насадження дерев із відкритим під кронами простором шум не поглинають, оскільки між поверхнею землі і низом крон створюється своєрідний звуковий коридор, у якому багато разів відбиваються і

складаються звукові хвилі. Відбивання звуку відбувається в зоні прямого контакту з поверхнею шумозахисної смуги і залежить від застосовуваної конструкції смуги і щільності фронтальної зони, що сприймає звуковий удар [33].

Шумозахисні якості зелених насаджень помітно виявляються лише тоді, коли вони сформовані у вигляді спеціальних багаторядних посадок (максимально до 10–12 дБА). При зменшенні ажурності крон дерев і збільшенні щільності листя підвищується ефект шумозахисту. Для здобуття більшого ефекту вже у фронтальній підзоні використовують дерева з густою кроною з обов'язковим заповненням простору під кроною підліском і чагарниками (рис. 16.4).

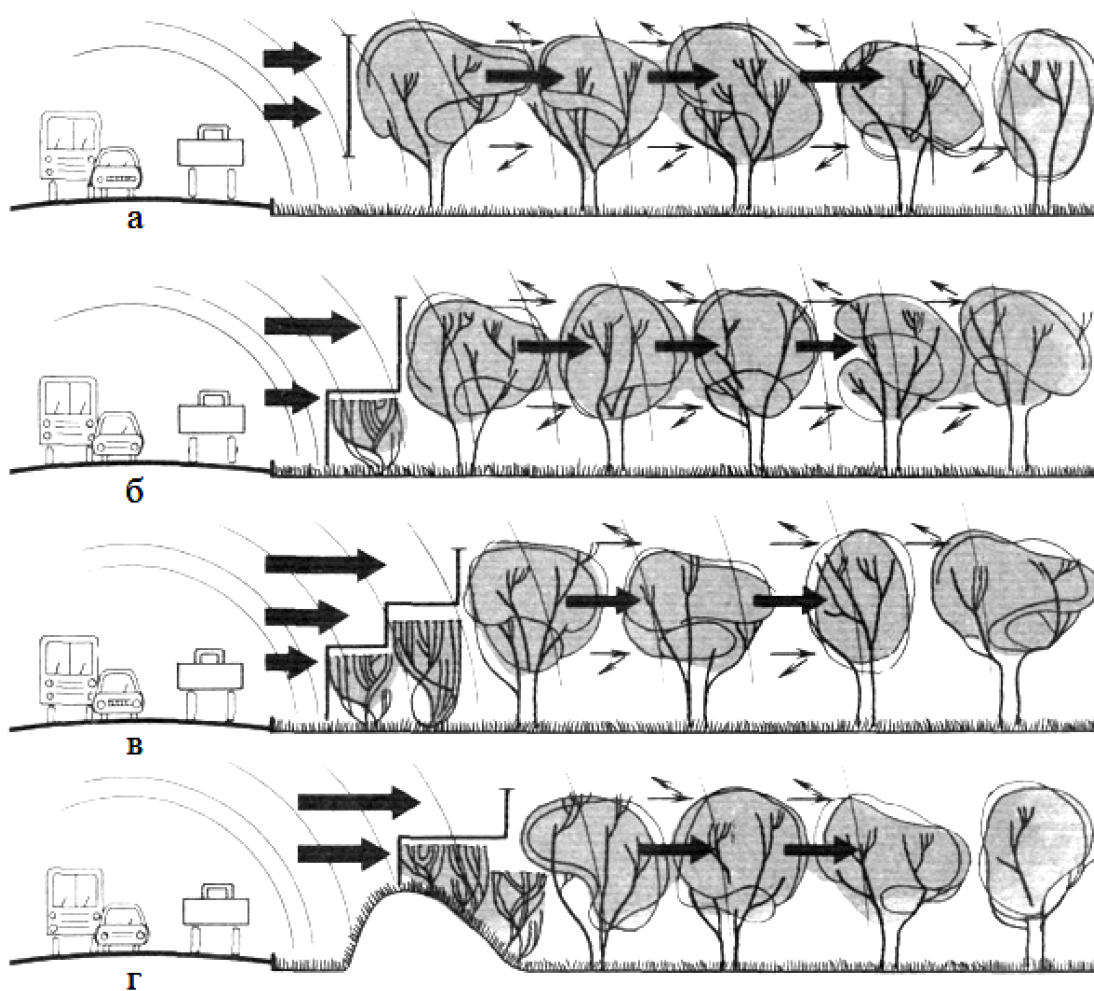


Рисунок 16.4 – Принципові схеми поширення звуку в зелених насадженнях: а – у результаті багаторазового відбиття шум загасає повільніше, ніж на відкритій рівній території; б – збільшення площини сприйняття і відбиття звукових хвиль від ряду узлісся з чагарників збільшує шумозахисну дію; в – двоярусний живопліт збільшує площину сприйняття і відбиття звукових хвиль і забезпечує більший шумозахисний ефект; г – схема організації найбільш ефективного шумозахисту [57]

Особливо доцільно використовувати шумозахисні смуги зелених насаджень під час проєктування швидкісних доріг і магістральних вулиць безперервного руху [33]. Ефект зниження рівня шуму зеленими насадженнями залежить і від характеру насаджень, порід дерев і чагарників, від часу року. Мінімальна ширина зеленої смуги – 10 м.

Ефективно знижують шум смуги з рослин з високою питомою вагою зелені (усі хвойні породи в середньому на 6–7 дБ ефективніше знижують рівень шуму за тих саме параметрів смуг, ніж листяні, але в міських умовах їхнє застосування ускладнюється високою чутливістю до забруднення навколишнього середовища).

При дослідженні шумозахисних властивостей зелених найбільший ефект у зниженні шуму дає насадження шириною 20 м, тобто 5 рядів хвойних дерев і 2 ряди чагарників (табл. 16.2).

Таблиця 16.2 – Шумозахисні ефективність різних насаджень

Насадження	Зниження рівня звуку завдяки зеленим насадженням у міру віддалення від магістралі, дБА				
	50 м	100 м	150 м	200 м	250 м
Листяні деревні (акація, тополя, дуб)	4,2	6,1	8	9	10
Листяні чагарникові	6	9,1	11,5	12,5	14
Хвойні (ялина)	7	11	12,5	14	15,5
Хвойні (сосна)	9	12,2	14,2	16	17,5

Більш інтенсивне зниження шуму порівняно з рівномірним суцільним озелененням досягається засадженням кількох щільних смуг дерев на такій відстані один від одного, щоб їхні крони не замикалися, тоді кожен ряд дерев із щільним живоплотом знижує шум на – 2 дБА, стаючи новою перепорою на шляху шуму, екрануючи його [33].

Під час зонування території міста разом із природно-кліматичними, економічними, архітектурно-планувальними та іншими факторами варто враховувати екологічні чинники в контексті шумозахисту територій, а насамперед – віддаленість житлової забудови від джерела звуку, розу вітрів та вид підстільної поверхні.

Поширення шуму на території забудови – складний процес, який характеризується такими явищами, як дивергенція, інтерференція, дифракція, рефракція, розсіювання, поглинання звуку елементами зовнішнього середовища тощо.

Особливого розгляду вимагають закономірності поширення звукових хвиль таких найбільш типових комплексних джерел шуму, як транспортні потоки. У реальних умовах проводяться натурні дослідження поширення шуму на приміагістральних територіях із подальшим статистичним обробленням даних [127].

Одне з головних завдань, які виникають перед містобудівниками в проєктній практиці, полягає в тому, щоб передбачити зони впливу майбутніх джерел шуму, передбачити шумовий режим житлової забудови і реалізувати конкретні рішення в цій галузі. Для того щоб боротися з шумом в містобудуванні, планувати і здійснювати будь-які шумозахисні заходи, необхідно мати картину його поширення в міській забудові. Таким чином, виникає необхідність у картографуванні шумового режиму. Щоб максимально використовувати на цій стадії можливі заходи із шумозахисту, необхідна карта (схема) основних джерел міського шуму, виконана в масштабі генерального плану міста. Вона є основою для регулювання шумового режиму в сельбищній зоні міста, основою для розроблення комплексних містобудівних заходів щодо захисту житлової забудови від шуму [4].

У сучасній практиці використовується два основних види карт шуму:

- 1) карти шуму, побудовані за результатами натурних досліджень, що відображають акустичну ситуацію на поточний період;
- 2) карти шуму на перспективний період, отримані в результаті розрахунків очікуваних рівнів шуму.

Карты шуму на поточний період та розрахунки існуючого шумового режиму входять до складу проєктної документації при розробці техніко-економічних основ розвитку міста. Вони виконуються за результатами натурних вимірювань [33].

Карты шуму на розрахунковий і перспективний період розробляються розрахунковими методами. Процес складання такої карти можна поділити на такі етапи:

- 1) збір даних про джерела шуму (транспорт, промислові джерела тощо);
- 2) складання моделі місцевості (будівлі, рельєф тощо);
- 3) розрахунок поширення шуму;
- 4) аналіз отриманих даних і розробка рекомендацій.

Акустичний розрахунок проводиться у такій послідовності:

- 1) виявлення джерел шуму і визначення їх шумових характеристик;
- 2) вибір точок у приміщеннях і на територіях, для яких необхідно провести розрахунок (розрахункових точок);

3) визначення шляхів поширення шуму від його джерела (джерел) до розрахункових точок і втрат звукової енергії по кожному зі шляхів (зниження завдяки відстані, екранування, звукоізоляції огорожувальних конструкцій, звукопоглинання та ін.);

4) визначення очікуваних рівнів шуму в розрахункових точках;

5) визначення необхідного зниження рівнів шуму на основі зіставлення очікуваних рівнів шуму з гранично допустимими рівнями (ГДР) шуму;

б) розробка заходів щодо забезпечення необхідного зниження рівнів шуму;

7) перевірочний розрахунок достатності вибраних шумозахисних заходів для забезпечення захисту об'єкта або території від шуму [111].

Новий напрямок у розробці карт шуму – це застосування програмного забезпечення для розрахунку рівнів шуму в будь-якій точці міської забудови. Як вихідні дані для побудови карти шуму застосовуються цифрові карти місцевості, а також результати інструментальних вимірювань і розрахунків шуму транспорту, стаціонарних джерел.

Розрахунок карти шуму проводиться за допомогою програмного забезпечення SoundPLAN із кроком, що відповідає меті розрахунку і необхідної точності результатів. Очікувані рівні шуму в розрахункових точках подаються у вигляді карти шуму території, прилеглої до проєктованої автодороги (рис. 16.5).

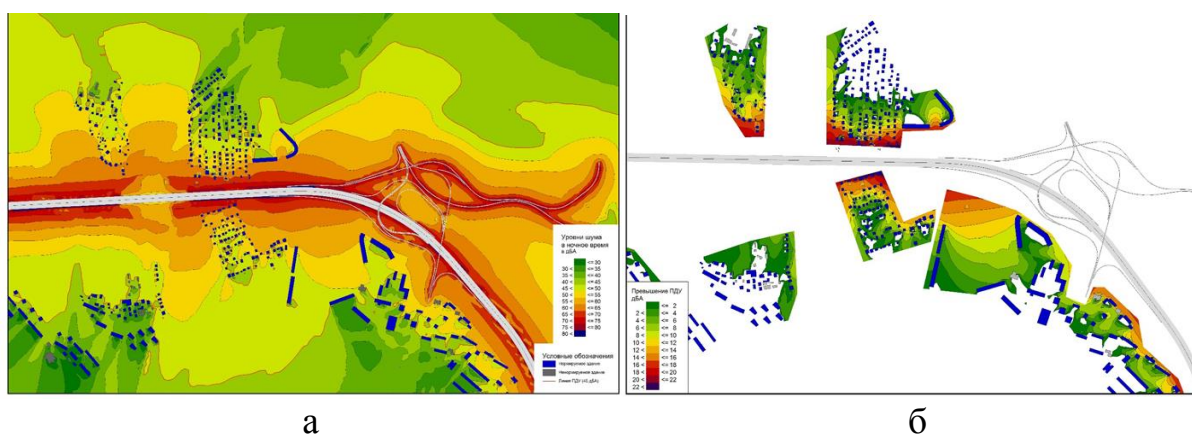


Рисунок 16.5 – Тривимірна карта шуму: а – до застосування шумозахисних заходів; б – оцінка необхідного зниження рівнів шуму (<https://www.enviroad.cz/projekty>)

Варто зауважити, що створення карт шуму дозволяє здійснювати моніторинг акустичного забруднення навколишнього середовища, вивчити

закономірності поширення шуму в міській забудові, коригувати проєктні рішення [4].

Для визначення необхідного зниження рівнів шуму на основі зіставлення очікуваних рівнів шуму з допустимими рівнями шуму будується карта перевищень ГДР на підставі зіставлення рівнів шуму в точках із вимогами ДБН В.1.1–31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму» (рис. 16.5). За допомогою цієї карти визначаються вимоги щодо шумозахисних заходів [33].

За результатами розрахунку карт шуму визначаються основні заходи, спрямовані на зниження шуму в міському середовищі. Основними напрямками боротьби з шумом є:

- придушення шуму в джерелі за допомогою конструктивних методів, установка технічних норм машин і механізмів;
- зниження шуму на шляху його поширення (раціональне планування територій, установка екранів, використання насипів і виїмок);
- зниження шуму в об'єкті шумозахисту (шумозахисне скління будинків, підвищення звукоізоляції конструкцій).

Для захисту навколишнього середовища від шуму автотранспорту застосовуються:

- установка акустичних екранів (рис. 16.6);
- шумозахисне скління із застосуванням пасивних і активних провітрюваних шумозахисних пристроїв [33].



Рисунок 16.6 – Акустичні екрани з: а – комбінованих панелей з ПММА і панелі зі звукопоглинанням; б – із панелей ПММА [57]

Для того щоб знизити міський шум, проводять спеціальні містобудівні заходи, які дають максимальний ефект у разі комплексного їх

застосування: видаляють житлові будинки від проїзної частини; як шумозахисні екрани на магістралі розміщують громадські будівлі, автостоянки, споруди торговельного та комунального призначення (склади, магазини, майстерні, невеликі безшумні підприємства); створюють інженерні шумозахисні споруди, конструкції і пристрої (стіни, екрани), виїмки, насипи і спеціальні смуги зелених насаджень. Зменшення шуму від транспорту досягається завдяки раціональному трасуванню транспортних магістралей, виведення їх із території житлового району і певного обмеження швидкості руху транспорту [65].

Допустимість шуму в житлових і громадських будинках зручно оцінювати за граничними спектрами у вигляді кривих для оцінки шуму згідно з нормами. Відповідно до цих норм дотримання тиші у місті, рівень шуму в квартирах не повинен перевищувати 40 дБ удень (розмова на відстані 10 м) і 30 дБ уночі (шепіт, помітний з відстані 5 м). У житлових приміщеннях рівень шуму не повинен перевищувати 55 дБ – вдень і 45 дБ – уночі. Для нормального самопочуття людині достатньо 8 годин тиші, головне, щоб децибели не перевищували норм. За 20 дБ створюється враження повної тиші. Шумове тло середнє по м. Харків 30 дБ – спальні райони, 40–50 – центральні райони міста з наявністю магістралей багатосмугового руху транспорту, а також з наявністю видовищно-розважальних одиниць [24].

16.2 Звукоізоляційні й звуковбирні матеріали

16.2.1 Класифікація будівельних та опоряджувальних матеріалів за акустичною ознакою

Основне значення під час проєктування будинків мають звукоізоляція і звукопоглинання. Крім цих показників має враховуватися також відображення звуку від огорожувальних конструкцій.

Звукоізоляція (шумоізоляція) – зниження рівня звукового тиску під час проходження хвилі крізь перешкоду: стіни, підлогу або перекриття. Звукова хвиля в цьому випадку – це шум, створений десятками джерел, починаючи від сигналізації автомобіля або працюючого верстата і закінчуючи водою, що капає з нещільно закритого крана.

Звукоізоляційні матеріали поділяються на три основні групи:

- звуковбирні;
- звукоізоляційні від ударних коливань;
- звукоізоляційні від повітряних коливань.

Шумопоглинальні (звукопоглинальні) матеріали здебільшого поглинають світлову енергію. Звукоізоляційні матеріали переважно відбивають звукові хвилі. Завдання звукоізоляційних матеріалів – відбити звук, не дозволяючи йому пройти скрізь матеріал. Одиниця виміру звукоізолювальних матеріалів, заснованих на звуковідбивальному ефекті (індекс звукоізоляції – визначається у децибелах). Найбільш ефективними вважаються матеріали, що мають індекс звукоізоляції в діапазоні 50–60 дБ. Цей показник залежить від маси (чим масивніше конструкція, тим вище звуковідбивальна здатність), щільності, товщини тощо.

У практичному сенсі, звукопоглинальним опоряджувальним матеріалам і конструкціям властива різна здібність поглинати звуки різної частоти. Існують поглиначі з інтенсивним звуковим поглинанням в широкому діапазоні частот – широкосмугові матеріали, з інтенсивним поглинанням у вузькому діапазоні частот – вузькосмугові матеріали (табл. 16.3).

Таблиця 16.3 – Класифікація звукопоглинальних матеріалів

Тип виробу	Пористі вироби	Коливальні панелі (резонуючі)	Конструкції з перфорованим шаром
Механізм поглинання звукової енергії	Інтенсивно поглинають звуки високих частот	Інтенсивно поглинають звуки низьких частот	Звуковбирні властивості визначаються розрахунком і проєктуванням
Конструктивні особливості і матеріали для виготовлення	Тверді плити (пензоліт, акмігран, і перфоровані – азбест, деревне волокно, мінеральне волокно)	Щільні гнучкі дерев'яні аркуші (фанера), шарнірно закріплені на дерев'яні каркаси з повітряним прошарком зі стіною і стелею	Перфоровані аркуші (сталь, алюміній, пластмаса), склотканина, ситець, бязь – захисний шар, пористий поглинач, каркас
Види виробів	Мінерало- і скло мати, плити з мінерального волокна, синтетичні пористі плити (поролон)	Резонуючі дерев'яні панелі, (гігієнічність, довговічність, стійкість від механічних впливів)	Перфоровані панелі-касети багат шарові на основі <i>резонатора</i> Гельгольца – збільшення часу реверберації; Голосники (див. рис. 16.2)

Друга категорія звукоізоляційних матеріалів заснована на протилежному ефекті – поглинанні звуку. Ці матеріали мають волокнисту

або порожнисту структуру, з великою кількістю внутрішнього повітряного простору. Одиницею вимірювання ефективності таких матеріалів (так званий коефіцієнт звукопоглинання) вважають умовний діапазон від 0 (повне відображення звуку) до 1 (звук поглинається повністю). Оптимальними звукопоглинальними матеріалами вважаються матеріали з коефіцієнтом звукопоглинання від 0,4 одиниці.

Шумопоглинальні матеріали до мінімуму знижують енергію відбитого сигналу – звукове поле стабілізується. Матеріали цього типу мають бути пористими і чим вище цей показник, тим ефективніше шум поглинається. Якщо для теплозбереження необхідно використовувати матеріали із замкнутими порами, то для шумоізоляції, навпаки, вони мають бути відкритими (сполученими). Адже тепло зберігається краще, якщо пори мають великий розмір, а звук поглинається краще, якщо вони дрібні [48, 61].

Причина цього полягає у сутності хвильового процесу, а саме – хвиля, що проходить повітрям, яке знаходиться у порах звукоізоляційного матеріалу, стає причиною коливання цього повітря. Дрібні пори створюють кращий опір коливання, ніж пори великі. Усередині матеріалу відбувається гальмування шумового потоку й відбувається тертя повітря об стінки пір, що переводить механічну енергію у теплову, наслідком чого є зниження інтенсивності й потужності шуму.

Ще одним показником звукоізоляційних матеріалів є пружність. Гнучкий каркас у звукоізоляційній конструкції є також бар'єром зниження шуму. Зустрічаючи на своєму шляху подібний бар'єр, хвилі не передають коливання всьому матеріалу та рівень шуму знижується.

Під час акустичного проектування залів для глядачів важливу роль відіграють ранні звукові відбиття, на розповсюдження яких впливають звуковбирні матеріали і конструкції. Їх рекомендують розташовувати на поверхнях, від яких до слухачів не потрапляють перші відбиття з малим запізнюванням порівняно з надходженням до глядача прямого звуку.

Дифузне звукове поле характеризується тим, що у всіх точках поля усереднені за часом рівень звукового тиску і потік, які надходить з будь-якого напрямку звуковий енергії, постійні (звукове поле в приміщенні однорідне та ізотропне).

Ідеально стовідсотково дифузним звукове поле не буває в будь-якому залі, можна говорити лише про ступінь його дифузності (16.1). За наявності одного джерела звуку в приміщенні значна дифузність переважає в «дальній зоні» виникнення звуків на відстанях від джерела звуку:

$$r \geq 0,35 \sqrt{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \cdot S_{\text{огор.}} \quad (16.1)$$

Висока міра дифузності звукового поля особливо важлива для музичних залів – вона забезпечує експоненціальність ревербераційного процесу і сталість часу реверберації в будь-якій точці залу.

Звукове поле впливає на всі поверхні в приміщенні, зокрема і на людей та предмети обстановки. Усі вони поглинають звукову енергію, тому вводиться поняття загального звукопоглинання приміщення:

$$A_{\text{зал}} = \sum \alpha_i S_i + \sum A, \quad (16.2)$$

де $\alpha_i S_i$ – еквівалентна площа звукопоглинання поверхні, (площа поверхні, яка повністю поглинає звук;

$\sum A$ – додаткова еквівалентна площа звукопоглинання (люди, меблі, обладнання, отвори, порожнини).

Зазвичай і найпростіша прямокутна форма залу (у плані і розрізі) дає певну дифузність звукового поля завдяки великій кількості послідовних відбиттів від його огорожувальних поверхонь. Але для високої дифузності звукового поля бажана не тільки складніша форма стін і стелі, а й здатність елементів інтер'єру розповсюджувати звук у залі. Ними можуть бути як об'ємні елементи (колони, барельєфи, глибокі ніші, елементи декору), так і спеціальні розсіювальні структури і членування огорожувальних поверхонь (стельові балки, пілястри, кесони).

Для підвищення дифузності звукового поля в архітектурній практиці широко використовуються різні види пластичного оброблення стін і стелі відповідно до архітектурних і акустичних вимог [57].

Найефективніші пластичні елементи інтер'єру, які мають членування циліндричної і призматичної форм завдяки здібності добре розсіювати звуки в діапазоні середніх і високих частот. За прямокутної форми членувань (за умов дотримання співвідношень розмірів) здійснюється розсіювання звукових хвиль низької частоти.

Дрібні членування добре розсіюють високочастотний звук, низькочастотні звуки (з великою довжиною хвилі) добре розсіюються барельєфами лож, балконів опуклостями циліндричної форми (рис. 16.7).

Якщо в залі для зменшення часу реверберації використовується огорожування поверхонь звукопоглинальними матеріалами (ЗПМ), то їх бажано наносити на поверхню не суцільним шаром, а окремими ділянками. Таке опорядкування не тільки збільшує звукопоглинання, але має ефект розсіювання звукової енергії (деформація фронту хвилі через різних фазових умов відображення на краях ЗПМ) [57].

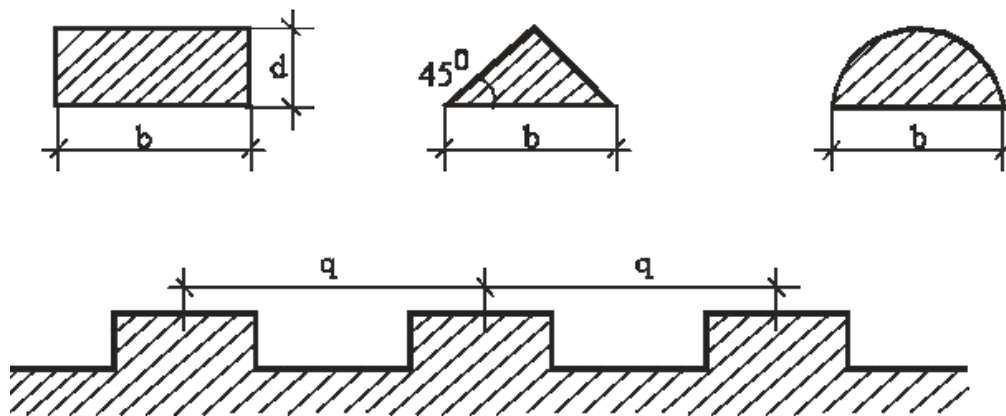


Рисунок 16.7 – Форма архітектурних членувань в інтер'єрі, що забезпечують ефективне розсіювання звукових відбивань у відповідних областях частот (графік Гануса). Форма пілястр: b – ширина; d – глибина; q – крок пілястр [57]

За зовнішнім виглядом звукоізоляційні матеріали класифікуються на *штучні* (плити, панелі, мати, рулони тощо) та *сипучі*.

За пористістю: ніздрюваті, волокнисті, комбіновані.

Звукоізоляційні вироби мають бути негорючими, з низьким показником водопоглинення, малим значенням гігроскопічності, біостійкими, тому що шумоізоляція – це практично обробка приміщень.

У практиці не існує універсального виду звукопоглинальних матеріалів і конструкцій, які б мали властивості однакового звукопоглинання по повному діапазону частот звукових коливань.

16.2.2 Методологія використання звукоізоляційних та звуковбирних матеріалів

Технології звукоізоляції (шумоізоляції), які зображені на рисунку 16.8, використовують чотири принципи контролю як повітряного, так і структурного шуму [61].

Вибір звукоізоляційних матеріалів залежить від кількох факторів: типу домобудівництва, характеру звуку тощо. Для ізоляції від повітряних шумів найбільш ефективні м'які пористі шумоізолювальні матеріали з високим коефіцієнтом звукопоглинання.

Ударний шум виникає від прямого впливу на тверді матеріали, наприклад на перекриття, стіни тощо (звук від свердління, удари молотком і подібні звуки). Для нейтралізації подібних шумів застосовують жорсткі й напівтверді матеріали з пористою структурою. Якщо мова йде про залізобетонний каркасний багатоквартирний будинок, то звукові та ударні впливи на несучі конструкції в цьому будинку швидко поширюються завдяки арматурній сітці. Такий характер шумів називається структурним [46].



Рисунок 16.8 – Технологія використання звукоізоляції [57]

Для ізоляції приміщення від таких шумів застосовують звуковідбивні матеріали з індексом звукоізоляції не менше 50 Дб або звукопоглинальні матеріали з коефіцієнтом звукопоглинання починаючи від 0,5. У приватних житлових будівництвах звукоізоляція повітряних шумів може досягатися потовщенням стін, застосуванням подвійних склопакетів, опорядження стін та перегородок. Можна чергувати жорсткі звуковідбивачі (бетон, цегла, гіпсокартон), із м'якими і напівжорсткими звукопоглинальними матеріалами (мінеральна вата, скловата та інші). Як нейтралізатори повітряних шумів добре зарекомендували себе звукопоглинальні вироби зі скловолкна.

До звуковідбивальних матеріалів належать комплексні багатошарові так звані сендвіч-панелі, що складаються з почергових щільних гіпсових і легких скловолкнистих шарів.

Для нейтралізації структурних шумів використовують прокладки з пористо-волокнистих матеріалів для ізоляції стиків несучих конструкцій. Матеріал, наприклад склохолст, укладається між кріпильними елементами, у місцях стиків панелей з бічними стінами, під торці балок, під лаги при установці дерев'яних підлог тощо. Таким чином, захист від структурних шумів закладається під час монтажу конструкцій та зведення будівель. Матеріалом для ізоляції можуть бути склохолст, стрічкові прокладки, віброакустичні герметики, кремнеземне волокно та інші [45, 46].

Застосування тих чи інших звукоізоляційних матеріалів і технологій цілком залежить від призначення приміщення. Умовно тут можна виділити такі категорії: офісні, виробничі та житлові приміщення.

У практиці житлового будівництва існує чотири основних напрямки звукоізоляції: ізоляція стін і міжкімнатних перегородок, захист підлог, перекриття і місць стиків зі стінами, дверей (зокрема міжкімнатних) і вікон, звукоізоляція інженерних комунікацій, які можуть бути провідниками шуму. Разом із тим звукоізоляційні матеріали повинні виконувати дві головні функції – запобігати коливанню звуковою хвилею перешкоди (наприклад міжкімнатні перегородки) та поглинати і розсіювати звукову хвилю.

Конструктивні рішення звукоізоляції

Під час будівництва і реконструкції житлових і офісних приміщень наразі значна увага приділяється питанням забезпечення необхідної звукоізоляції приміщень [61].

Одним із способів захисту від проникнення сторонніх звуків може бути встановлення щільних і масивних стін і перекриттів. Це може бути монолітний залізобетон, керамзитобетонні й пінобетонні блоки. Головне, щоб вони разом зі сполученим розчином утворювали герметичну конструкцію без щілин і отворів.

В одній перегородці можлива комбінація декількох щільних матеріалів за наявності жорстких зав'язків між усіма елементами конструкції: наприклад, стіна з пемзобетону блоків на цементно-піщаному розчині, опоряджувальною цеглою. Однак збільшення масивності стін і перекриття – завдання достатньо складне і неефективне внаслідок збільшення маси конструкції в два рази, що призводить до збільшення індексу звукоізоляції взагалі на декілька децибел [48].

Більш прийнятним способом захисту від повітряного шуму вважається створення багатошарової конструкції, що складається з декількох почергових шарів жорстких, щільних і м'яких будівельних матеріалів.

Кожна захисна конструкція має свою частотну характеристику ізоляції від повітряного шуму (рис. 16.9), яка показує величини звукоізоляції на різних частотах. Такі криві можуть бути отримані як шляхом вимірювань на вже готових конструкціях або на їх моделях в акустичних камерах, так і шляхом розрахунку на стадії проектування. Індекс звукоізоляції повітряного шуму визначається шляхом зіставлення цієї частотної характеристики з оціночної (стандартної) кривої [42].



Рисунок 16.9 – Змінена крива в трьохоктавних інтервалах та її оцінка [42]

Для визначення індексу звукоізоляції повітряного шуму R_w необхідно визначити суму несприятливих відхилень певної частотної характеристики від оціночної кривої. Якщо сума несприятливих відхилень максимально наближається до 32 дБ, але не перевищує цю величину, величина індексу R_w складає 52 дБ. Якщо сума несприятливих відхилень перевищує 32 дБ, оціночна крива зміщується вниз на ціле число децибел так, щоб сума несприятливих відхилень не перевищувала цю величину. Якщо сума несприятливих відхилень значно менше 32 дБ або несприятливі відхилення відсутні, оціночна крива зміщується вгору на ціле число децибел так, щоб сума несприятливих відхилень від зміщеною оцінною кривою максимально наближалася до 32 дБ, але не перевищувала цю величину.

За величину індексу звукоізоляції перекриття від ударного шуму приймаємо ординату зміщеною кривої за 500 Гц: $L_{nw} = 56$ дБ.

Отже, індекси звукоізоляції від повітряного і ударного шуму є звукоізоляцію, у певний спосіб усереднену за частотною характеристикою.

Під час проєктування одношарових масивних конструкцій оцінною характеристикою їхньої звукоізоляції може бути закон маси. Водночас для орієнтовної оцінки індексу ізоляції повітряного шуму одношаровими огорожувальними конструкціями з цегли, бетону та гіпсокартону можна користуватися формулами залежно від поверхневої густини стіни p :

$$\text{за } \rho \leq 200 \text{ кг/м}^2 R_{\text{сер}} = 13,5 \lg \rho \quad 13 \text{ дБ} \quad (16.3)$$

$$\text{за } \rho \leq 200 \text{ кг/м}^2 R_{\text{сер}} = 23 \lg \rho \quad 9 \text{ дБ} \quad (16.4)$$

Однак орієнтація на закон мас за підвищених вимог звукоізоляції виявляється неекономічною через перевитрати конструкційних матеріалів. У цих випадках вдаються до застосування шаруватих конструкцій. Це можуть бути подвійні конструкції, розділені замкнутим повітряним прошарком (іноді заповнені звукопоглинальним матеріалом) за відсутності жорстких зв'язків між конструктивними шарами. Другий варіант підвищення звукоізоляції щодо масивної однорідної огорожувальної конструкції – одно- або двостороннє установлення перед нею легкої гнучкої плити на віднесенні. Жорсткі зв'язки між стіною і плитами на віднесенні мають бути ізольовані від стіни звукоізоляційними прокладками.

Під час зведення несучої перегородки з високими звукоізоляційними властивостями як ефективна конструкція застосовується перегородка на двох незалежних каркасах з обшивкою двома шарами гіпсоволокнистих листів з кожного боку. У цьому випадку застосовується система, що складається з двох незалежних металевих каркасів товщиною по 50 мм, 75 мм або 100 мм, які з двох боків обшиваються листами ГВЛ у два шари товщиною по 12,5 мм кожен (рис. 16.10).

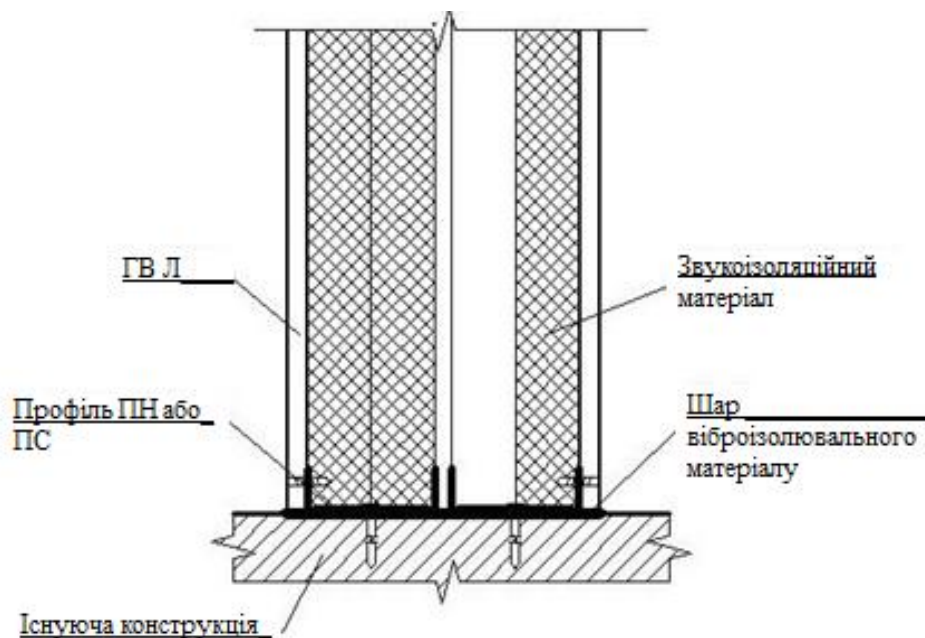


Рисунок 16.10 – Приклад багат шарової конструкції перегородки [57]

Другий метод звукоізоляції загальної стіни містить у собі обкладання акустичною мінеральною ватою і опоряджання подвійним гіпсокартоном на металевих планках.

За таким методом звук не проходить безпосередньо, а розсіюється.

Спочатку влаштовується обрешітка, для чого вертикально до стіни кріпиться обрешітка з кроком 50 мм на 50 мм, з відстанню між ними трохи менше 600 мм, щоб рулонна звукоізоляція з мінеральної вати товщиною 50 мм щільно прилягала до обрешітки і до стіни.

Далі, на відстані 100 мм від підлоги, поперек обрешітки кріпляться пружні планки в горизонтальному положенні поперек обрешітки, відстань між планками від 400 мм до 600 мм, остання планка кріпиться на відстані 50 мм від стелі.

Стіна опоряється акустичним гіпсокартоном товщиною 19 мм, для кріплення панелей до планок використовуються шурупи довжиною 32 мм, вони повинні проходити через планку, але не торкатися стіни або обрешітка (рис. 16.11).

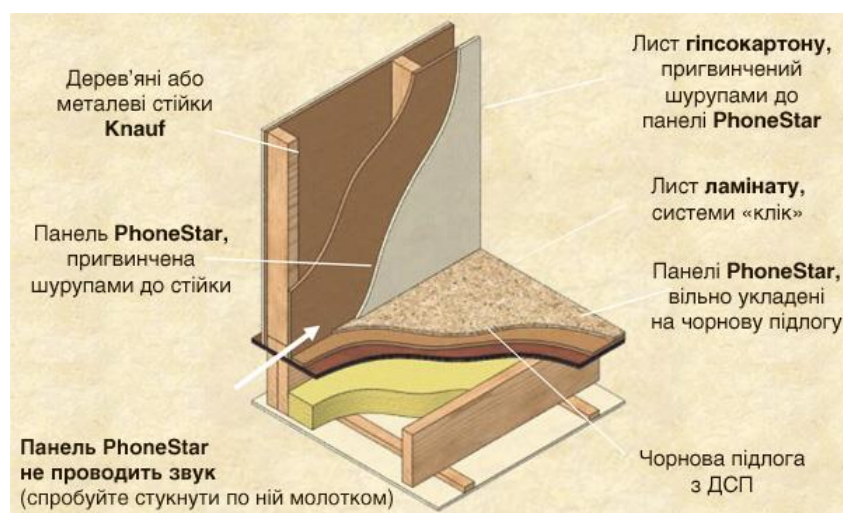


Рисунок 16.11 – Приклад багатошарової конструкції перегородки зі звукоізоляційних матеріалів [57]

Необхідно залишити зазор по периметру кімнати від 3 мм до 5 мм. Поверх першого шару гіпсокартону кріпиться другий шар товщиною 12,5 мм, стики мають бути зміщені відносно до першого шару.

За допомогою звукопоглинального герметика закладаються зазори і влаштовується плінтус.

Такий саме ефект – підвищення ізоляції міжповерхових перекриттів – забезпечує улаштування шаруватих підлог по суцільних або стрічкових звукоізоляційних пружних прокладках, підвісних стель або комплексу цих заходів [48].

Для збільшення ізоляції підлоги від повітряного шуму виконується конструкція підлоги на пружному звукоізолювальному шарі – так звана «плаваюча підлога» (рис. 16.12). На плиту перекриття укладаються два

шари звукоізолювального матеріалу – плити зі скляного штапельного волокна товщиною по 20 мм. Водночас на всі стіни цього приміщення заводиться прокладка з одного шару матеріалу товщиною 20 мм і висотою трохи більшої висоти влаштовуються стяжки. Поверх матеріалу настиляється роздільний шар із поліетиленової плівки, по якому влаштовується бетонна стяжка, що вирівнює товщиною 80 мм, армована металевією сіткою для додання їй підвищеної механічної міцності [61].

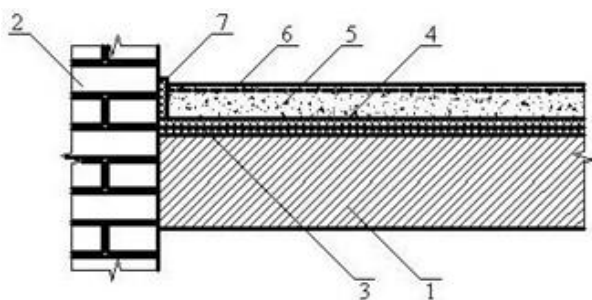


Рисунок 16.12 – Приклад багатошарової конструкції перекриття:

- 1 – існуюча плита перекриття;
- 2 – існуюча стіна;
- 3 – плити зі скляного штапельного волокна (2 шари по 20 мм);
- 4 – поліетиленова плівка;
- 5 – стяжка 80 мм;
- 6 – армування сіткою;
- 7 – прокладка по периметру приміщення зі скляно-штапельних плит (1 шар) [57]

Будь-яке, нехай навіть найтонше міжповерхове перекриття, виконане із залізобетонних плит, забезпечує індекс ізоляції повітряного шуму в межах $R_w = 48$ дБ. Крім того, порожня усередині перегородка на металевому профілі, обшита листами гіпсокартону з двох боків, має звукоізоляцію не більше $R_w = 40$ дБ. Саме тому подібна конструкція за фактом є однією з найпоширеніших завдяки її простоти і відносної дешевизни у разі розподілу великого простору будівлі на окремі приміщення [61].

Ефективна боротьба з шумом, який проникає зверху через стельове перекриття, можлива тільки із застосуванням найсучасніших матеріалів і технологій. На сьогоднішній день найефективнішою системою, здатною протистояти шуму, що проникає через стелю, є каркасна звукоізоляційна система стелі з вібророзв'язанням. Звукоізоляція стелі робиться на дерев'яну обрешітку або металеві профілі, між якими можна додатково покласти шумопоглинальний матеріал (рис. 16.13).

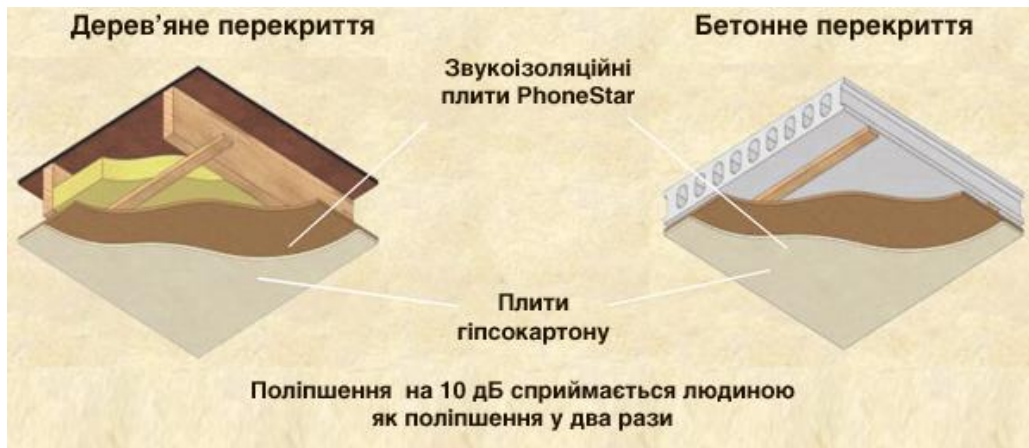


Рисунок 16.13 – Приклад звукоізоляції стелі [57]

Після того, як змонтований звукоізоляційний матеріал, настає черга фінішного опорядкування стелі. Бажано обшити стіну гіпсокартоном, що забезпечує від деструкції стиків і тріщин, і додатково нівелює поверхню. Крім того, сам гіпсокартон доповнює звукоізоляцію, стає елементом звукоізоляційної конструкції, хоча його власні параметри дуже сильно поступаються параметрам звукоізоляційних матеріалів.

Проектування звукоізоляції не повинно обмежуватися акустичним розрахунком огорожувальних конструкцій. Воно обов'язково повинно супроводжуватися об'ємно-планувальними і конструктивними заходами, що забезпечують зниження впливів структурного шуму і шуму інженерного обладнання. З цією метою не допускають суміжне розташування поряд із житловими і робочими приміщеннями або лікарняними палатами ліфтових шахт, стовбурів сміттепроводів, а також бойлерних, водопровідних насосів. У самих конструкціях має бути герметизовані наскрізні щілини і отвори, оскільки через них проникає шум. Під час дифузного проходження звукової хвилі через такі щілини звукова енергія, що проходить крізь них, збільшується завдяки дифракції звуку і резонансних коливань повітря в отворах [111].

Успіхи теорії і широкі можливості експериментальних робіт спричинили те, що архітектурна акустика стала не тільки галуззю науки, а й точною галуззю техніки, яка надає можливості проектувальнику ефективно проектувати будь-яке приміщення завдяки поєднанню питань архітектури та акустики та створювати гармонійне містобудівне середовище, захищене від несприятливої дії небажаних звуків різноманітними засобами, які спираються на основи акустичних розрахунків й на архітектурно-планувальні рішення.

Контрольні запитання

1. У чому полягають екологічні наслідки впливу шуму на живі організми?
2. Які фізичні процеси впливають у результаті виникнення шумів?
3. За якими ознаками класифікують шуми?
4. Які загальні принципи оцінки шуму?
5. Які засоби шумозахисту у містобудівних просторах широко та ефективно застосовуються?
6. Як впливає рівень шуму на людину та її здоров'я?
7. Як класифікуються звукозахисні матеріали?
8. Яка структура акустичних матеріалів?
9. Які властивості акустичних матеріалів?
10. Які матеріали та вироби входять у групу звукоізолюючих (звукопоглинальних) матеріалів?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 10 оптичних ілюзій в архітектурі [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://rate1.com.ua/uk/science/5fb17226/10-оптичних-ілюзій-в-архітектурі>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.
2. 10 типів архітектурних будівель в Китаї. Китай. Традиційна архітектура і мистецтво. Декоративне оформлення в китайському стилі [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://thestrip.ru/uk/kinds-of-makeup/arhitekturnye-zdaniya-v-kitae-kitai-tradicionnaya-arhitektura-i-iskusstvo/>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.
3. Аблєєва І. Ю. Екологія міських систем : конспект лекцій : для студентів спеціальностей «Технології захисту навколишнього середовища» / І. Ю. Аблєєва ; Сумський держ. ун-т. – Суми : СДУ, 2020. – 178 с.
4. Абракітов В. Э. Строим карту шума города Харькова / В. Э. Абракітов. – Харьков : Парус, 2012. – 48 с.
5. Адаменко Т. І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату / Т. І. Адаменко. – Київ : ТОВ «РІА» БЛЩ, 2014. – 20 с.
6. Анатомія ока. Методи дослідження в офтальмології: навч. посіб. для студ. мед. фак-тів / Н. Г. Завгородня, Л. Е. Саржевська, О. М. Івахненко [та ін.] ; Запорізький держ. мед. ун-т. – Запоріжжя : ЗДМУ, 2017. – 76 с.
7. Апатенко Т. М. Будівельна фізика. Кліматологія : конспект лекцій : для студентів 4 курсу ден. форми навч. напр. підгот. «Архітектура» / Т. М. Апатенко ; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2011. – 98 с.
8. Археологічні пам'ятки етногенезу і культурогенезу слов'ян [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://stud.com.ua/4046/kulturologiya/arheologichni_pamyatki_etnogenezu_kulturogenezu_slovyan, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.
9. Архітектура: Короткий словник-довідник / А. П. Мардер, Ю. М. Євреїнов, О. П. Пластицька та ін. ; за заг. ред. А. П. Майдера. – Київ : Будівельник, 1995 р. – 335 с.
10. Багрова Л. А. Географія Крима / Л. А. Багрова, В. А. Боков, Н. В. Багров. – Киев : Лыбидь, 2001. – 302 с.
11. Безлюбченко О. С. Урбаністика : навч. посіб. / О. С. Безлюбченко, О. В. Завальний ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. –

Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 254 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/41622/>, вільний).

12. Берг Л. С. Климат и жизнь / Л. С. Берг. – М. : Географгиз, 1947. – 356 с.

13. Білий шум [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://vue.gov.ua/Білий_шум, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

14. Вернеску Д. Инсоляция и естественное освещение в архитектуре и градостроительстве : пер. с рум. / Д. Вернеску, А. Ене ; пер. А. Бондаренко. – Киев : Будівельник, 1983. – 88 с.

15. Вітрувій. Десять книг про архітектуру [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://antique.totalarch.com/vitruvius>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

16. Вітвицька Є. В. Акустика залів: навч. посіб. / Є. В. Вітвицька. – Одеса : Астропринт, 2002. – 144 с. : іл. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <https://docplayer.net/88527056-E-v-vitvickaaya-akustika-zalov.html>, вільний).

17. Вітвицька Є. В. Врахування нормативних параметрів клімату міст України у архітектурному проєктуванні : навч. посіб. / [Є. В. Вітвицька, Д. О. Бондаренко] ; за ред. Є. В. Вітвицької ; Одеська держ. акад. буд-ва та арх. – Одеса : ОДАБА, 2015. – 261 с. : рис., табл. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: https://odaba.edu.ua/upload/files/OK2_Energozberezhennya_v_arhitekturi_ta_m_istobuduvanni_Silabus.pdf, вільний).

18. Вітвицька Є. В. Розробка енергоефективних планувальних рішень забудови міста з урахуванням клімату : навч. посіб. / Є. В. Вітвицька ; Одес. держ. акад. буд-ва та архітектури. – Одеса : ОДАБА, 2018. – 142 с. : рис., табл. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <http://mx.ogasa.org.ua/handle/123456789/5374>, вільний).

19. Войтович О. О. Естетично-акустичні параметри оркестрового звучання (на прикладі концертних залів Львова) : дис. канд. мистецтвознав. : 17.00.03 – театральне мистецтво / Войтович Олександр Орестович ; Львів. нац. музична акад. ім. М. В. Лисенка – Львів, 2018. – 240 с.

20. Волошин І. І. Загальне землезнавство : навч. посіб. для студ. геогр. спец. вищ. навч. закладів. / І. І. Волошин ; Ніжинський держ. педагогічний ун-т ім. М. Гоголя. – Ніжин : Редакційно-видавничий відділ НДПУ ім. М. Гоголя, 2002. – 294 с. : іл.

21. Врублевська О. О. Кліматологія : підручник / О. О. Врублевська, Г. П. Катеруша, Л. Д. Гончарова. – Одеса : Екологія, 2013. – 344 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/398/>, вільний).

22. Все про Африку. Бушмени – жителі Калахарі. Частина друга [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://africaners.com/uk/afrikans-kij-pobut/bushmeni-zhiteli-kalahari-chastina-druga/>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

23. Вулкан Лаки: [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Лаки_\(вулкан\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Лаки_(вулкан)), вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

24. ГБН В.2.3–37641918–556:2015. Автомобільні дороги. Споруди шумозахисні. Вимоги до проектування. – Чинний від 2015–12–01. – Київ : Міністерство інфраструктури України, 2015. – 26 с.

25. Голінько В. І. Основи охорони праці : підручник / В. І. Голінько ; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Дніпро : НГУ, 2014. – 271 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <http://kizman-tehn.com.ua/wp-content/uploads/2017/09/Основи-охорони-праці.pdf>, вільний).

26. Гуцульська гражда [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://spadok.org.ua/gutsulschyna/gutsulske-zhytlo>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

27. Гуцульське житло – Спадщина предків [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://www.spadok.org.ua/gutsulschyna/gutsulske-zhytlo>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

28. Данилюк А. Г. Українські скансени : історія виникнення, експозиції, проблеми розвитку : навч. книга / А. Г. Данилюк. – Тернопіль : Богдан, 2006. – 102 с. : фотоіл., рис. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: https://tourlib.net/books_ukr/danyljuk.htm, вільний).

29. Данкевич Н. О. Технологія будівництва з урахуванням клімату жарких країн : конспект лекцій : для іноземних студентів які навч. за спеціальністю «Будівництво та цивільна інженерія» ден. та заоч. форми навчання / Н. О. Данкевич ; Запор. держ. інж. ак-я. – Запоріжжя : ЗДІА, 2018. – 59 с.

30. Дах по-норвезьки [Електрон. документ]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://vova-comment.livejournal.com/38553.html>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

31. ДБН В.2.3–4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. – Чинний від 2016–04–01. – Київ : Мінрегіон України, 2015. – 104 с.
32. ДБН В.2.2–9:2018. Будинки та споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення. Зміна № 1. – Чинний від 2021–12–30. – Київ : Мінрегіон України, 2022. – 43 с.
33. ДБН В.1.1–31:2013. Захист територій, будинків і споруд від шуму. – Чинний від 2014–06–01. – Київ, Мінрегіон України, 2014. – 48 с.
34. ДБН В.2.2–16:2019. Культурно-видовищні та дозвіллеві заклади. – Чинний від 2019–11–01. – Київ : Мінрегіон України, 2019. – 93 с.
35. ДБН–360–92**. Містобудування. Планування та забудова міських та сільських поселень. – Чинний від 2009–02–01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 1999. – 20 с.
36. ДБН Б.2.2–12:2019. Планування і забудова територій. – Чинний від 2019–10–01. – Київ : Мінрегіон України, 2018. – 177 с.
37. ДБН В.2.5–28:2018. Природне і штучне освітлення. – Чинний від 2019–03–01. – Київ : Мінбуд України, 2018. – 133 с.
38. ДБН В.1.2–2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. – Чинний від 2007–10–01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2006. – 52 с.
39. ДБН В.2.6–31:2016. Теплова ізоляція будівель. – Чинний від 2017–05–01. – Київ : Мінрегіон, 2017. – 49 с.
40. ДБН В.2.6–31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – Чинний від 2022–09–01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2022. – 23 с.
41. ДСП № 173–96. Планування та забудова населених пунктів. Зі змінами. – Чинний від 2019–03–07. – Київ : Держбуд України, 1996. – 60 с.
42. ДСТУ ISO 7779:2005 Акустика. Вимірювання повітряного шуму, створюваного інформаційною технікою і телекомунікаційним устаткуванням. – Чинний від 2007–07–01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2009. – 53 с.
43. ДСТУ EN ISO 12001:2017. Акустика. Шум, утворюваний машинами та устаткуванням. Правила готування і подання методики випробувань на шум. – Чинний від 2019–01–01. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 20 с.
44. ДСТУ–Н Б В.2.2–27:2010. Будинки і споруди. Настанова з розрахунку інсоляції об'єктів цивільного призначення. – Чинний від 2011–01–01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. – 63 с.

45. ДСТУ Б EN 12354-1:2014. Будівельна акустика. Визначення акустичних характеристик будівель за характеристиками їх елементів. Частина 1. Ізоляція повітряного шуму між приміщеннями. – Чинний від 2017-01-01. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 83 с
46. ДСТУ Б EN 12354-2:2014. Будівельна акустика. Визначення акустичних характеристик будівель за характеристиками їх елементів. Частина 2. Ізоляція ударного шуму між приміщеннями. – Чинний від 2017-01-01. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 44 с.
47. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. – Чинний від 2011-11-1. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 123 с.
48. ДСТУ-Н Б В.1.1-32:2013. Настанова з проектування захисту від шуму в приміщеннях засобами звукопоглинання та екранування. – Чинний від 2014-01-01. – Київ : Мінрегіон України, 2014. – 44 с.
49. ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013. Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій. – Чинний від 2014-01-01. – Київ : Мінрегіон України, 2014. – 32 с.
50. ДСТУ-Н Б В.1.1-35:2013. Настанова з розрахунку шуму в приміщеннях і на територіях. – Чинний від 2014-01-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. – 54 с.
51. Дерев'яні будинки в різних країнах світу: наші споруди від Америки до В'єтнаму [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://dominant-wood.com.ua/ua/statti/641-derevyani-budinki-v-riznih-kra-nah-svitu-nashi-sporudi-vid-ameriki-do-vyetnamu>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.
52. Дідковський В. С. Архітектурна акустика : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напрямом підготов. «Акустотехніка» / В. С. Дідковський, С. А. Луньова, О. В. Богданов ; Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т» . – Київ : НТУУ «КПІ», 2012. – 383 с. : рис., табл.
53. Дідковський В. С. Шум і вібрація : підручник для студ. техн. спец. / В. С. Дідковський, П. О. Маркелов. – Київ : Вища школа, 1995. – 263 с. : іл.
54. Євразія. Клімат. Кліматичні пояси та області [Електрон. документ]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://geomap.com.ua/uk-g7/402.html>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.
55. Жидкова Т. В. Будівельна кліматологія : конспект лекцій : для студентів спец. «Будівництво та цивільна інженерія» / Т. В. Жидкова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 36 с.

56. Жидкова Т. В. Будівельна кліматологія : метод. вказівки до розрахунково-графічної роботи «Кліматичний паспорт міста» : для студентів спец. «Будівництво та цивільна інженерія» / Т. В. Жидкова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 24 с.

57. Жидкова Т. В. Будівельна фізика : підручник / Т. В. Жидкова, Т. М. Апатенко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 405 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/50374/>, вільний).

58. Житло народів світу [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://ethnolog.ru/world-house.php>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

59. Житло ресурсозберігаючої архітектури [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://pavelvladiv.livejournal.com/48131.html>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

60. Житло. Традиційні житла слов'янських народів землянки і напівземлянки [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://jak.bono.odessa.ua/articles/tradicijni-zhitla-slov-janskih-narodiv-zemljanki-i.php>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

61. Захарченко П. В. Тепло- та звукоізоляційні матеріали і виробни в енергозберігаючих технологіях : підручник для студ. вищ. навч. закладів / П. В. Захарченко. – Київ : Майстри, 2008. – 340 с.

62. Зорові ілюзії в дизайні інтер'єрів [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://www.triora.ua/zorovi-ilyuziyi-v-dyzajni-interjeriv/>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

63. Іглу. Матеріал з Вікіпедії [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Іглу>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

64. Карст. Матеріал з Вікіпедії [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Карст>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

65. Картографування шумового режиму центральної частини міста Києва : монографія / В. Е. Абракітов ; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2012. – 230 с.

66. Київські острови та прибережні урочища на Дніпрі – погляд крізь віки [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу:

<https://www.myslenedrevo.com.ua/uk/Sci/Kyiv/Islands.html>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

67. Класифікація кліматів Землі [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: http://lubbook.org/book_532_glava_52_3._Klasif%20ikacija_klimativ.html, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

68. Класифікація кліматів Кеппена. Матеріал з Вікіпедії [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Класифікація_кліматів_Кеппена, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

69. Клімат та основні кліматотвірні чинники [Електрон. документ]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://www.geograf.com.ua/meteorology/877-klimat-ta-osnovni-klimatotvirni-chinniki>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

70. Климчик О. М. Урбоекологія : навч.-метод. посіб. / О. М. Климчик ; Житомир. нац. агрокол. ун-т. – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2019. – 206 с. : рис., табл.

71. Коваль Л. М. Дизайн & LED-технології : монографія / Л. М. Коваль. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2014. – 130 с. : іл.

72. Коефіцієнт зволоження. Матеріал з Вікіпедії [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Коефіцієнт_зволоження, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

73. Корякін О. О. Основи музичної акустики : конспект лекцій : для здобувачів вищої освіти спеціальності «Музичне мистецтво» / О. О. Корякін. – Суми : ФОП Цьома С. П., 2021. – 132 с.

74. Культові будинки та споруди різних конфесій. Посібник з проектування / В. В. Куцевич. – 2-ге вид., перероб. та допов. – Київ : КиївЗНДІЕП, 2009. – 122 с.

75. Лаврик О. Д. Загальне землезнавство. Книга 1 : навч. посіб. / О. Д. Лаврик. – Умань : ПП Жовтий О. О., 2014. – 112 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: https://library.udpu.edu.ua/library_files/ece/6705_01.pdf, вільний).

76. Лаврик О. Д. Загальне землезнавство. Книга 2 : навч. посіб. / О. Д. Лаврик, О. І. Ситник, В. В. Цимбалюк. – Умань : ВПЦ «Візаві», 2021. – 214 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <http://eprints.zu.edu.ua/33242/>, вільний).

77. Лицкевич В. К. Основные принципы оценки климатов типологии жилища / В. К. Лицкевич, А. А. Гербурт-Гейбович. – М. : ЦНТИ по гражданскому строительству и архитектуре, 1969. – 28 с.

78. Майстерня ресурсозберігаючої архітектури [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://pavelvladiv.livejournal.com/48131.html>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

79. Маляренко В. А. Будівельна теплофізика : курс лекцій для студентів усіх форм навч. будівельних спеціальностей / В. А. Маляренко, О. М. Герасимова, О. І. Малєєв ; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2007. – 100 с.

80. Метеорологія і кліматологія : підручник / під редакцією д.ф.-м.н., професора С. М. Степаненка ; Одеський держ. екол. ун-т. – Одеса, 2008. – 533 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/6171/>, вільний).

81. Містобудування: довідник проєктувальника / за заг. ред. Т. Ф. Панченко; Державний науково-дослідний і проєктний ін-т містобудування «НДПІ містобудування», Український держ. НДІ проєктування міст «Діпромісто». – Київ : Укрархбудінформ, 2001. – 192 с.

82. Народна архітектура. Типи українських хат, осель. Фотоальбом народної архітектури [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://www.cult.gov.ua/news/2008-06-03-342-0>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

83. Національні будинки народів Африки круглі будинки, курені, будинки на палях і печери в пустелях [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://ua.waykun.com/articles/nacionalni-budinku-narodiv-afriki-krugli-budinki.php>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

84. Оздоблення монгольської юрти. Житло без заліза та бетону, або з чого зроблена юрта [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://kerchtt.ru/uk/ubranstvo-mongolskoi-yurty-zhilishche-bez-zheleza-i-betona-ili-iz-chego-sdelana-yurta/>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

85. Олейнікова І. В. Оптичні ілюзії чи явища? : навч. посіб. / І. В. Олейнікова, В. Є. Овчарек. – Київ : Наукова столиця, 2022. – 145 с. : рис.

86. Печенюк Т. Кольорознавство : підручник / Т. Печенюк ; Львів. нац. ак-мія мистецтв. – Київ : Грані-Т, 2009. – 192 с.

87. Практика інноваційних розробок у сфері територіально-просторового розвитку міст і регіонів : монографія / [Т. М. Апатенко, О. С. Белюбченко, Ю. І. Гайко, Е. А. Шишкін та ін.] ; за заг. ред. В. Т. Семенова, І. Е. Линник ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 300 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/43418/>, вільний).

88. (Проблеми нормування та розрахунку інсоляції житла / Р. І. Кінаш, М. Б. Яців, В. П. Лагуш, А. Ігнатюк // Вісн. нац. ун-ту «Львівська політехніка». – Львів : Політехніка. – 2009. – № 656. – С. 118–122.

89. Проблеми та перспективи розвитку житлової забудови в умовах комплексної реконструкції міста : монографія / [Ю. І. Гайко, Т. В. Жидкова, Е. А. Шишкін та ін.]; за заг. ред. Ю. І. Гайка, Т. В. Жидкової] ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 246 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/53203/>, вільний).

90. Проектування дерев'яних будинків у стилі шале : ключові етапи та поради [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://dom.ukr.bio/ua/articles/11624/>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

91. Проектування міських територій : підручник : [у 2 ч.] / [В. М. Бабаєв, В. Т. Семенов, Т. Д. Рищенко та ін.] ; за ред. В. Т. Семенова, І. Е. Линник ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – Ч. 1. – 449 с. – (Серія «Міське будівництво та господарство»). – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/51991/>, вільний).

92. Проектування міських територій : підручник : [у 2 ч.] / [В. М. Бабаєв, Т. Д. Рищенко, О. В. Завальний та ін.] ; за ред. І. Е. Линник, О. В. Завального ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – Ч. 2. – 544 с. – (Серія «Міське будівництво та господарство»). – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/55301/>, вільний).

93. Проектування світлових, звукових систем, механіки сцени [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://lightek.net.ua/proektuvannya-svitla-zvuku-sczeni/>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.

94. Пугачов Є. В. Видимість і зорове сприйняття в будівлях і спорудах для глядачів : навч. посіб. / Є. В. Пугачов, В. А. Зданевич ; Нац. ун-т

водного госп. та природокорист. – Рівне: НУВГП, 2014. – 150 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <https://ep3.nuwm.edu.ua/2223/>, вільний).

95. Реконструкція цивільних та промислових будівель і споруд : підручник / [В. М. Бабаєв, Т. Д. Рищенко, О. В. Завальний та ін.] ; за ред. Е. А. Шишкіна, О. В. Завального ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 404 с. – (Серія «Міське будівництво та господарство»). – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/60932/>, вільний).

96. Реновація промислової забудови та її адаптація до сучасного міського середовища : монографія / [Ю. І. Гайко, Є. Ю. Гнатченко, О. В. Завальний, Е. А. Шишкін] ; за заг. ред. Ю. І. Гайка, Е. А. Шишкіна ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 355 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/57691/>, вільний).

97. Розрахунок природного освітлення та проектування світлопрозорих елементів на фасадах будівель : навч. посіб. / [Є. В. Вітвіцька, О. В. Сергейчук, Д. О. Бондаренко та ін.] ; за заг. ред. Є. В. Вітвіцької – Одеса : ФОП «Фрідман О. С.», 2014. – 154 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <http://mx.ogasa.org.ua/handle/123456789/809>, вільний).

98. Романова Е. Н. Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата / Е. Н. Романова ; Главное упр. гидрометеор. службы при совете м-ов СССР. – Л. : Гидрометеиздат, 1977. – 279 с.

99. Самойлович В. П. Українське народне житло (кінець ХІХ – початок ХХ ст.) / В. П. Самойлович. – Київ : Наукова думка, 1972. – 56 с.

100. Сергейчук О. В. Архітектурно-будівельна фізика. Теплотехніка огорожуючих конструкцій будинків : навч. посіб. для студ. архіт. та буд. спец. / О. В. Сергейчук ; Ін-т змісту і методів навчання, Київ. держ. ун-т буд-ва і архіт. – Київ : Такі справи, 1999. – 160 с.

101. Скриль І. Н. Основи архітектурної світлології (розрахунок і проектування природного, штучного й суміщеного освітлення та інсоляції) : навч. посіб. для студ. архітектурних та будівельних спец. вищ. навч. закладів / І. Н. Скриль, С. І. Скриль. – Київ : Вища школа, 2006. – 214 с.

102. СНиП 23–01–99* Строительная климатология. – Чинний від 1984–01–01. – Москва : Госстрой, 2000. – 98 с.

103. СНиП РК 2.04–01–2010. Строительная климатология. – Чинний від 2012–06–01. – Астана : Агентство Республики Казахстан по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства, 2012. – 96 с.

104. СНБ 2.04.02–2000. Строительная климатология. – Чинний від 2001–07–01. – Минск : Стройтехнорм, 2001. – 37 с.
105. Степанов Н. Н. Цвет в интерьере / Н. Н. Степанов. – Киев : Вища шк. Головное изд-во, 1985. –184 с.
106. Тимофеев М. В. Комплексна оцінка кліматичних умов житлової забудови : навч. посіб. для студ. ВНЗ / М. В. Тимофеев, О. В. Сергейчук, Г. В. Шамріна ; Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. – Київ : КНУБА, 2018. – 131 с. : рис., табл.
107. Тимофеев Н. В. Строительная климатология : конспект лекций для специальности «Архитектура» / Н. В. Тимофеев ; Донбас. нац. акад. строит. и арх. – Макеевка : ДНАСА, 2012. – 48 с.
108. Топорков В. Г. Архітектурна колористика : навч. посіб. / [В. Г. Топорков] ; за заг. ред. В. Г. Топоркова ; Нац. ун-т «Полтав. політехніка ім. Ю. Кондратюка». – Полтава : ПНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2022. – 235 с.
109. Урбоекологія : підручник / І. А. Василенко, О. А. Півоваров, І. М. Трус, А. В. Іванченко ; Держ. вищий навч. закл. «Український держ. хіміко-технол. ун-т». – Дніпро : Акцент ПП, 2017. – 308 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <http://globalnauka.com/download/Urb.pdf>, вільний)
110. Фізико-географічна характеристика Африки [Електрон. документ]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://www.geograf.com.ua/physical-school-course/431-fiziko-geografichna-kharakteristika-afriki>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.
111. Філоненко О. Будівельна фізика: захист від шуму : навч. посіб. / О. Філоненко, Н. Магас ; Нац. ун-т «Полтав. політехніка ім. Ю. Кондратюка». – Полтава : Астроя, 2019. – 320 с. : рис., табл.
112. Хіва [Електрон. документ]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Хіва>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.
113. Цигичко С. П. Екологія в архітектурі і містобудуванні : навч. посіб. / С. П. Цигичко ; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2012. – 146 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/27128/>, вільний).
114. Шаніна Т. П. Урбоекологія : конспект лекцій / Т. П. Шаніна, В. Ю. Приходько, В. А. Кузьміна ; Одеський держ. еколог. ун-т. – Одеса : ОДЕКУ, 2019. – 140 с.

115. Що таке оптичні ілюзії [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://www.creativosonline.org/uk/оптичні-ілюзії.html>, вільний (дата звернення: 22.06.2023). – Назва з екрана.
116. Beranek Leo. Concert halls and opera houses : music, acoustics, and architecture / Leo Beranek. – New York : Springer, 2004. – 56 p.
117. McCandless D. Concert holls. Specifying for sound performance / David McCandless ; The construction specifier. The official magazine of the construction specifications institute, April 1990. – 68 p.
118. January 10, 1919 : Death of Wallace Sabine, pioneer of architectural acoustics [Electronic resource] / Washington : American Physical Society News, № 1 (APS). – 2011. – Regime of access: <https://www.aps.org/publications/apsnews/201101/physicshistory.cfm>, free (date of the application: 22.06.2023). – Header from the screen.
119. Kuusinen A. Perception of Concert Hall Acoustics – Selection and Behaviour of Assessors in a Descriptive Analysis Experiment / A. Kuusinen ; Aalto University School of Electrical Engineering. – Otaniemi, 2011. – 93 p.
120. Marshall Long. Architectural Acoustics / Long Marshall // Applications of Modern Acoustics Series. – Elsevier Academic Press, 2006. – 984 p.
121. Howard D. Acoustics and Psychoacoustics / D. Howard, J. Angus. – G-B. : Focal-Press, 2006, – 412 p.
122. Revit for architecture [Electronic resource]. – Regime of access: <https://www.autodesk.com/products/revit/architecture>, free (date of the application: 22.06.2023). – Header from the screen.
123. Rossing T. Handbook of Acoustics / T. Rossing ; Stanford University. – 2nd ed. – Stanford : Springer, 2014. – 1284 p.
124. Rossing T. D. The Physics of Musical Instruments / T. D. Rossing, N. H. Fletcher. – New York : Springer-Verlag, 1991. – 755 p.
125. Sabine W. C. Collected Papers on Acoustics [first published by Harvard University Press, 1922] / W. C. Sabine. – New York : Dover Publications, 1964. – 302 p.
126. Shadow Analysis [Electronic resource]. – Regime of access: <https://deltacodes.eu/en>, free (date of the application: 22.06.2023). – Header from the screen.

127. Tohyama M. The Nature and Technology of Acoustical Space / M. Tohyama, H. Suzuki, Y. Ando. – London : Academic Press, 1995. – 321 p.

128. Toole F. E. Sound Reproduction : the Acoustics and Psychoacoustics of Loudspeakers and Rooms / F. E. Toole. – New York : Taylor & Francis, 2008. – 550 p.

129. With DIALux we simplify lighting design for you [Electronic resource]. – Regime of access: <https://www.dialux.com/en-GB/>, free (date of the application: 22.06.2023). – Header from the screen.

ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК

А

- Абсолютна вологість повітря** Характеризується кількістю вологи (у грамах), у 1 м³ повітря.
- Абсолютна температура** Температура, яка спостерігається в певному кліматичному регіоні (зоні).
- Адаптація** Здатність зорового аналізатора зменшувати свою чутливість при переході від низької до високої освітленості (світлова адаптація), яка настає доволі швидко (за 2–3 хвилини) і обумовлена перетворенням зорового пурпуру у захисний чорний пігмент у сітківці ока та збільшувати цю чутливість при переході від високої до низької освітленості (темнова адаптація), яка триває значно довше – до 40–60 хвилин і обумовлена відновленням зорового пурпуру у сітківці ока.
- Азимут сонячних променів** Кут у горизонтальній площині, утворений горизонтальною проекцією сонячного променя і напрямком меридіана.
- Архітектурна акустика** Частина будівельної фізики, галузь акустики. Вивчає закони поширення в будинках і містобудівних утвореннях звукових хвиль, акустичний режим приміщень різного призначення, акустичні характеристики будівельних матеріалів і виробів, несучих і захисних конструкцій, умови планування і забудови населених пунктів з метою захисту середовища життєдіяльності людини від негативних шумових впливів і створення оптимального акустичного режиму.
- Акустичний клімат** Сукупність деяких природно-кліматичних і акустичних характеристик навколишнього середовища (напрямок вітрів, вид підстільних поверхонь і рівні транспортних та виробничих шумів).

Акустичний екран

Звукоізолювальна перепона певних розмірів і відповідної форми, яку встановлюють у приміщенні між джерелом (джерелами) шуму і робочим місцем або частиною приміщення, що потребують захисту від шуму цього джерела або групи джерел.

Архітектурна кліматологія

Наука, яка розкриває зв'язки між кліматичними умовами та архітектурою будівель або містобудівних утворень. Оволодіння навичками кліматичного аналізу дозволяє архітектору правильно оцінити і врахувати дії кліматичних факторів місця будівництва, створити в штучному середовищі сприятливі мікрокліматичні умови, знайти виразну архітектурну форму, індивідуальний образ.

Архітектурно-будівельний кліматичний район

Територія з порівняно однорідними кліматичними умовами, зумовленими спільністю синоптичних процесів, інженерно-геологічних та соціально-економічних умов, що визначають типологію будинків (згідно з ДСТУ–Н Б В.1.1–27:2010 [47]).

Архітектурно-будівельний кліматичний підрайон

Частина архітектурно-будівельного кліматичного району зі своєрідними кліматичними умовами, зумовленими вертикальною поясністю, географічними особливостями, місцевою циркуляцією атмосфери (згідно з ДСТУ–Н Б В.1.1–27:2010 [47]).

Б**Блискавість**

Властивість світлових приладів чи поверхонь, що світять, за несприятливого стану між їхньою яскравістю, силою світла й яскравістю адаптації, порушувати умови комфортного зорового сприйняття чи погіршувати контрастну чуттєвість ока, або здійснювати одночасно обидві ці дії.

Будівельна акустика	Галузь знань будівельної фізики про звук, яка вивчає пружні коливання і хвилі від низьких частот до порогово високих, їхнє розповсюдження в різних середовищах, придушення, ослаблення й обмеження поширення небажаних звуків, що прийнято називати шумами.
Будівельна кліматологія	Частина будівельної фізики, що вивчає кліматичні впливи на будівлі й споруди.
Будівельна теплофізика	Розділ будівельної фізики, у якому розглядаються процеси передачі тепла, вологи й повітря в будинках і спорудах та огорожувальних конструкціях, а також встановлюються методи розрахунку цих процесів.
Будівельна світлотехніка	Наука, що вивчає оптичні характеристики та закони розповсюдження і розподілу світлової енергії у відкритому або закритому просторі, практичні прийоми використання освітлення з утилітарною, естетичною і художньою метою, способами вимірювання та оцінки оптичних якостей будівельних і огорожувальних матеріалів.
Будівельна фізика	Наукова дисципліна, що вивчає фізичні явища і процеси, пов'язані з експлуатацією будинків (споруд), несучих і огорожувальних конструкцій.
В	
Вентиляція	Напрямок потоків повітря з місць з найменшим забрудненням у місця з найбільшим забрудненням.
Вібрація	Механічне коливання пружних тіл. Найпростішим видом таких коливань є гармонійні коливання, за яких відбувається почергове наростання та спадання в часі (за синусоїдальним законом) значень рухомої точки чи механічної системи.

Відбитий звук	Звук, що надходить у точку прийому після одноразового або багаторазового відбиття від огорожувальних поверхонь приміщення чи інших поверхонь у приміщенні або від споруд і рельєфу на місцевості.
Відносна вологість	Величина, яка характеризує інтенсивність випарювання вологи тілом людини, що знаходиться в повітрі певної вологості.
Вітер	Переміщення повітря, викликане нерівномірним розподілом атмосферного тиску на поверхні землі внаслідок неоднакового нагріву шару земної підстільної поверхні.
Відбита блискість	Виявляється за наявності в полі зору елементів дзеркального відображення світних поверхонь, зокрема за наявності відбитих зображень, видимих до напрямку зору (у картинних галереях, проєктних кімнатах тощо).
Випромінювання видиме (світло)	Випромінювання, яке може безпосередньо викликати зорове відчуття. Межі спектральної області світла умовні і можуть вибиратися різними для різних застосувань. Нижня межа вважається такою, що лежить між 380 нм и 400 нм, верхня – між 700 нм і 780 нм.
Вологообіг	Складається з випарювання води в атмосферу з водоймищ та суші, транспірації рослин; перенесення водяної пари у високі шари атмосфери – конвекція; повітряними течіями загальної циркуляції атмосфери; з конденсації водяної пари у вигляді хмар і туманів; із перенесення хмарами повітряними потоками та опадами із їхнього подальшого стоку.
Г	
Геометричний коефіцієнт природної освітленості	Відношення площі ортогональної проєкції на робочу площину ділянки умовної небесної півсфери, видимої з розрахункової точки через незаповнений світлопроріз або його частину, від якої розраховується освітленість, до площі основи небесної півсфери.

<p>Гострота зору (гострота розрізнення)</p>	<p>У разі розрахунку геометричного коефіцієнта природної освітленості від протилежного будинку – відношення площі ортогональної проєкції на робочу площину ділянки небесної півсфери, що затінюється будинком у розрахунковій точці, до площі основи небесної півсфери.</p> <p>Здатність зорового аналізатора розрізняти найменші деталі об'єкта. Визначається найменшим кутом, під яким дві суміжні точки розрізняються як окремі. Умовно вважають, що гострота зору дорівнює одній радіальній хвилині. Гострота розрізнення зростає пропорційно освітленості до 130–150 лк, а з подальшим збільшенням освітленості це зростання сповільнюється.</p>
<p>Дифракція звукових хвиль</p>	<p>Д</p> <p>Здатність у разі поширення обгинати зустрічні перешкоди. Розміри перешкод мають бути порівняні з довжиною хвилі або бути менше за неї – неодмінна умова дифракції.</p>
<p>Заливаюче освітлення</p>	<p>З</p> <p>Загальне (рівномірне чи нерівномірне) освітлення ділянки місцевості, фасаду об'єкта або його значної частини прожекторами заливаючого світла, розташованими на деякій відстані, для значного збільшення освітленості порівняно з освітленістю навколишнього поля.</p>
<p>Звуковий тиск</p>	<p>Міра інтенсивності звукових хвиль у будь-якій точці простору, тобто різниця між миттєвим значенням повного тиску й середнім тиском середовища за відсутності звукових хвиль. У фазі стиску тиск позитивний, у фазі розрідження – негативний.</p>
<p>Зір</p>	<p>Функція органа зору і зорового аналізатора, що полягає в сприйнятті і перетворенні енергії світла, випромінюваного і відбитого різними об'єктами, і одержаної інформації про навколишній світ.</p>

Зовнішнє архітектурне (архітектурно-художнє) освітлення	Штучне освітлення фасадних поверхонь архітектурних і природних об'єктів за законами зорової гармонії і краси, яке забезпечує їм художню виразність у темний час доби, відповідає вимогам екології зорового сприйняття і соціально-економічної ефективності.
Зорове відчуття	Перший етап зорового сприйняття, що виникає у вищих відділеннях нервової системи в результаті дії випромінювання на орган зору.
Зоровий дискомфорт	Відчуття незручності або напруги, що виникає при незадовільному розподілу яскравості в освітленому просторі. Призводить до відволікання уваги, зниження зосередженості, до зорової і загальної стомлюваності.
Зорове сприйняття	Усвідомлений процес приймання і перетворення інформації, отриманої органами зору і додатковою пам'яттю. Зорові сприйняття беруть участь, зокрема, у створенні наших уявлень про існування, форму і розташування предметів.
Звуковий тиск (Па)	Різниця між миттєвим значенням повного тиску і середнім тиском, який спостерігається в середовищі за відсутності звукового поля. У фазі стиску тиск є позитивний, а у фазі розрідження – негативний.
I	
Індекс кольоропередачі джерела світла	Міра відповідності зорового сприйняття кольорового об'єкта, освітленого досліджуваним (реальним, існуючим у певній ситуації) і стандартним джерелом світла за певних умов спостереження.
Інтимний масштаб	Створюється композицією будинків, їхнім пластичним обробленням, розглянутих з невеликих відстаней, утворення забудови будинками курдонерного типу.
Інсоляція	(Лат. <i>In-sol</i> , <i>in</i> – усередину + <i>solis</i> – сонце) – опромінення сонячним світлом (сонячною радіацією) поверхонь під різними кутами

	<p>нахилу. Інсоляцією (від лат. <i>In solo</i> – виставляю на сонце) називають опромінення поверхні, простору паралельним пучком променів, що надходять із напрямку, у якому видно у цей момент часу центр сонячного диска.</p>
Інтенсивність звуку	<p>Потужність на одиницю площі, передану в напрямку поширення звукових хвиль.</p>
Інфразвук	<p>Пружні хвилі, низькочастотні коливання, аналогічні звуковим хвилям у межах частот 16–25 Гц.</p>
К	
Карта шуму	<p>Карта території з джерелами шуму (вулично-дорожня мережа, залізниці, промислові зони, окремі промислові і енергетичні об'єкти) з нанесеними лініями однакових рівнів звуку на місцевості в дБА з певним інтервалом.</p>
Клімат	<p>(Гр. <i>Klima- klimatos</i> – ухил) – це сукупність і послідовна зміна всіх можливих у певній місцевості станів атмосфери (умов погоди), що формуються в результаті впливу різних кліматоутворювальних факторів. Клімат виражається в багаторічному режимі погоди, що спостерігається в цій місцевості.</p>
Кліматологія	<p>Наука про клімат, його формування та географічний розподіл. Дані кліматології є підставою для створення в населених пунктах оптимального мікроклімату; забезпечення необхідної аерації й інсоляції забудови, будівель і окремих приміщень; розрахунку систем опалення і вентиляції, добору потрібних матеріалів і конструкцій.</p>
Кліматичне районування	<p>Основа кліматичного районування Землі полягає в розподілі територій на пояси, зони й області з більш-менш однорідними умовами клімату.</p>
Коефіцієнт природної освітленості (КПО)	<p>Відношення природної освітленості, яка створюється в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба (безпосереднім або після відбивання), до</p>

	одночасного значення зовнішньої горизонтальної освітленості, яка створюється світлом повністю відкритого небосхилу за умов хмарності району будівництва згідно з ДСТУ–Н Б В.1.1–27:2010.
Колір	Особливість зорового сприйняття, яка дозволяє спостерігачу розпізнати колірні стимули (випромінення), що розрізняються за спектром.
Колориметрія	Сукупність засобів математичного опису кольорів та методи їхнього виміру (кількісне визначення).
Кольорознавство	Наука про колір, систематизація сукупних даних з фізики, фізіології, психології та інших наук, що розглядають питання сприйняття людиною кольору, вплив кольору на людину, систематизацію і вимір кольору.
Кольоровий тон	Позначає власне колірні відчуття – червоний, синій тощо, які породжуються випромінюванням визначеної довжини хвилі.
КПО (e_n)	Відношення природного освітлення, створеного світлом неба у будь-якої точці заданої площині у приміщенні, до одночасного значення зовнішньої горизонтальної освітленості під відкритим небосхилом.
Коефіцієнт повітропроникності	Коефіцієнт, що визначає кількість повітря, що передається через одиницю площі (m^2) шару матеріалу за одиницю часу (год) за стаціонарного градієнта перепаду тисків повітря (1 Па/м).
Коефіцієнт паропроникності	Коефіцієнт, що визначає кількість вологи, що передається у вигляді пари через одиницю площі (m^2) шару матеріалу за одиницю часу (год) при стаціонарному градієнті перепаду парціальних тисків водяної пари (1 Па/м).
Коефіцієнт тепловіддачі	Коефіцієнт, що визначає кількість теплоти, що сприймається чи віддається одиницею площі (m^2) конструкції за одиницю часу за різниці температури середовища і температури поверхні конструкції, яка дорівнює 1 К.

Коефіцієнт теплозасвоєння	Коефіцієнт, що визначає зміну температури матеріалу в конструкції за гармонійної зміни температури зовнішнього середовища з періодом 24 год.
Коефіцієнт теплопередачі	Коефіцієнт, що визначає кількість теплоти, що передається через одиницю площі (m^2) конструкції за одиницю часу за різниці температур середовищ, що їх розділяє конструкція, яка дорівнює 1 К.
Коефіцієнт теплостійкості	Коефіцієнт, що визначає величину зміни температури у матеріалі за гармонійної зміни температури зовнішнього середовища з періодом 24 год.
Конвекція	(Лат. <i>Convectio</i> – привезення, приношення) – процес поширення тепла, що виникає в результаті механічного переміщення частки речовини газоподібного або рідкого середовища з однієї частини простору в іншу.
Л	
Ландшафтний масштаб	Створюється просторовими елементами міста, розглянутими з великих відстаней (площі фокусного типу, мережа перетинів проспектів вулицями, площами, каналами і які завершуються високими будівлями).
М	
МЕК	Міжнародна електротехнічна комісія (англ. <i>International Electrotechnical Commission, IEC</i> ; фр. <i>Commission électrotechnique internationale, CEI</i>) – міжнародна некомерційна організація із стандартизації у сфері електричних, електронних і суміжних технологій. Деякі зі стандартів МЕК розробляються спільно з Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO).
Мікроклімат	Комплекс фізичних факторів навколишнього середовища у відокремленому просторі, який впливає на тепловий обмін людини.
МКО	Міжнародна комісія з освітлення (<i>International Commission on Illumination (CIE)</i>).

Н

Насиченість

Характеристика зорового відчуття, яка використовується для оцінки відмінності певного кольору від ахроматичного кольору тієї ж яскравості і яка приблизно відповідає величині колірною розходження між цим кольором і ахроматичним кольором тієї ж яскравості.

О

Опір теплопередачі

Величина, що визначає здатність конструкції чинити опір тепловому потоку, що через неї проходить, та є зворотною до коефіцієнта теплопередачі.

Освітленість

Поверхнева площа світового випромінювання, що падає на нормально освітлювану поверхню та дорівнює відношенню світлового потоку до величини поверхні, яку цей потік рівномірно освітлює (опромінює).

П

Периферійна блискітність

Виявляється за наявності в полі зору елементів дзеркального відбиття світлових поверхонь (вікон, світильників та інших) у напрямках, що не збігаються з напрямком зору.

Погода

Стан метеорологічних процесів за короткий відрізок часу (доба, декілька годин), який є критерієм під час вивчення й співставлення клімату різних районів Землі.

Пряма блискітність

Модель, що передбачає пріоритет розвитку у місті промислового виробництва та розвиток структур, що його забезпечують.

Р

Реверберація (ревербераційний процес)

Процес поступового завмирання звуку в приміщенні після припинення дії джерела звучання.

Резонанс

Явище різкого зростання інтенсивності змущених коливань у будь-якій системі, що настає у разі наближення частоти періодичного зовнішнього впливу до частоти власних коливань системи.

Роза вітрів Графічне зображення напрямку, повтору й інтенсивності пануючих у певній місцевості вітрів.

С

Світло Електромагнітне випромінювання, яке має хвильові й корпускулярні (квантові) властивості, що поширюються в просторі з граничною швидкістю до 300 000 км/с.

Світлова архітектура Альтернатива світловому оформленню міста, що ставить за мету переважно насичення головних вулиць і центра міста засобами рекламного та вітринного освітлення.

Світлова панорама міста Поняття про доцільність використання штучного світла для архітектурної виразності міста у вечірній час.

Сонячна радіація Оптична частина спектра променистої енергії сонця, яка розподіляється на світлову, ультрафіолетову (еритемну, бактерицидну), теплову радіацію сонця, а також поділяється на пряму, розсіяну і відбиту.

Т

Теплоінерційність (теплостійкість) будинку Основна теплотехнічна характеристика, що залежить від ступеня передачі огорожувальними конструкціями тепла, повітря, вологості.

Теплообмін Сукупність явищ, пов'язаних із поширенням теплової енергії від більш нагрітих тіл до інших. Розрізняють три види теплообміну: теплопровідність, конвекцію і випромінювання.

Теплопровідність (Англ. *Conductivity* – кондукція, електропровідність) називають теплообмін між частками тіла, що знаходяться у зіткненні один з одним.

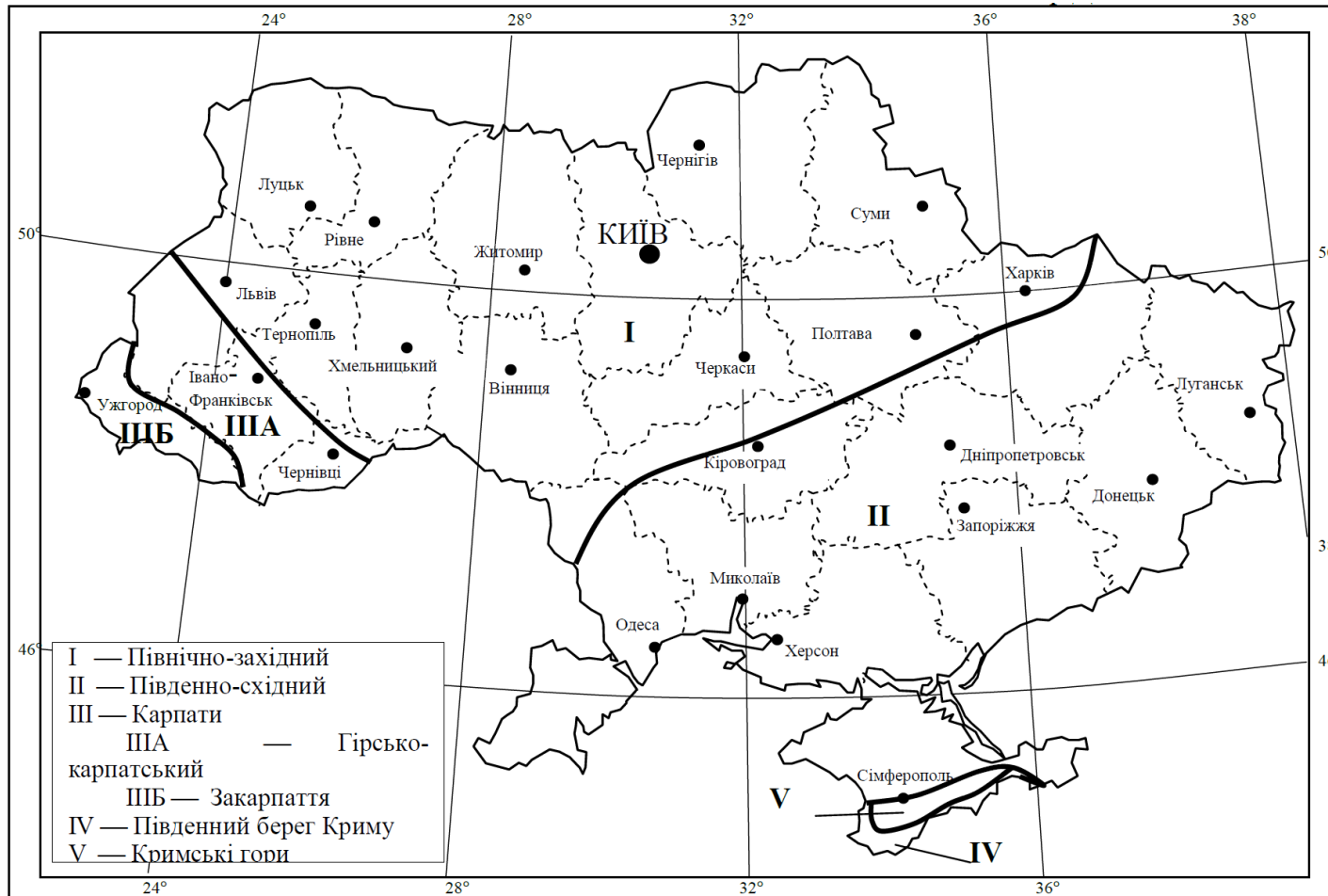
Теплопровідність Кількість теплоти, що передається через одиницю площі (m^2) шару матеріалу за одиницю часу (с) за стаціонарного градієнта температур 1 К.

Теплостійкість конструкції	Властивість конструкції зберігати відносну стабільність температури під час коливань теплового потоку.
Точка роси	Це температура, під впливом якої настає повне насичення повітря водяною парою.
У	
Ультразвук	Пружні коливання і хвилі, частота яких перевищує верхню межу діапазону звукових частот.
Ч	
Час реверберації	Час загасання звукової енергії, яка спостерігається після припинення звучання джерела.
Чистота кольору	Ступінь наближення певного кольору до чистого спектрального, що визначається в частках одиниці (наближено до поняття в колориметрії <i>чистого кольору</i>).
Ф	
Фронт звукової хвилі	Фронт, що рухається в просторі хвилі, є безперервна поверхня, усі точки якої в певний момент часу мають однакову фазу коливання.
Ш	
Шум	Нестійкі або випадкові акустичні коливання, що характеризуються випадковою зміною амплітуди і частоти.
Шум структурний	Механічна вібрація будівельних конструкцій, яка виникає під час їхнього збудження динамічними силами, поширюється по конструкціях будинку і випромінюється цими конструкціями у вигляді повітряного шуму.
Шум ударний	Повітряний шум, який випромінюється огорожувальною конструкцією під час її збудження динамічними силами.
Я	
Яскравість	Світлова величина, яка безпосередньо визначається оком та становить поверхневу густину сили світла в заданому напрямку.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Карта архітектурно-будівельного кліматичного районування території України [47]



Таблиця А.1 – Кліматологічні показники (характеристики) архітектурно-будівельних кліматичних районів та підрайонів

Кліматичний район, підрайон		Температура повітря, °С				Кількість опадів за рік, мм	Відносна вологість у липні, %	Середня швидкість вітру у січні, м/с
		Середня за		Абсолютний мінімум	Абсолютний максимум			
		січень	липень					
I – Північно-західний		від –5 до –8	від 18 до 20	від –37 до –40	Від 37 до 40	від 550 до 700	від 65 до 75	від 3 до 4
II – Південно-східний		від –2 до –6	від 21 до 23	від –32 до –42	Від 39 до 41	від 400 до 500	менше 65	від 4 до 6
III – Українські Карпати	ША – Гірсько-карпатський	–7	14	–38	35	1 600	від 77 до 81	3
	ПБ – Закарпатський	–4	19	–32	39	1 000	більше 70	3
IV – Південний берег Криму		3	23	–20	39	600	менше 60	від 4 до 5
V – Кримські гори		–	16	–27	32	1 060	70	від 4 до 5

ДОДАТОК Б

Сума опадів, що проходять через умовну вертикальну поверхню

Таблиця Б.1 – Сума опадів, що проходять через умовну вертикальну поверхню

Інтенсивність дощу	Швидкість вітру, м/с						
	1	3	5	8	10	15	20
0,0008	0,003	0,008	0,015	0,025	0,030	0,050	0,070
0,004	0,005	0,017	0,027	0,044	0,058	0,090	0,120
0,016	0,008	0,025	0,041	0,062	0,080	0,130	0,170
0,066	0,016	0,049	0,083	0,125	0,160	0,250	0,330
0,08	0,019	0,059	0,099	0,146	0,190	0,290	0,400
0,1	0,023	0,070	0,116	0,175	0,231	0,350	0,470
0,2	0,041	0,124	0,206	0,315	0,410	0,620	0,830
0,4	0,073	0,228	0,366	0,550	0,733	1,110	1,470
0,8	0,130	0,393	0,654	1,020	1,309	1,970	2,600
1,0	0,159	0,475	0,753	1,170	1,583	2,370	3,150

ДОДАТОК В

Типологічні вимоги до житлових будинків у різних кліматичних підрайонах

Таблиця В.1 – Типологічні вимоги до житлових будинків у різних кліматичних підрайонах

Вимоги	I район крім I B	II район и I B	III район	IV район
Висота поверху	3,0 м	2,8 м	2,8 м	2,8 м
Площа квартир	Норма +10 %			
Провітрювання наскрізне, кутове			Обов'язково, можна через сходи	Обов'язково
Сонцезахист			Обов'язково, на вікнах	Обов'язково, на вікнах, лоджіях
Балкони, лоджії	За сприятливих умов	Допускаються	Обов'язково	
Сушильні шафи	Обов'язково			
Ліфти (з позначки)	12 м	14 м	12 м	14 м
Сходи (основні)	Закриті опалювальні			Допускаються зовнішні
Тамбури: Одинарні Подвійні	Обов'язково	з 1 поверху, 4–12 поверх	із 12 поверху із 16 поверху	із 12 поверху із 16 поверху

ДОДАТОК Г

Типологічні вимоги щодо вибору архітектурних рішень і режимів експлуатації території і будівель для міст України

Таблиця Г.1 – Типологічні вимоги щодо вибору архітектурних рішень і режимів експлуатації території і будівель для міст України

Клас погоди	Режим експлуатації	Типологічні вимоги		
		Архітектурно-планувальне рішення	Конструктивне рішення	Інженерно-технічне рішення
1	2	3	4	5
Жарка (волога) Жв	<i>Ізольований (літо)</i> I+	Максимальна аерація територій та будівель. Компактні об'ємно-планувальні рішення, відкриті приміщення для вечірнього та нічного відпочинку. Наскрізне провітрювання. Затінювання пішохідних шляхів будівлями. Захист територій від перегрівання зеленими насадженнями. Затінювання і активна аерація міських просторів	Одинарне або подвійне скління. «Дихаючі» огороження високих теплозахисних властивостей	Повне кондиціювання, штучний мікроклімат у приміщеннях, максимальна аерація. Інтенсивна вентиляція
Жарка суха Жс	<i>Закритий (літо)</i> 3+	Компактні об'ємно-планувальні рішення, зменшення теплонадходжень. Інтенсивний теплозахист території та будівель. Обводнення і озеленення територій. Захист від суховіїв	Для захисту від перегрівання конструкції необхідних теплозахисних і повітронепроникних властивостей. Сонцезахист стін та вікон будівель	Штучне охолодження повітря без зниження його вологості. Кондиціювання, механічні вентилятори
Тепла Т	<i>Напіввідкритий (літо)</i> НВт	Вільна забудова; двостороннє планування квартир з активним провітрюванням; сонцезахист і аерація території та будівель	Трансформація огорожувальних конструкцій; сонцезахист на фасадах будівель; захист приміщень від перегрівання	Механічні вентилятори, фени; штучне охолодження приміщень

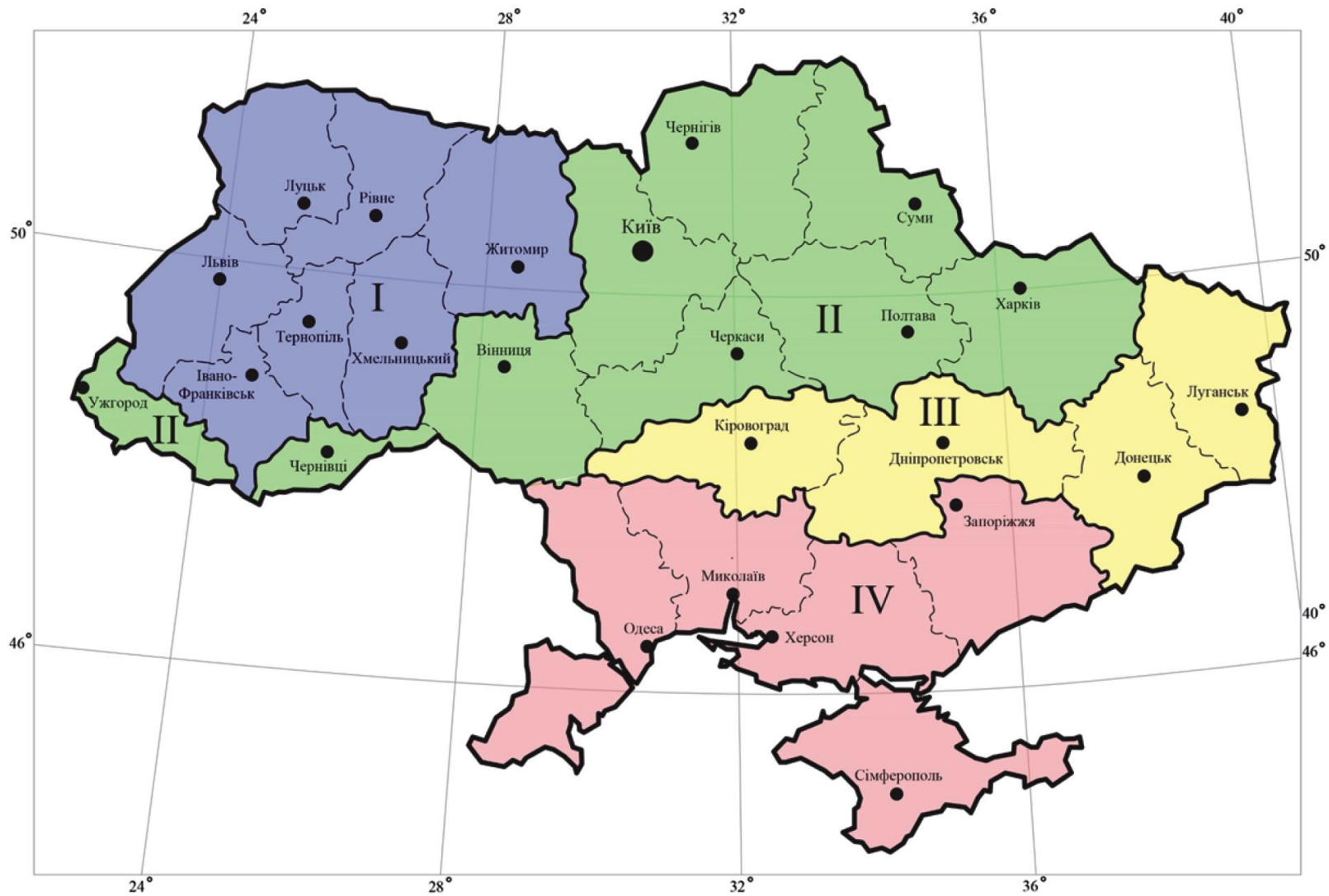
Продовження таблиці Г.1

1	2	3	4	5
Комфортно-тепла КТ	<i>Відкритий із захистом від перегрівання</i> B +	Вільна забудова; обводнення і озеленення; сонцезахист і аерація територій та будівель; наскрізне і кутове провітрювання; відкриті приміщення, лоджії, галереї, веранди, сходи напіввідкриті без тамбурів	Трансформація огорожень; сонцезахист на фасадах будівель; захист приміщень від перегрівання; огороження, що зменшують теплонадходження	Механічні вентилятори, фени та кондиціонери
Комфортна К	<i>Відкритий</i> B	Відкриті приміщення, лоджії, веранди, балкони; побутові процеси на відкритому повітрі	Трансформація огорожень (не висуваються вимоги до теплоізоляції)	Не використовуються
Прохолодно-комфортна ПК	<i>Напіввідкритий із захистом від легкого перегрівання</i> НВ +	Помірно компактні об'ємно-планувальні рішення; захист території від вітру зеленими насадженнями або напівзамкненою забудовою	Одинарне або подвійне скління; огороджувальні конструкції середніх теплозахисних властивостей	Електричні фени; вентиляція природна, кондиціонери
Прохолодна П	<i>Напіввідкритий (зима)</i> НВ	Орієнтація на сонці; помірно компактні об'ємно-планувальні рішення; захист території від вітру зеленими насадженнями	Одинарне скління; огороджувальні конструкції середніх теплозахисних властивостей.	Опалювання малої потужності; вентиляція природна
Прохолодно-холодна ПХ	<i>Напіввідкритий із захистом від легкого охолодження</i> НВ –	Орієнтація будівель на північ – південь; наскрізне провітрювання, відкриті приміщення, лоджії, галереї, веранди, сходи напіввідкриті без тамбурів	Подвійне скління; огороджувальні конструкції необхідних теплозахисних і повітронепроникних властивостей; сучасні енергозберігаючі вікна	Регулярне центральне опалювання середньої потужності; кондиціонери
Холодна Х	<i>Закритий (зима)</i> З	Замкнена компактна схема забудови. Захист території від небезпечних вітрів будівлями. Орієнтація на сонячні сторони. Зменшення тепловтрат, теплі сходи, тамбури	Огороження необхідних теплозахисних і повітронепроникних властивостей; подвійне та потрійне скління	Регулярне центральне опалювання середньої потужності; вентиляція природна

Закінчення таблиці Г.1

1	2	3	4	5
Холодно-сувора ХС	<i>Закритий – з активним вітро-тепло-володозахистом</i> З –	Захист від переохолодження; замкнена компактна забудова з вітрозахистом; зменшення розміру двору (не більше двох висот будівель); захист території від небезпечних вітрів будівлями підвищеної поверховості плюс озеленення; зниження небезпечних зимових вітрів і вологи; орієнтація на сонячні сторони; зменшення тепловтрат; теплі сходи та тамбури	Огородження високих теплозахисних і повітронепроникних властивостей; подвійне та потрійне скління; сучасні енергозберігаючі вікна з високими теплозахисними властивостями	Регулярне центральне опалювання великої потужності
Сувора С	<i>Ізольований (зима)</i> I –	Максимальна компактність забудови. Захист території від вітрів будівлями. Теплі переходи між будівлями, теплі зупинки громадського транспорту. Мінімальні тепловтрати: закриті опалювані сходи, мінімальна кількість входів у будівлі, подвійні тамбури	Огороджувальні конструкції високих теплозахисних і повітронепроникних властивостей. Потрійне скління, сучасні вікна з високою теплоізоляцією. В умовах вічної мерзлоти певні фундаменти	Регулярне центральне опалювання великої потужності. Механічна припливна вентиляція з підігріванням і зволоженням повітря

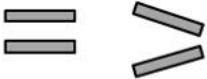














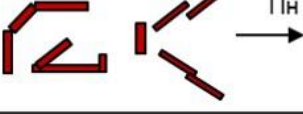
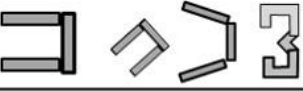
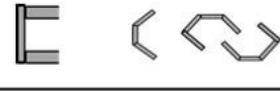
ДОДАТОК Д
Карта світлокліматичного районування території України [37]



ДОДАТОК Е

Групування житлових будинків різної конфігурації щодо регулювання вітрового навантаження території

Таблиця Е.1 – Варіанти групування житлових будинків різної конфігурації щодо регулювання вітрового навантаження території

	0,9 – 1,2		0,4 – 0,5
	0,75 – 0,95		0,5 – 0,75
 $V_{пн} = 6,2 \text{ м/с}$ у забудові $V_{пн} = 3,1 - 4,65 \text{ м/с}$	0,7 – 0,9		0,5 – 0,75
	0,6 – 0,8		0,5 – 0,75
 $V_c = 6,2 \text{ м/с}$ у забудові $V_c = 4,65 \text{ м/с}$	0,5 – 0,75		0,5 – 0,75
	0,45 – 0,65		0,5 – 0,75
	0,4 – 0,7		0,5 – 0,75
	0,4 – 0,5	 $V_{пн} = 8,5 \text{ м/с}$ 0,5 – 0,75 $V_{пн} = 1,7 - 4,25 \text{ м/с}$	0,5 – 0,75
	0,3 – 0,5		0,5 – 0,75

$V_{пн} = 4,5 \text{ м/с}$ – швидкість вітру за вільної забудови
 напрям вітру у забудові $V_{пн} = 4,5 \text{ м/с}$ – швидкість вітру у збудові
 з урахуванням коефіцієнту l_a



ДОДАТОК Ж
Швидкості руху повітря

Таблиця Ж.1 – Шкала швидкості руху повітря в балах

Бал	Сила вітру	Швидкість руху повітря, м/с
0	Штиль (безвітря)	0,0–0,5
1	Ледь помітний вітерець	0,6–1,7
2	Дуже слабкий вітер	1,8–3,3
3	Слабкий вітер	3,4–5,2
4	Незначний вітер	5,3–7,4
5	Доволі сильний (свіжий) вітер	7,5–9,6
6	Сильний вітер	9,7–12,4
7	Дуже сильний вітер	12,5–15,2
8	Надзвичайно сильний вітер	15,3–18,2
9	Буря (шторм)	18,3–21,5
10	Сильна буря	21,6–25,1
11	Дуже сильна буря	25,2–29,0
12	Ураган	29,0 і більше

ДОДАТОК И.1

(довідковий)

Розрахункове визначення амплітуди коливань температури внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій під час оцінювання їхньої теплостійкості у літній період [39]

1. Розрахунок амплітуди коливань температури внутрішньої поверхні непрозорих конструкцій A_{t_g} , °С, виконується за формулою:

$$A_{t_g} = \frac{A_{t_3, \text{роз}}}{\nu}, \quad (1)$$

де $A_{t_3, \text{роз}}$ – розрахункова амплітуда коливань температури зовнішнього повітря, °С, що визначається за формулою:

$$A_{t_3, \text{роз}} = 0,5A_{t_3} + \frac{\chi(I_{\text{max}} - I_{\text{сер}})}{\alpha_{\text{зл}}}; \quad (2)$$

ν – величина затухання розрахункової амплітуди коливань температури зовнішнього повітря $A_{t_3, \text{роз}}$ в огорожувальній конструкції, що визначається за формулою:

$$\nu = 0,9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{(s_1 + \alpha_g)(s_2 + Y_1) \dots (s_n + Y_{n-1})(\alpha_{\text{зл}} + Y_n)}{(s_1 + Y_1)(s_2 + Y_2) \dots (s_n + Y_n)\alpha_{\text{зл}}}, \quad (3)$$

де A_{t_3} – максимальна амплітуда добових коливань температури зовнішнього повітря в липні, °С, приймається згідно із ДБН [39];

χ – коефіцієнт поглинання сонячної радіації матеріалом зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, визначається за таблицею 1;

I_{max} , $I_{\text{сер}}$ – відповідно максимальне і середнє значення сумарної сонячної радіації (прямої і розсіяної), Вт/м², прийняті згідно зі ДБН [39] для зовнішніх стін як для вертикальних поверхонь західної орієнтації і для покриття – як для горизонтальної поверхні;

$\alpha_{\text{зл}}$ – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції за літніми умовами, Вт/(м² · К), визначається за формулою 4;

D – теплова інерція огорожувальної конструкції, що визначається за формулою (4);

S_1, S_2, \dots, S_n – розрахункові коефіцієнти теплосасвоєння матеріалу окремих шарів огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К), приймаються за додатком КЗ для умов експлуатації А;

$Y_1, Y_2, \dots, Y_{n-1}, Y_n$ – коефіцієнти теплосасвоєння зовнішньою поверхнею окремих шарів огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К), що визначаються за формулами (5) або (6).

2. Порядок нумерації шарів у формулі (3) приймається у напрямку від внутрішньої поверхні конструкції до зовнішньої.

3. Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції для умов літньої пори року $\alpha_{\text{зл}}$, Вт/(м² · К), визначається за формулою:

$$\alpha_{\text{зл}} = 1,16 (5 + 10 \sqrt{v}), \quad (4)$$

де v – мінімальна з середніх швидкостей вітру по румбах за липень, м/с, повторюваність яких складає 16 % і більше, прийнята згідно зі ДБН [39], але не менше 1 м/с.

4. Коефіцієнт теплосасвоєння зовнішньої поверхні шару Y , Вт/(м² · К), з тепловою інерцією $D \geq 1$ необхідно приймати рівним розрахунковому коефіцієнту теплосасвоєння s матеріалу цього шару конструкції з таблицею И.1 додатка И.1 [39]

Таблиця И.1 – Коефіцієнт поглинання сонячної радіації матеріалом зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції [39]

Матеріал зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції	Коефіцієнт поглинання сонячної радіації, χ
Алюміній	0,5
Азбестоцементний лист	0,65
Асфальтобетон	0,9
Бетон	0,7
Дерево нефарбоване	0,6
Захисний шар рулонної покрівлі зі світлого гравію	0,65
Цегла керамічна	0,7
Цегла силікатна	0,6
Облицювання природним каменем білим	0,45
Пофарбування силікатне темно-сіре	0,7
Пофарбування вапняне біле	0,3
Плитка облицювальна керамічна	0,8
Плитка облицювальна скляна	0,6
Плитка облицювальна біла або палева	0,45
Руберойд з піщаною засипкою	0,9
Сталь листовая, пофарбована білою фарбою	0,45
Сталь листовая, пофарбована темно-червоною фарбою	0,8
Сталь листовая, пофарбована зеленою фарбою	0,6
Сталь покрівельна оцинкована	0,65
Скло облицювальне	0,7
Штукатурка вапняна темно-сіра або теракотова	0,7
Штукатурка цементна світло-блакитна	0,3
Штукатурка цементна темно-зелена	0,6
Штукатурка цементна кремова	0,4

5. Коефіцієнт теплосвоєння зовнішньої поверхні шару Y з тепловою інерцією $D < 1$ визначають розрахунком, починаючи з першого шару (розраховуючи від внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції):

а) для першого шару за формулою:

$$Y_1 = \frac{R_1 s_1^2 + \alpha_e}{1 + R_1 \alpha_e}; \quad (5)$$

б) для i -го шару за формулою:

$$Y_i = \frac{R_i s_i^2 + Y_{i-1}}{1 + R_i Y_{i-1}}, \quad (6)$$

де R_1, R_i – термічні опори відповідно першого та i -го шарів огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \text{К/Вт}$, що визначаються за формулою (5).

ДОДАТОК И.2

(довідковий)

Розрахункове визначення амплітуди коливань температури повітря приміщення під час оцінювання теплостійкості у зимовий період [39]

1. Амплітуда коливань температури приміщення, $^{\circ}\text{C}$, розраховується за формулою:

$$A_{t_e} = \frac{0,7 q_{\text{буд}} m}{\sum_{j=1}^K B_j F_j}, \quad (1)$$

де $q_{\text{буд}}$ – тепловтрати приміщення, Вт , що визначаються згідно з положеннями ДБН [39];

m – коефіцієнт нерівномірності тепловіддачі системи опалення, приймається згідно з таблицею И.2;

F_j – площа внутрішньої поверхні j -ї зовнішньої огорожувальної конструкції, м^2 ;

K – кількість зовнішніх огорожувальних конструкцій у приміщенні;

B_j – коефіцієнт теплопоглинання, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, внутрішньою поверхнею j -ї зовнішньої огорожувальної конструкції приміщення, що визначається за формулою:

$$B_j = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \frac{1}{Y_e}}, \quad (2)$$

де Y_e – коефіцієнт теплосвоєння внутрішньої поверхні огорожі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, визначається за формулами 3–4;

α_e – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні конструкцій, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, що приймається згідно з додатком И.3 табл. И.4.

Таблиця И.2 – Коефіцієнт нерівномірності тепловіддачі систем опалення

Тип опалення	m
Водяне опалення будівель із безперервним обслуговуванням	0,1
Опалення з використанням малотеплоємних приладів:	
а) нагрівання приладів опалення протягом 18 год з перервою 6 год	0,8
б) нагрівання приладів опалення протягом 12 год з перервою 12 год	1,4
в) нагрівання приладів опалення протягом 6 год з перервою 18 год	2,2
Поквартирне водяне опалення (час обслуговування 6 год)	1,5
Пічне опалення теплоємними печами під час топлення їх один раз на добу:	
– товщина стінок печі у 1/2 цеглини	від 0,4 до 0,9*
– товщина стінок печі у 1/4 цеглини	від 0,7 до 1,4**
* Мінімальне значення m відповідає масивним печам, більше-менш масивним легким печам.	
** При топленні печей двічі на добу величину m треба зменшувати у 2,5–3 рази для печей з товщиною у 1/2 цеглини, та у 2–2,3 раза при товщині у 1/4 цеглини.	

2. Показник теплосвоєння внутрішньою поверхнею непрозорої огорожувальної конструкції розраховується за формулами:

а) коли внутрішній шар огорожувальної конструкції має теплову інерцію $D \geq 1$, то

$$Y_B = s_1, \quad (3)$$

б) якщо тепла інерція першого шару огорожувальної конструкції $D_1 < 1$, а першого і другого шарів конструкції $D_1 + D_2 \geq 1$, то коефіцієнт теплосвоєння внутрішньої поверхні розраховується за формулою:

$$Y_B = \frac{R_1 s_1^2 + s_2}{1 + R_1 s_2}, \quad (4)$$

де R_1 , s_1 , s_2 – термічний опір та коефіцієнти теплосвоєння відповідно першого та другого шарів;

в) якщо тепла інерція перших n шарів конструкції $D_1 + D_2 + \dots + D_n < 1$, а тепла інерція $n + 1$ шарів $D_1 + D_2 + \dots + D_n + D_{n+1} \geq 1$, то коефіцієнт теплосвоєння внутрішньої поверхні потрібно визначати з урахуванням коефіцієнтів теплосвоєння n шарів за формулами для n -го шару:

$$Y_n = \frac{R_n s_n^2 + s_{n+1}}{1 + R_n s_{n+1}}; \quad (5)$$

для i -го шару ($i = n-1, n-2, \dots, 1$):

$$Y_i = \frac{R_i s_i^2 + Y_{i+1}}{1 + R_i Y_{i+1}}. \quad (6)$$

Для термічно неоднорідних шарів конструкції потрібно визначати середній коефіцієнт теплосвоєння матеріалом цього шару $s_{сep}$, Вт/(м² · К), за формулою:

$$s_{\text{сеп}} = \frac{\sum_{n=1}^n s_n F_n}{\sum_{n=1}^n F_n}, \quad (7)$$

де s_n – коефіцієнт теплосвоєння окремих матеріалів шару, Вт/(м² · К);
 F_n – площа, що займають окремі матеріали по поверхні шарів, м².

$$Y_{e_c} = \frac{1}{1,08 \cdot R_{\Sigma c}}. \quad (8)$$

Таблиця И.3 – Розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі внутрішньої α_B та зовнішньої α_3 поверхонь огорожувальних конструкцій

Тип конструкції	Коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м ² · К)	
	α_B	α_3
Зовнішні стіни, дахи, покриття, перекриття над проїздами плоскі та з ребрами при відношенні висоти ребра h до відстані між гранями b сусідніх ребер $h/b \leq 0,3$ $h/b > 0,3$	8,7	23
	7,6	23
Перекриття горищ та холодних підвалів	8,7	12
Перекриття над холодними підвалами та технічними поверхами, що розташовані нижче рівня землі. Вікна, балконні двері, вітражі та світлопрозорі фасадні системи. Зенітні ліхтарі	8,7	6
	8,0	23
	9,9	23

ДОДАТОК И.3
(обов'язковий)

**Розрахункове визначення приведенного опору теплопередачі
огороджувальних конструкцій [39]**

1. Опір теплопередачі термічно однорідної непрозорої огороджувальної конструкції розраховується за формулою:

$$R_{\Sigma} = \left(\frac{1}{\alpha_6} + \sum_{i=1}^n R_{i_i} + \frac{1}{\alpha_6} = \frac{1}{\alpha_6} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_3} \right), \quad (9)$$

де α_6, α_3 – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огороджувальної конструкції, Вт/(м² · К), які приймаються згідно з додатком И.1;

R_{i_i} – термічний опір i -го шару конструкції, м² · К/Вт;

λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації (згідно з ДБН В.2.6–31:2016), Вт/(м · К);

2. Приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної непрозорої огороджувальної конструкції розраховується за формулою:

$$R_{\Sigma np} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{j=1}^J \frac{F_j}{\frac{1}{\alpha_6} + R_j + \frac{1}{\alpha_3}}}, \quad (10)$$

де R_j – термічний опір термічно однорідної зони, що визначається експериментально або на підставі результатів розрахунків двомірного (тримірного) температурного поля й розраховується за формулою:

$$R_j = \frac{\tau_{6j} - \tau_{3j}}{q_j}, \quad (11)$$

де τ_{6j}, τ_{3j} – середні температури внутрішньої і зовнішньої поверхонь термічно однорідної зони, °С відповідно;

q_j – густина теплового потоку через термічно однорідну зону, Вт/м²;

F_j – площа j -ї термічно однорідної зони, м²;

F_{Σ} – площа огороджувальної конструкції, м².

Для замкнутих повітряних прошарків R_j визначається за формулою 11 згідно з таблицями И.4, И.5.

Таблиця И.4 – Термічний опір замкнутого повітряного прошарку, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, залежно від розміщення в конструкції

Товщина повітряного прошарку, м	Розміщення прошарку			
	Горизонтальне при потоці тепла знизу вгору та вертикальне		Горизонтальне при потоці тепла згори донизу	
	Середня температура повітря у прошарку			
	$\geq 0 \text{ }^\circ\text{C}$	$\geq 0 \text{ }^\circ\text{C}$	$\geq 0 \text{ }^\circ\text{C}$	$\geq 0 \text{ }^\circ\text{C}$
0,01	0,13	0,15	0,14	0,15
0,02	0,14	0,15	0,15	0,19
0,03	0,14	0,16	0,16	0,21
0,05	0,14	0,17	0,17	0,22
0,01	0,15	0,18	0,18	0,23
0,15	0,15	0,18	0,19	0,24
0,02–0,03	0,15	0,19	0,19	0,24

Таблиця И.5 – Термічний опір замкнутого повітряного прошарку, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, під час встановлення відбивної ізоляції

Кількість прошарків (завтовшки від 3 мм до 10 мм)	Середня температура повітря прошарку	Тип відбивної ізоляції, товщина спіненого шару, мм					
		А (одностороння)*			Б (двостороння)		
		3	5	10	3	5	8
1	$\geq 0 \text{ }^\circ\text{C}$	0,34	0,48	0,84	–	–	–
1	$\geq 0 \text{ }^\circ\text{C}$	0,3	0,4	0,79	–	–	–
2	$\geq 0 \text{ }^\circ\text{C}$	0,79	1,0	1,3	0,85	1,39	1,49
2	$\geq 0 \text{ }^\circ\text{C}$	0,64	0,79	1,2	0,82	1,25	1,4

* Встановлення ізоляції відбивним шаром у бік приміщення.

ДОДАТОК К

Значення світлової характеристики η_o вікон за бокового освітлення

Таблиця К.1 – Значення світлової характеристики η_o вікон за бокового освітлення

Відношення довжини приміщення L_n до його глибини B	Значення світлової характеристики η_o при відношенні глибини приміщення B до його висоти від рівня умовної робочої поверхні до верху вікна h_l							
	1	1,5	2	3	4	5	7,5	10
4 й більше	6,5	7	7,5	8	9	10	11	12,5
3	7,5	8	8,5	9,6	10	11	12,5	14
2	8,5	9	9,5	10,5	11,5	13	15	17
1,5	9,5	10,5	13	15	17	19	21	23
1	11	15	16	18	21	23	26,5	29
0,5	18	23	31	37	45	54	66	–

ДОДАТОК Л

Значення коефіцієнтів відбиття τ_1, τ_2, τ_3

Таблиця Л.1 – Значення коефіцієнтів відбиття τ_1, τ_2, τ_3

Вид світлопропускального матеріалу	Значення τ_1	Вид рами	Значення τ_2	Сонцезахисні пристрої, вироби й матеріали	Значення τ_4
Скло віконне листова: одинарне подвійне потрійне	0,9 0,8 0,75	Дерев'яна: – одинарна – спарена – подвійна роздільна з потрійним склом	0,8 0,75 0,65	Жалюзі й штори, що регулюються (міжскляні, внутрішні, зовнішні)	1
Скло вітринне завтовшки 6–8 мм Скло листове узорчате Скло сонцезахисне Скло контрастне Склопакети	0,8 0,65 0,65 0,75 0,8	Металопластикові: – одинарна – спарена – подвійна роздільна з потрійним склом	0,9 0,85 0,8	Стаціонарні жалюзі й екрани: – горизонтальні – вертикальні – горизонтальні козирки	0,65 0,75 0,8

ДОДАТОК М
Значення коефіцієнта r_l

Таблиця М.1 – Значення коефіцієнта r_l

Відношення глибини приміщення до висоти h_l *	Відношення від розрахункової точки до глибини приміщення B^{**}	Значення r_l за бокового освітлення									Значення r_l за двостороннього освітлення								
		Середньоваговий коефіцієнт відбиття ρ_{cp} стелі, стін й підлоги																	
		0,5			0,4			0,3			0,5			0,4			0,3		
		Відношення довжини приміщення ln до його глибини B																	
		0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Від 1 до 1,5	0,1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1,05	1	1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1,05	1	1
	0,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1	1,2	1,1	1,1	1,35	1,25	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
	1	2,1	1,9	1,5	1,8	1,6	1,3	1,4	1,3	1,2	1,6	1,4	1,25	1,45	1,25	1,3	1,25	1,15	1,1
Більше 1,5 до 2,5	0	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1	1,0	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1
	0,3	1,3	1,2	1,1	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,05	1,3	1,2	1,1	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,05
	0,5	1,85	1,6	1,3	1,5	1,35	1,2	1,3	1,2	1,1	1,8	1,45	1,25	1,4	1,25	1,15	1,25	1,15	1,1
	0,7	2,25	2	1,7	1,7	1,6	1,3	1,55	1,35	1,2	2,1	1,75	1,5	1,75	1,45	1,2	1,3	1,25	1,2
	1	3,8	3,3	2,4	2,8	2,4	1,8	2	1,8	1,5	2,35	2	1,6	1,9	1,6	1,5	1,5	1,35	1,2
Більше 2,5 до 3,5	0,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1	1	1	1	1	1,1	1,05	1,05	1,05	1	1	1	1	1
	0,2	1,15	1,1	1,05	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,15	1,1	1,05	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1,05
	0,3	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,05	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,05
	0,4	1,35	1,25	1,2	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,1	1,35	1,2	1,2	1,2	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1
	0,5	1,6	1,45	1,3	1,35	1,25	1,2	1,25	1,15	1,1	1,5	1,4	1,25	1,3	1,2	1,15	1,2	1,1	1,1
	0,6	2	1,75	1,45	1,6	1,45	1,3	1,4	1,3	1,2	1,8	1,6	1,35	1,5	1,35	1,2	1,35	1,25	1,15
	0,7	2,6	2,2	1,7	1,9	1,7	1,4	1,6	1,5	1,3	2,25	1,9	1,45	1,7	1,5	1,25	1,5	1,4	1,2
	0,8	3,6	3,1	2,4	2,4	2,2	1,55	1,9	1,7	1,4	2,8	2,4	1,9	1,9	1,6	1,3	1,65	1,5	1,25
	0,9	5,3	4,2	3	2,9	2,45	1,9	2,2	1,85	1,5	3,65	2,9	2,6	2,2	1,9	1,5	1,8	1,6	1,3
	1	7,2	5,4	4,3	3,6	3,1	2,4	2,6	2,2	1,7	4,45	3,35	2,65	2,4	2,1	1,6	2	1,7	1,4

Продовження таблиці М.1

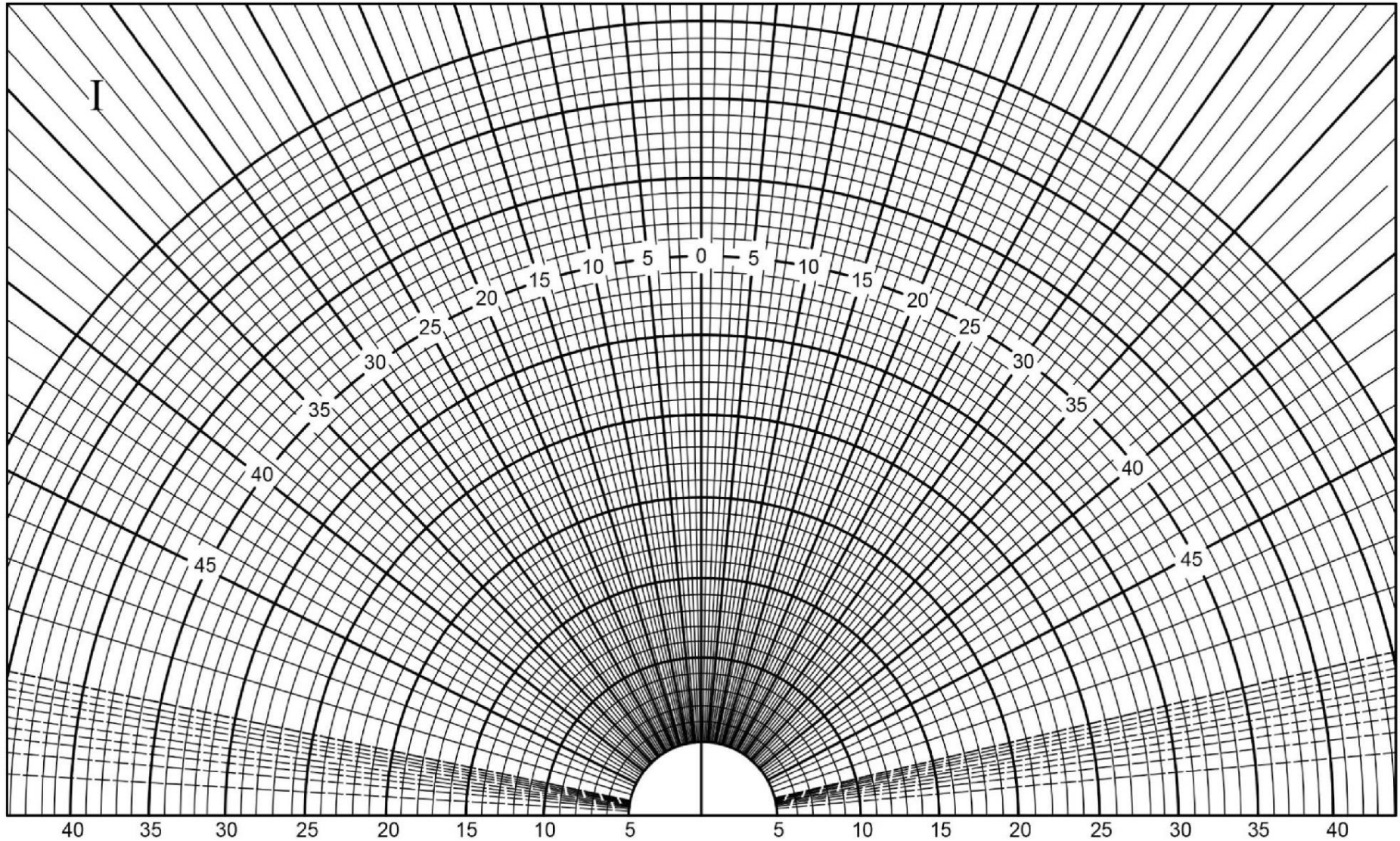
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Більше 3,5	0,1	1,2	1,15	1,1	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1	1,2	1,15	1,1	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1
	0,2	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1	1,1	1,05	1,05	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1	1,1	1,05	1,05
	0,3	1,75	1,5	1,3	1,4	1,3	1,2	1,25	1,2	1,1	1,75	1,5	1,3	1,4	1,3	1,2	1,25	1,2	1,1
	0,4	2,4	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	1,4	1,3	1,2	2,35	2	1,75	1,6	1,4	1,3	1,35	1,25	1,15
	0,5	3,4	2,9	2,5	2	1,8	1,5	1,7	1,5	1,3	3,25	2,8	2,4	1,9	1,7	1,45	1,65	1,5	1,3
	0,6	4,6	3,8	3,1	2,4	2,1	1,8	2	1,8	1,5	4,2	3,5	2,85	2,25	2	1,7	1,95	1,7	1,4
	0,7	6	4,7	3,7	2,9	2,6	2,1	2,3	2	1,7	5,1	4	3,2	2,55	2,3	1,85	2,1	1,8	1,5
	0,8	7,4	5,8	4,7	3,4	2,9	2,4	2,6	2,3	1,9	5,8	4,5	3,6	2,55	2,4	1,95	2,25	2	1,6
	0,9	9	7,1	5,6	4,3	3,6	3	3	2,6	2,1	6,2	4,9	3,9	2,8	2,8	2,3	2,45	2,1	1,7
	1	10	7,3	5,7	5	4,1	3,5	3,5	3	2,5	6,3	5	4	2,9	2,9	2,4	2,6	2,25	1,9

* Відношення глибини приміщення B до висоти від рівня умовної робочої поверхні h_1 до верху вікна.

** Відношення відстані від розрахункової точки до зовнішньої стіни до глибини приміщення B .

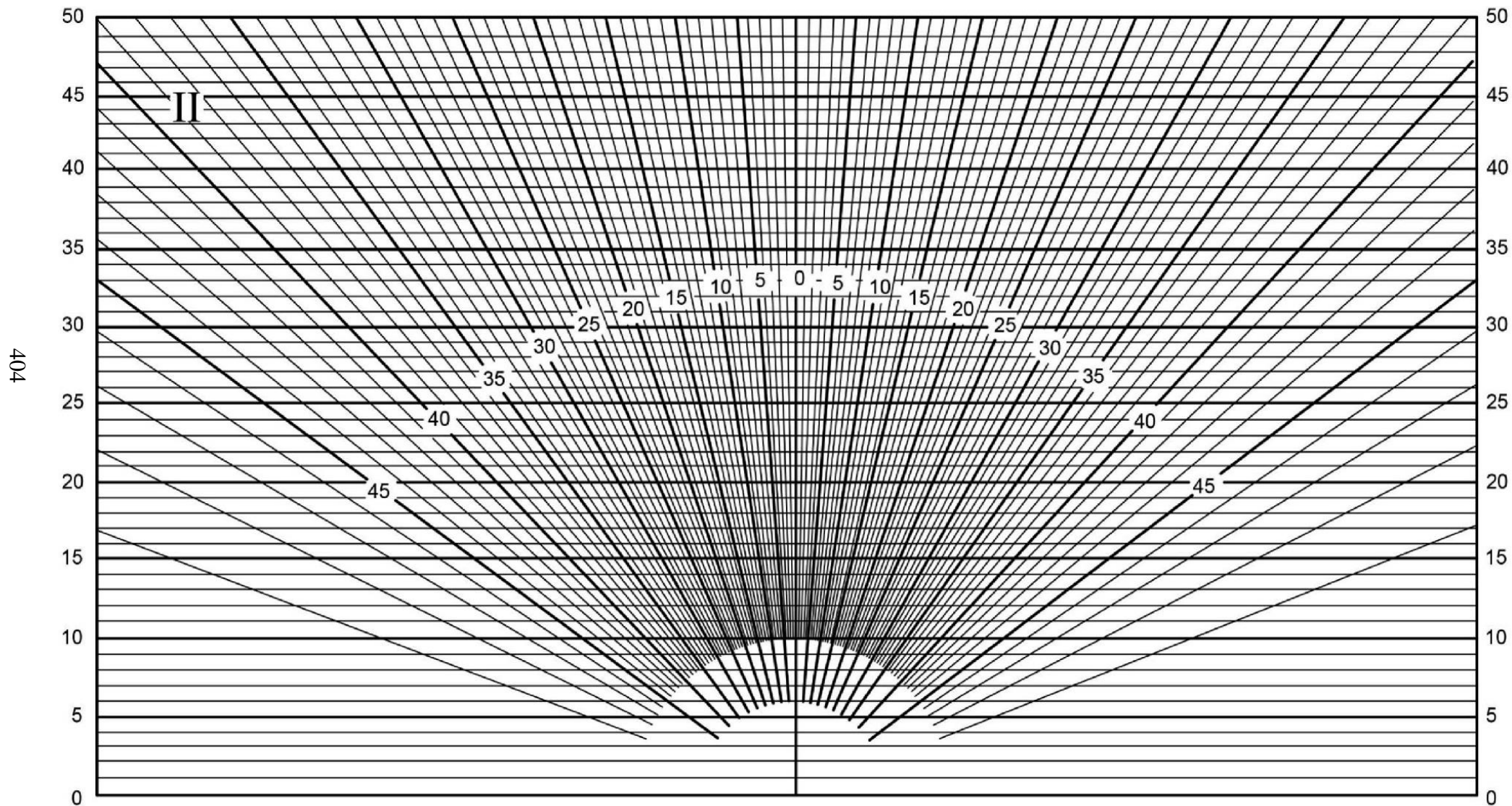
ДОДАТОК Н

Графік Данилюка І



ДОДАТОК П

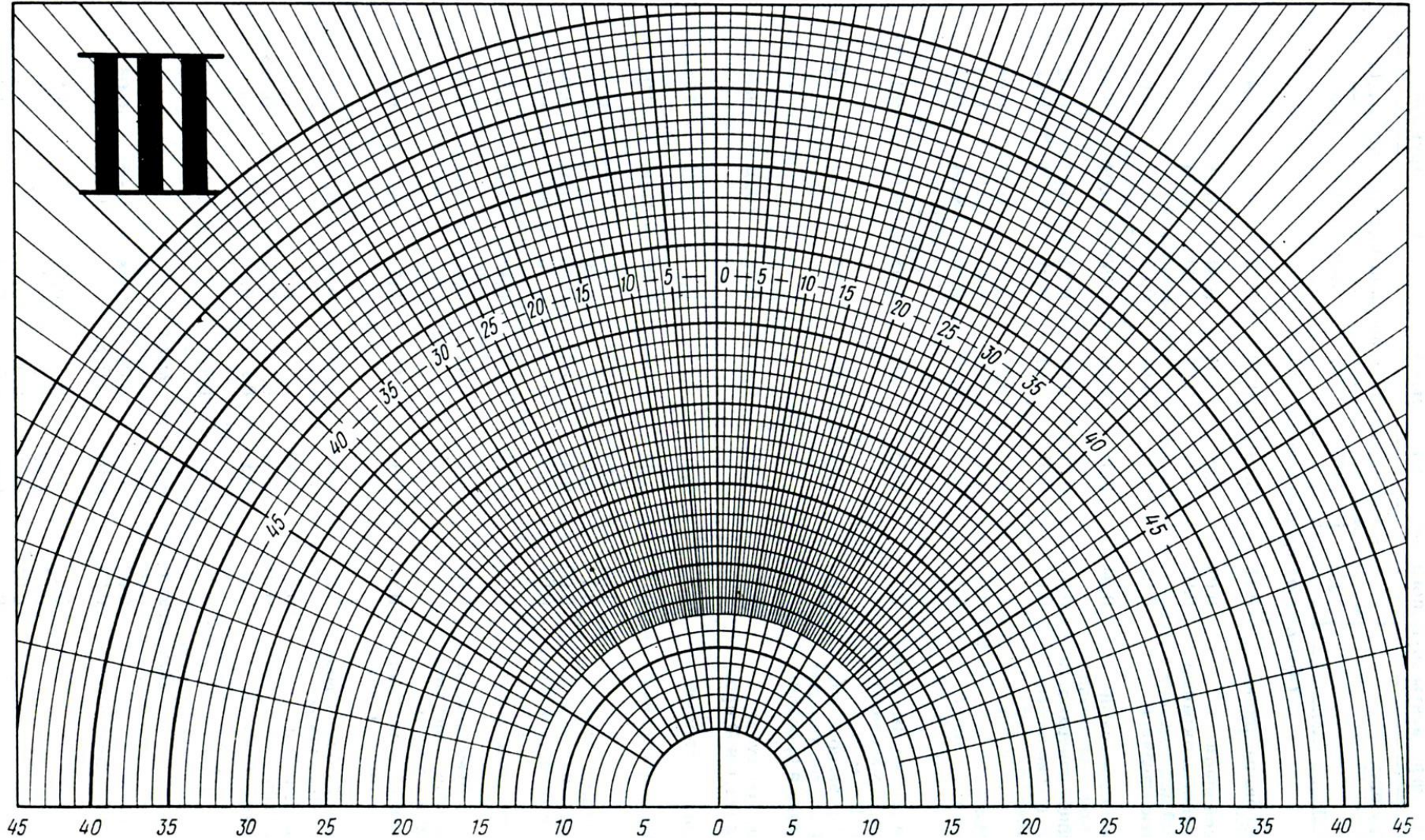
Графік Данилюка II



ДОДАТОК Р

Графік Данилюка III

405



ДОДАТОК С

Коефіцієнт природної освітленості для виробничих приміщень

Таблиця С.1 – Значення коефіцієнта природної освітленості для виробничих приміщень

Розряд робіт	Характеристика зорової роботи		Значення КЕО	
	Види роботи за ступенем точності	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм	За верхнього або комбінованого освітлення	За бокового освітлення в зоні зі стійким сніговим покривом
I	Найвищої точності	менше 0,15	10	2,8/3,5
II	Дуже високої точності	0,15–0,3	7	2,0/2,5
III	Високої точності	0,3–0,5	5	1,6/2,0
IV	Середньої точності	0,5–1,0	4	1,2/1,5
V	Малої точності	1,0–5,0	3	0,8/1,0
VI	Груба	більше 5,0	2	0,4/0,5
VII	Роботи з термічними матеріалами і виробами в гарячих цехах	більше 0,5	3	0,8/1,0
VIII	Загальне постійне спостереження за ходом виробничого процесу	–	1	0,2/0,3

ДОДАТОК Т
Норми штучного освітлення житлових, громадських і лікарняних приміщень

Таблиця Т.1 – Норми штучного освітлення житлових, громадських і лікарняних приміщень

Приміщення	Найменша освітленість, лк		Поверхні, до яких відносяться норми освітленості	Примітки
	Люмінесцентні лампи	Лампи розжарювання		
Житлові будинки (готелі, гуртожитки, інтернати, квартири)	75	30	0,8 м від підлоги у горизонтальній площині	
Житлові кімнати: квартири гуртожитку	75 100	30 50	0,8 м від підлоги у горизонтальній площині	
Читальні зали бібліотек	300	100	0,8 м від підлоги у горизонтальній площині	
Зал для глядачів театрів, концертних залів, клубів	300	100	1 м від підлоги у горизонтальній площині	
Лікувально-профілактичні заклади: операційні кабінети лікарів	400 200	200 100	0,8 м від підлоги у горизонтальній площині	

ДОДАТОК У
Нормування освітленості вулиць і доріг

Таблиця У.1 – Нормування освітленості вулиць і доріг

Категорія вулиць, доріг та площ по освітленню	Вулиці, дороги та площі	Найбільша інтенсивність руху транспортних засобів у двох напрямках, авто/год	Середня яскравість дорожнього покриття, кд/м ²	Середня горизонтальна освітленість покриття, лм
А	Швидкісні дороги, магістральні дороги загальноміського значення; площі (головні, вокзальні, транспортні, передмостові та багатофункціональних транспортних вузлів)	>3 000	1,6	20
		1 000–3 000	1,2	20
		500–1 000	0,6	15
		<500	0,6	15
Б	Магістральні вулиці районного значення, дороги вантажного руху (загальноміського значення), площі перед значними громадськими будівлями та спорудами (стадіонами, театрами, виставками, торговими центрами, базарами та іншими місцями масового відвідування)	>2 000	1,0	15
		1 000–2 000	0,8	15
		500–1 000	0,6	10
		<500	0,4	10
В	Вулиці та дороги місцевого значення (житлові вулиці, дороги промислових та комунально-складських районів, сільські вулиці та дороги)	<500	0,4	6
		<500	0,2	4
	Сільські вулиці, площі перед громадськими будівлями і спорудами сільського значення	–	–	4

ДОДАТОК Ф

Розрахунок загальної еквівалентної площі звукопоглинання

Загальна ЕПЗ на частоті, для якої ведеться розрахунок, знаходиться за формулою (1):

$$A_{\text{зал}(125,500,2000)} = \sum \alpha_I S_I + \sum A_{\text{кр.,слух.}} + \alpha_{\text{дод.}} S_{\text{зал.}}, \quad (1)$$

де $\sum \alpha_I S_I$ – сума добутків площ окремих поверхонь S , м² та їх коефіцієнтів звукопоглинання α для цієї частоти;

S_I – площі окремих поверхонь, м²;

α_I – коефіцієнти звукопоглинання поверхонь, наведені в таблиці X, додатка X.1;

$\alpha_{\text{дод.}}$ – коефіцієнт додаткового звукопоглинання.

Додаткове звукопоглинання викликається проникненням звуку в різні щілини, отвори, вентиляційні решітки. Коефіцієнт $\alpha_{\text{дод.}}$ урахує також поглинання звуку освітлювальною апаратурою та іншим обладнанням залу. У практичних розрахунках середній коефіцієнт додаткового звукопоглинання приймається таким, що дорівнює 0,06 для частоти 125 Гц і 0,04 для частот 500 Гц і 2 000 Гц.

$\Sigma A \cdot n$ – сума ЕПЗ слухачів і крісел, м².

$$\Sigma A \cdot n = n_1 \cdot A_1 + n_2 \cdot A_2, \quad (2)$$

де n_1 – кількість глядачів у залі;

n_2 – кількість вільних місць;

A_1 – ЕПЗ глядача, що сидить у кріслі;

A_2 – ЕПЗ вільного крісла.

Еквівалентні площі звукопоглинання глядачів і крісел наведені в таблиці 2. Одне з основних вимог акустики: час реверберації T в залі має дорівнювати оптимальному часу реверберації T_{opt} :

$$T = T_{\text{opt}}. \quad (3)$$

ДОДАТОК X

Коефіцієнт звукопоглинання матеріалів і конструкцій

Таблиця X.1 – Коефіцієнт звукопоглинання матеріалів і конструкцій, еквівалентна площа поглинання глядачів

Матеріали і конструкції	Коефіцієнти звукопоглинання для октавних смуг, α (Гц)						
	125	250	500	1 000	2 000	4 000	
1	2	3	4	5	6	7	
Стіна оштукатурена, пофарбована клейовою фарбою	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	
Те саме – пофарбована масляною фарбою	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	
Бетон пофарбований	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	
Мрамур, граніт	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	
Штукатурка по металевій сітці із повітряним прошарком позаду	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06	
Панель дерев'яна товщиною 5–10 мм із повітряним прошарком 50–100 мм	0,3	0,15	0,06	0,05	0,04	0,04	
Переплетіння скляні віконні	0,3	0,2	0,15	0,1	0,06	0,04	
Підлога паркетна	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	
Підлога з дошок на лагах	0,1	0,1	0,1	0,08	0,08	0,09	
Лінолеум	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	
Килим вапняний товщиною 9 мм по бетону	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,37	
Порт'єри оксамитові (драпі), щільність тканини 0,65 кг/м ²	0,15	0,35	0,55	0,7	0,7	0,65	
Сцена, обладнана декораціями	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
Кіноекран	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	
Плити «Акмігран» 300 мм × 300 мм × 20 мм із повітряними прошарками 50–100 мм	0,05	0,15	0,5	0,65	0,65	0,7	
	0,15	0,55	0,55	0,65	0,65	0,7	
	0,25	0,55	0,55	0,65	0,65	0,7	
Штукатурка гіпсова товщиною 20 м із повітряним прошарком 50–150 мм	0,3	0,25	0,1	0,08	0,05	0,04	
Фіброліт товщиною 50 мм із повітряним прошарком 50–160 мм	0,2	0,45	0,45	0,5	0,6	0,65	
Плити гіпсові перфоровані із пористим заповнювачем	0,05	0,2	0,4	0,75	0,55	0,35	
Те саме із повітряним прошарком:							
	50 мм	0,05	0,4	0,75	0,55	0,55	0,3
	100 мм	0,15	0,6	0,75	0,55	0,5	0,3
200 мм	0,25	0,6	0,65	0,6	0,55	0,3	

Продовження таблиці Х.1

1	2	3	4	5	6	7
Плити гладкі декоративні із пористим заповнювачем без повітряного прошарку	0,05	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2
Те саме із повітряним прошарком:						
50 мм	0,15	0,4	0,4	0,4	0,2	0,1
100 мм	0,25	0,4	0,4	0,4	0,2	0,1
Панелі по каркасу із брусків 3 см × 10 см, оббите фанерою із шагом комірок 0,5 × 0,7 із повітряним прошарком 10 см	0,32	0,35	0,19	0,13	0,11	0,1
Перфоровані конструкції із фанери товщиною 3 мм по дерев'яним рамкам 60 × 60 із азбестової вати в мішковини 50, діаметр отвору 6 мм, шаг 25 мм	0,2	0,46	0,58	0,52	0,42	0,3
Фанера товщиною 6 мм та шаром мінеральної вати товщиною 100 мм	0,6	0,23	0,14	0,09	0,08	0,02

ДОДАТОК Ц

Еквівалентна площа звукопоглинання глядачів і крісел

Таблиця Ц.1 – Еквівалентна площа звукопоглинання глядачів і крісел

Глядачі та крісла					ЕПЗ А на частоті, Гц					
					125		500		2 000	
Глядач у кріслі: – м'які та напівм'які; – жорсткі					0,25	0,40	0,45	0,25	0,40	0,45
					0,20	0,30	0,35	0,20	0,30	0,35
крісло:										
– м'яке з пористим заповнювачем сидіння і спинки;					0,15	0,20	0,30	0,15	0,20	0,30
– напівм'яке;					0,08	0,15	0,20	0,08	0,15	0,20
– оббите штучною шкірою;					0,08	0,12	0,10	0,08	0,12	0,10
– жорстке з фанерною спинкою і сидінням					0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,04
0,0	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,1	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20	0,21
0,2	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,29	0,30	0,32	0,33	0,34
0,3	0,36	0,37	0,39	0,40	0,42	0,43	0,45	0,46	0,48	0,49
0,4	0,51	0,53	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64	0,65	0,67
0,5	0,69	0,71	0,73	0,75	0,78	0,80	0,82	0,84	0,87	0,89
0,6	0,92	0,94	0,97	0,99	1,02	1,05	1,08	1,11	1,14	1,17
0,7	1,20	1,24	1,27	1,31	1,35	1,39	1,43	1,47	1,51	1,56
0,8	1,61	1,66	1,72	1,77	1,83	1,90	1,97	2,04	2,12	2,21
Приклад. Для $\alpha_{cp} = 0,37$ знаходимо з таблиці $\phi (\alpha_{cp}) = 0,46$										

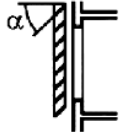
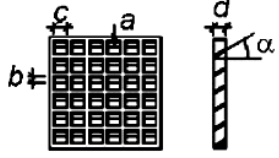
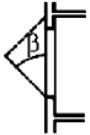
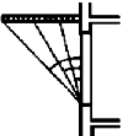
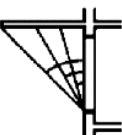
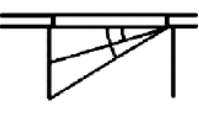
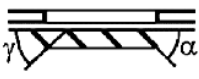
ДОДАТОК Ш
Значення коефіцієнта τ_1

Таблиця Ш.1 – Значення коефіцієнта τ_1

Вид світлопрозорого матеріалу	Значення τ_1
Скло безкольорове завтовшки, мм	
2,0	0,89
3,0	0,88
4,0	0,87
5,0	0,86
6,0	0,85
8,0	0,83
10	0,81
12	0,79
15	0,76
19	0,72
25	0,67
Скло листове візерункове	0,65
Скло сонцезахисне	0,65
Скло спектрально-селективне	0,75
Органічне скло: прозоре	0,9
молочне	0,6
Склоблоки: світлорозсіювальні	0,5
світлопроникні	0,55
Склопрофіліт: швелерного перерізу	0,8
коробчастого перерізу	0,65

ДОДАТОК Щ
Значення коефіцієнтів τ_4

Таблиця Щ.1 – Значення коефіцієнтів τ_4

№ схеми	Схема	Значення τ_4	№ схеми	Схема	Значення τ_4																																																																																																						
1	<p style="text-align: center;">Горизонтальні жалюзі</p>  <p style="text-align: center;">$\alpha = 0^\circ$ $\alpha = 45^\circ$</p>	0,75 0,35	7	<p style="text-align: center;">Стільникоподібні</p> 		<p style="text-align: center;">Значення τ_4</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>a</th> <th>b</th> <th>c</th> <th>d</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0°</td><td>1</td><td>11</td><td>11</td><td>5</td><td>0,57</td></tr> <tr><td>30°</td><td>1</td><td>8</td><td>37</td><td>5</td><td>0,61</td></tr> <tr><td>45°</td><td>1</td><td>7</td><td>24</td><td>5</td><td>0,54</td></tr> <tr><td>15°</td><td>1</td><td>9</td><td>37</td><td>7</td><td>0,62</td></tr> <tr><td>15°</td><td>1</td><td>10</td><td>37</td><td>5</td><td>0,70</td></tr> <tr><td>45°</td><td>1</td><td>7</td><td>37</td><td>5</td><td>0,55</td></tr> <tr><td>0°</td><td>1</td><td>11</td><td>11</td><td>7</td><td>0,48</td></tr> <tr><td>30°</td><td>1</td><td>8</td><td>37</td><td>7</td><td>0,54</td></tr> <tr><td>30°</td><td>1</td><td>7</td><td>24</td><td>7</td><td>0,52</td></tr> <tr><td>45°</td><td>1</td><td>5</td><td>37</td><td>7</td><td>0,45</td></tr> <tr><td>15°</td><td>1</td><td>9</td><td>37</td><td>10</td><td>0,61</td></tr> <tr><td>30°</td><td>1</td><td>6</td><td>37</td><td>10</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>45°</td><td>1</td><td>7</td><td>37</td><td>7</td><td>0,57</td></tr> <tr><td>15°</td><td>1</td><td>10</td><td>37</td><td>10</td><td>0,56</td></tr> <tr><td>15°</td><td>1</td><td>9</td><td>24</td><td>10</td><td>0,49</td></tr> <tr><td>45°</td><td>1</td><td>2</td><td>37</td><td>10</td><td>0,32</td></tr> </tbody> </table>	α	a	b	c	d		0°	1	11	11	5	0,57	30°	1	8	37	5	0,61	45°	1	7	24	5	0,54	15°	1	9	37	7	0,62	15°	1	10	37	5	0,70	45°	1	7	37	5	0,55	0°	1	11	11	7	0,48	30°	1	8	37	7	0,54	30°	1	7	24	7	0,52	45°	1	5	37	7	0,45	15°	1	9	37	10	0,61	30°	1	6	37	10	0,50	45°	1	7	37	7	0,57	15°	1	10	37	10	0,56	15°	1	9	24	10	0,49	45°	1	2	37	10
α	a	b	c	d																																																																																																							
0°	1	11	11	5	0,57																																																																																																						
30°	1	8	37	5	0,61																																																																																																						
45°	1	7	24	5	0,54																																																																																																						
15°	1	9	37	7	0,62																																																																																																						
15°	1	10	37	5	0,70																																																																																																						
45°	1	7	37	5	0,55																																																																																																						
0°	1	11	11	7	0,48																																																																																																						
30°	1	8	37	7	0,54																																																																																																						
30°	1	7	24	7	0,52																																																																																																						
45°	1	5	37	7	0,45																																																																																																						
15°	1	9	37	10	0,61																																																																																																						
30°	1	6	37	10	0,50																																																																																																						
45°	1	7	37	7	0,57																																																																																																						
15°	1	10	37	10	0,56																																																																																																						
15°	1	9	24	10	0,49																																																																																																						
45°	1	2	37	10	0,32																																																																																																						
2	<p style="text-align: center;">Маркізи напівпрозорі</p>  <p style="text-align: center;">$\beta = 45^\circ$</p>	0,4																																																																																																									
3	<p style="text-align: center;">Козирок решітчастий</p>  <p style="text-align: center;">$\beta = 45^\circ$ $\beta = 30^\circ$ $\beta = 15^\circ$</p>	0,65 0,82 0,95																																																																																																									
4	<p style="text-align: center;">Козирок суцільний</p>  <p style="text-align: center;">$\beta = 45^\circ$ $\beta = 30^\circ$ $\beta = 15^\circ$</p>	0,6 0,8 0,95																																																																																																									
5	<p style="text-align: center;">Вертикальні екрани</p>  <p style="text-align: center;">$\gamma = 15^\circ$ $\gamma = 30^\circ$</p>	0,95 0,85																																																																																																									
6	<p style="text-align: center;">Вертикальні жалюзі</p>  <p style="text-align: center;">$\gamma = 45^\circ, \alpha = 90^\circ$ $\gamma = 45^\circ, \alpha = 45^\circ$</p>	0,70 0,60																																																																																																									

ДОДАТОК Ю

Значення коефіцієнта r_l

Таблиця Ю.1 – Значення коефіцієнта r_l

Відношення B до висоти h_l^*	Відношення від розрахункової точки до B^{**}	Значення r_l при бічному освітленні								
		Середньозважений коефіцієнт відбиття ρ_{cp} стелі, стін й підлоги								
		0,5			0,4			0,3		
		Відношення довжини приміщення l_n до його глибини								
		0,5	1	2 та більше	0,5	1	2 та більше	0,5	1	2 та більше
Від 1 до 1,5	0,1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1,05	1	1
	0,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1	1,2	1,1	1,1
	1	2,1	1,9	1,5	1,8	1,6	1,3	1,4	1,3	1,2
Більше 1,5 до 2,5	0	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1
	0,3	1,3	1,2	1,1	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,05
	0,5	1,85	1,6	1,3	1,5	1,35	1,2	1,3	1,2	1,1
	0,7	2,25	2	1,7	1,7	1,6	1,3	1,55	1,35	1,2
	1	3,8	3,3	2,4	2,8	2,4	1,8	2	1,8	1,5
Більше 2,5 до 3,5	0,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1	1	1	1	1
	0,2	1,15	1,1	1,05	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1,05
	0,3	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,05
	0,4	1,35	1,25	1,2	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,1
	0,5	1,6	1,45	1,3	1,35	1,25	1,2	1,25	1,15	1,1
	0,6	2	1,75	1,45	1,6	1,45	1,3	1,4	1,3	1,2
	0,7	2,6	2,2	1,7	1,9	1,7	1,4	1,6	1,5	1,3
	0,8	3,6	3,1	2,4	2,4	2,2	1,55	1,9	1,7	1,4
	0,9	5,3	4,2	3	2,9	2,45	1,9	2,2	1,85	1,5
	1	7,2	5,4	4,3	3,6	3,1	2,4	2,6	2,2	1,7
Більше 3,5	0,1	1,2	1,15	1,1	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1
	0,2	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1	1,1	1,05	1,05
	0,3	1,75	1,5	1,3	1,4	1,3	1,2	1,25	1,2	1,1
	0,4	2,4	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	1,4	1,3	1,2
	0,5	3,4	2,9	2,5	2	1,8	1,5	1,7	1,5	1,3
	0,6	4,6	3,8	3,1	2,4	2,1	1,8	2	1,8	1,5
	0,7	6	4,7	3,7	2,9	2,6	2,1	2,3	2	1,7
	0,8	7,4	5,8	4,7	3,4	2,9	2,4	2,6	2,3	1,9
	0,9	9	7,1	5,6	4,3	3,6	3	3	2,6	2,1
	1	10	7,3	5,7	5	4,1	3,5	3,5	3	2,5

* Відношення глибини приміщення B до висоти від рівня умовної робочої поверхні h_l до верху вікна.
 ** Відношення відстані від розрахункової точки до зовнішньої стіни до глибини приміщення B . (див. рис. 1)

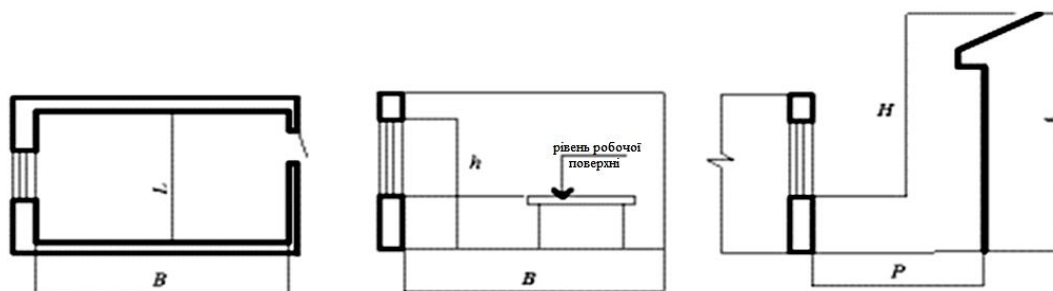


Рисунок Ю.1 – Характерні розріз та план для світлотехнічного розрахунку
[58]

Електронне навчальне видання

АПАТЕНКО Тетяна Миколаївна,
ЖИДКОВА Тетяна Володимирівна,
ШИШКІН Едуард Анатолійович

БУДІВЕЛЬНА ФІЗИКА

ПІДРУЧНИК

2-ге видання, перероблене і доповнене

Відповідальний за випуск *Е. А. Шижкін*

Редактор *О. В. Михаленко*

Комп'ютерне верстання *Е. А. Шижкін*

Підп. до друку 04.01.2024. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 24,1.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,

вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.