

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Кафедра загальної та прикладної фізики

М.О.Галушак, Б.М.Рувінський

БУДІВЕЛЬНА ФІЗИКА

Частина 2

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді
та спорту України як навчальний посібник для
студентів вищих навчальних закладів*

Івано-Франківськ
2013

УДК 697.1+699.844
ББК 38.113
Г16



Рецензенти:

Я.В.Василишин – кандидат технічних наук, професор кафедри архітектурного проектування Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

І.М.Будзуляк – доктор фізико-математичних наук, професор кафедри матеріалознавства і новітніх технологій Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки,
молоді та спорту України
як навчальний посібник
для студентів вищих навчальних закладів
(лист №1/11-1844¹ від 29.11.12р.)*

Галушак М.О., Рувінський Б.М.

Г16 Будівельна фізика. Частина 2. Навч. посібник. – Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2013 – 269с.

ISBN 978-966-694-182-7

Наведені основні відомості з архітектурної світлології: основи фотометрії, закони світлонадходження до приміщень, природне та штучне освітлення приміщень, інсоляція та сонцезахист, основи теорії кольору, системи калориметрії. Викладено методи розрахунку природного освітлення, нормування природного та штучного освітлення. Значну увагу приділено розрахунку інсоляції об'єктів цивільного призначення.

Посібник призначений для студентів напряму підготовки 6.060102 – Архітектура.

ISBN 978-966-694-182-7

@ Галушак М.О., Рувінський Б.М.
@ ІФНТУНГ, 2013

ЗМІСТ

Розділ 1. ОСНОВИ АРХІТЕКТУРНОЇ СВІТЛЮЛОГІЇ	5
1.1 Оптичне випромінювання	5
1.2 Основні енергетичні і світлові величини та одиниці їх вимірювань	8
1.3 Оптичні та світлотехнічні характеристики матеріалів	16
1.4 Закони світлонадходження до приміщень	20
Контрольні запитання	24
Розділ 2. ПРИРОДНЕ ОСВІТЛЕННЯ БУДИНКІВ	25
2.1 Світловий клімат	40
2.2 Кількісні та якісні характеристики освітлення	53
2.3 Нормування природного освітлення приміщень	60
2.4 Розрахунок природного освітлення приміщень	67
Контрольні запитання	81
Розділ 3. ШТУЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ БУДИНКІВ	82
3.1 Освітлення приміщень виробничих і складських будинків	86
3.2 Освітлення приміщень громадських, житлових і допоміжних будинків	89
3.3 Зовнішнє архітектурне освітлення будинків і споруд	92
3.4 Рекламне освітлення	96
3.5 Джерела штучного освітлення та їх загальні характеристики	97
3.6 Світлові прилади. Класифікація	107
3.7 Світлотехнічні характеристики світлових приладів	110
Контрольні запитання	119
Розділ 4. ІНСОЛЯЦІЇ ТА СОНЦЕЗАХИСТ	120
4.1 Основні поняття	120
4.2 Нормування інсоляції забудови	125
4.3 Рух Землі та координати Сонця	130
4.4 Сонячний час	137
4.5 Розрахунок інсоляції	143

4.6 Геометрична сутність методів розрахунку тривалості інсоляції та межі їх використання	150
4.7 Вибір приміщень та світлопрорізів для розрахунку тривалості інсоляції приміщень	157
4.8 Розрахунок тривалості інсоляції з застосуванням інсоляційної лінійки	160
4.9 Розрахунок тривалості інсоляції з застосуванням сонячної карти за методом розрахункової точки	164
4.10 Розрахунок тривалості інсоляції з застосуванням сонячної карти за методом граничної поверхні інсоляції	179
4.11 Сонцезахист і світлорегулювання в містах і будівлях	199
Контрольні запитання	215
Розділ 5. АРХІТЕКТУРНЕ КОЛЬОРОЗНАВСТВО	217
5.1 Основні поняття	217
5.2 Стандартні джерела випромінювання	230
5.3 Методи утворення кольору. Закони Грассмана	233
5.4 Система опису кольорів RGB	242
5.5 Система опису кольорів XYZ	251
5.6 Колір в інтер'єрі	260
Контрольні запитання	268
Література	269

Розділ 1. ОСНОВИ АРХІТЕКТУРНОЇ СВІТЛОЛОГІЇ

1.1 Оптичне випромінювання

Випромінювання (радіація) є однією з форм існування матерії у вигляді електромагнітного поля. Характерною особливістю випромінювання є **корпускулярно-хвильовий дуалізм**.

Елементарна частинка випромінювання – **фотон**, енергія якого (квант) равна

$$\varepsilon = h\nu = \hbar\omega$$

де $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постійна Планка, $\hbar = h/2\pi$; ν – частота випромінювання ($\omega = 2\pi\nu$), Гц.

У вакуумі фотони рухаються з швидкістю $c \approx 2,9979 \cdot 10^8$ м/с (швидкість світла).

Корпускулярні властивості фотона визначаються його масою $m_\phi = \varepsilon/c^2$ (формула Ейнштейна $E = mc^2$) і імпульсом $p_\phi = \varepsilon/c = h\nu/c$. Фотон рухається з швидкістю c – максимальною швидкістю, з якою може рухатися елементарна частинка матерії; отже, його маса спокою рівна нулю (в стані спокою фотони не існують).

Хвильові властивості фотона описуються частотою і довжиною хвилі. Довжина хвилі фотона у вакуумі $\lambda = c/\nu$ ($\lambda = cT$ – довжина хвилі – відстань, яку проходить хвиля за час одного періоду $T = 1/\nu$).

Генераторами випромінювання є рухомі молекули і атоми речовини. Монохроматичне (однорідне) випромінювання одержати на практиці не можна. Прийнято під монохроматичним випромінюванням розуміти сукупність фотонів, що володіють практично однаковою довжиною хвилі (або частотою хвилі).

Складне випромінювання складається з сукупності монохроматичних випромінювань. Світлотехніка має справу з оптичним випромінюванням, тобто електромагнітним випромінюванням з довжинами хвиль приблизно від 1 нм до 1 мм, що лежить в області між рентгенівським і радіо- випромінюванням (рис.1.1).

Оптична частина спектру ділиться на ультрафіолетову (УФ), видиму та інфрачервону (ІЧ).

Ультрафіолетове випромінювання – оптичне випромінювання, довжини хвиль монохроматичних складових якого лежать в межах від 1 до 380 нм. Міжнародна комісія з освітлення МКО пропонує наступний розподіл УФ випромінювання з довжинами хвиль від 100 до 400 нм ($1\text{нм} = 10^{-9}\text{м}$):

УФ-А – з довжинами хвиль	315нм – 400нм;
УФ-В – з довжинами хвиль	280нм – 315нм;
УФ-С – з довжинами хвиль	100нм – 280нм.

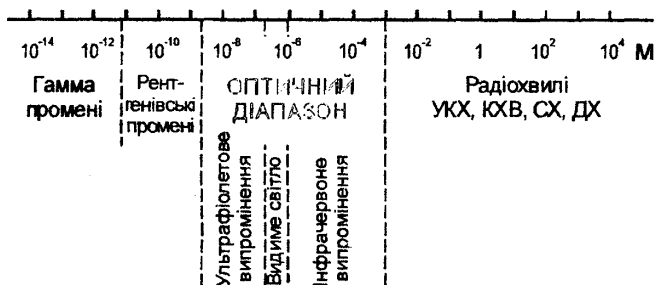


Рисунок 1.1 – Спектр електромагнітного випромінювання

Кванти УФ випромінювання, що володіють великою енергією, здатні змінювати хімічну структуру окремих клітин і тканин живих організмів.

Встановлено, що УФ випромінювання з довжинами хвиль від 280 до 400 нм корисно діє на організм людини. При опромінюванні певними дозами УФ випромінювання поліпшується дихання, кровообіг, підвищується вміст гемоглобіну в крові, активізується діяльність залоз внутрішньої секреції, в організмі утворюється вітамін D, зміцнюється нервова система, прискорюється ріст організму, знижується захворюваність. Цю сприятливу дію УФ випромінювання називають **вітальною дією**. УФ випромінювання в діапазоні від 200 до 400 нм володіє **бактерицидною дією**, тобто здатністю в певних умовах викликати загибель бактерій. Проте дія УФ випромінювання не однакова для монохроматичних випромінювань різних довжин хвиль, що показано на рис. 1.2.

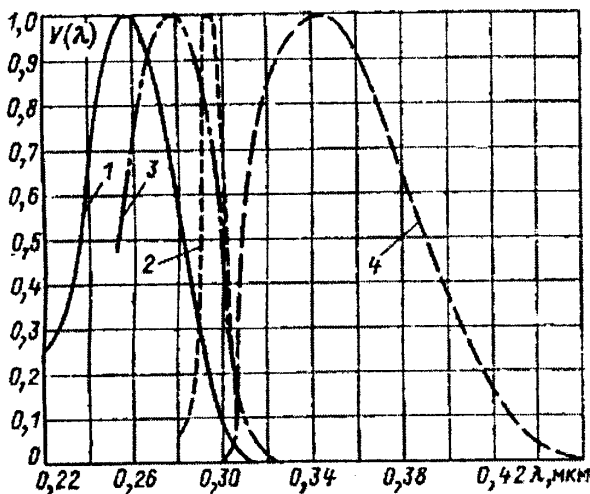


Рисунок 1.2 – Відносна спектральна ефективність в функції довжини хвилі випромінювання

Наприклад, сприятлива дія УФ випромінювання на організм людини може характеризуватися кривою вітальної ефективності 2 на рис. 1.2, а бактеріцидна дія – кривою 1. Там же показані криві спектральної ефективності утворення вітаміну D (крива 3) і ефективності корисної пігментації (крива 4).

Видиме випромінювання (світло) – випромінювання, яке, потрапляючи на сітчасту оболонку ока, може викликати зорове відчуття (відчуття – перетворення енергії зовнішнього подразника у факт-свідомості). Видиме випромінювання має довжини хвиль монохроматичних складових в межах 380-780 нм.

Інфрачервоне випромінювання має довжини хвиль монохроматичних складових, більші за довжини хвиль видимого випромінювання (але не більш 1 мм). МКО пропонує наступний розподіл ІЧВ області випромінювання:

ІЧ-А – з довжинами хвиль 780-1400 нм (0,78-1,4 мкм);

ІЧ-В – з довжинами хвиль 1400-3000 нм (1,4-3,0 мкм);

ІЧ-С – з довжинами хвиль 3000-10⁶ нм (3,0 мкм – 1 мм).

Спектр випромінювання – сукупність монохроматичних випромінювань, що входять до складу складного випромінювання. Спектр випромінювання може описуватися графічною, аналітич-

ною або табличною залежністю. Джерела випромінювання можуть мати суцільний, смугастий, лінійчатий спектр або спектр, що має суцільну і лінійчасту складові. Суцільний спектр – спектр, у якого монохроматичні складові заповнюють без розривів інтервал довжин хвиль, в межах якого відбувається випромінювання. Смугастий спектр – спектр, монохроматичні складові якого утворюють дискретні групи (смуги), що складаються з безлічі тісно розташованих ліній. Лінійчатий спектр – спектр, що складається з окремих монохроматичних випромінювань. Прикладом суцільного спектру є денне світло.

Потрапляючи в око випромінювання видимого діапазону з різними довжинами хвиль викликають відчуття того або іншого кольору. Наближені межі кольорових смуг видимого випромінювання приводяться в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Кольорові смуги видимого випромінювання

Кольори	Довжина хвиль, нм	Кольори	Довжина хвиль, нм
Фіалковий	450-380	Жовтий	585-575
Синій	480-450	Помаранчевий	620-585
Зелений	550-510	Червоний	760-620

1.2 Основні енергетичні і світлові величини та одиниці їх вимірювань

Дія світла на людину, її око, будь-який світлочутливий прилад полягає перш за все в передачі оку або фізичному приладу енергії електромагнітного випромінювання. Тому вимірювання світла зводиться в основному до вимірювання світлової енергії і величин з нею пов'язаних.

Розглянемо деякі основні фізичні величини, одиниці їх вимірювання і співвідношення між ними, які найбільш широко використовуються в архітектурній світлотехніці.

Потік променевої енергії (променевий потік). Кількість енергії, яка переноситься через площадку за одиницю часу, називають енергетичним потоком:

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt} \quad (1.1)$$

Енергетичний потік має розмірність потужності (Вт) і його можна виміряти за кількістю енергії $Q_e(t)$ переданої тілу.

Для сприйняття світлової енергії важливу роль відіграє людське око. Тому поряд із енергетичною оцінкою дії світла користуються оцінкою, яка ґрунтується на безпосередньому світловому сприйнятті ока. Виходячи із цього, **потік променевої енергії, оцінений за зоровими відчуттями, називають світловим потоком**. Отже, у світлових вимірюваннях користуються двома системами понять і двома системами одиниць: одна із них ґрунтується на **енергетичній оцінці дії світла**, друга - на **зорових відчуттях**.

Оскільки біле світло є складним, в ньому є хвилі всіх можливих довжин. Для повної енергетичної характеристики такого світла необхідно знати розподіл енергії за довжинами хвиль.

Нехай ми маємо потік із загальною потужністю Φ_e .

Елементарний енергетичний потік $d\Phi_e$, що припадає на інтервал довжин хвиль $d\lambda$ поблизу довжини хвилі λ , можна вважати пропорційним інтервалу $d\lambda$

$$d\Phi_e = l_\lambda d\lambda$$

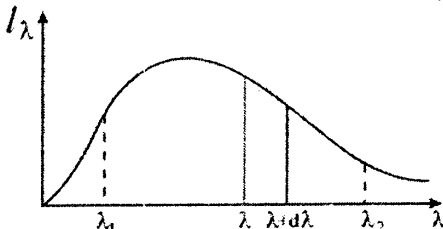


Рисунок 1.3 – Спектральна густина випромінювання

Величина l_λ отримала назву функції розподілу за довжинами хвиль і дорівнює потужності випромінювання, віднесеної до одиничного інтервалу довжин хвиль поблизу даної довжини хвилі λ ($l_\lambda = d\Phi_e / d\lambda$). Величину l_λ часто ще називають **спектральною густиною потужності випромінювання**. Залежність l_λ від λ наведено на рис. 1.3. Вигляд цієї функції залежить від природи випромінюючого тіла і тих умов, за яких відбувається випромінювання.

Однак, зазначена характеристика є вичерпною лише з енерге-

тичної точки зору, але вона не відображає **інтенсивності суб'єктивного відчуття**, яке викликає світловий потік. Інтенсивність суб'єктивного відчуття залежить від ступеня чутливості ока до світла різних довжин хвиль. Інфрачервоні і ультрафіолетові промені не викликають ніякого зорового відчуття, якої б вони потужності не були. З другого боку, око є чутливим навіть при малій потужності, до зеленого світла. До всіх інших світлових хвиль, які входять до видимого діапазону, око виявляє різну чутливість. Тому, щоб ввести величину, яка характеризує здатність світлового потоку викликати світлові відчуття, **необхідно розглянути чутливість ока до світлових хвиль різної довжини**. Оскільки чутливість ока у різних людей є різна, тобто спостерігаються індивідуальні відхилення (не беручи вже до уваги аномалії викликані хворобою), то вводиться поняття "середньої чутливості ока"¹.

Величина, яка характеризує "середню чутливість ока" до світлових хвиль різної довжини називається **функцією видності** V_λ (рис. 1.4). Вигляд і спектральне положення цієї функції залежать до деякої міри від величини освітленості. Крива 1 характеризує V_λ від λ при яскравому освітленні, а в сутінках максимум цієї функції зсувається в бік коротких хвиль (крива 2). Цей ефект вперше спостерігав Пуркінє, і тому він отримав назву ефекту Пуркінє.

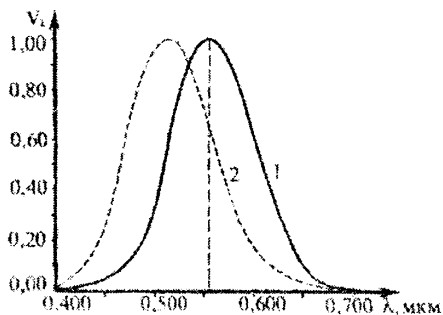


Рисунок 1.4 – Функція видності

Знаючи функцію видності можна ввести нову величину, яка б характеризувала світло з врахуванням його здатності викликати зорові відчуття. Таку величину називають **світловим потоком** і вона дорівнює добутку потоку світлової енергії на функцію видності:

¹ **Середнє людське око** – це око, чутливість якого за заданих умов має встановлені при денному зорі значення спектральної чутливості (згідно ГОСТ 8485).

$$d\Phi_v = v_\lambda l_\lambda d\lambda. \quad (1.2)$$

Співвідношення (1.2) має місце для потоку, який відноситься до дуже вузького інтервалу довжин хвиль $d\lambda$ поблизу довжини хвилі λ . Повний світловий потік дорівнює:

$$\Phi_v = \int v_\lambda l_\lambda d\lambda \quad (1.3)$$

Світловий потік визначає інтенсивність зорового відчуття, що дає світло певної потужності і певного спектрального складу. Функція видності має зміст спектральної густини світлового потоку.

Зв'язок між світловим та променевим потоком

$$\Phi_v = \int \frac{d\Phi_e}{d\lambda} v_\lambda d\lambda. \quad (1.4)$$

Одиницею світлового потоку є люмен (лм).

Як правило джерела світла випромінюють світловий потік у простір нерівномірно. Для оцінки світової дії джерела в даному напрямку використовують поняття сили світла.

Сила світла – це величина світлового потоку, що припадає на одиницю тілесного кута

$$I_v = \frac{d\Phi_v}{d\Omega}, \quad (1.5)$$

де $d\Phi_v$ – світловий потік, лм;

$d\Omega$ – елементарний просторовий кут, ср (стерадіан).

Сила світла є основною світловою величиною. Одиниця сили світла – кандела (кд). **Кандела** – це сила світла, яке випромінюється з поверхні $1/600000 \text{ м}^2$ повного випромінювача в перпендикулярному напрямку при температурі випромінювача, що дорівнює температурі затвердіння платини 2042,5К (при нормальному тиску 101325 Па).

Люмен – це світловий потік, що випромінюється рівномірним точковим джерелом світла в тілесному куті 1ср за сили світла 1 кд.

Тілесний кут (рис.1.5) визначається формулою

$$\Omega = S / r^2 \quad (1.6)$$

де S – площа, яку тілесний кут вирізає на поверхні сфери, описаній з його вершини, м^2 ;

r – радіус цієї сфери, м.

Для уявлення про розподіл світлового потоку, що випромінюється джерелом у простір, користуються **кривими розподілу сили світла** (скорочено – КСС, або інша назва – **діаграми направленості випромінювача**). Ці криві будуються зазвичай в полярних координатах наступним чином: сила світла в різних напрямках відкладається в прийнятому масштабі на радіусах-векторах, проведених з центру. Кінці векторів, що відповідають значенням сили світла в різних напрямках, з'єднують і таким чином отримують замкнуту поверхню; частина простору, обмежена цією поверхнею називається **фотометричним тілом сили світла**.

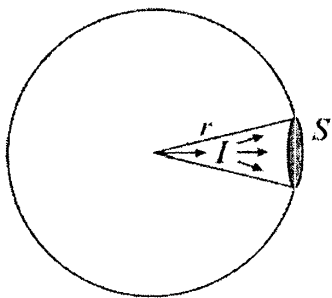


Рисунок 1.5 – Схема до визначення тілесного кута, який визначає силу світла у визначеному напрямку

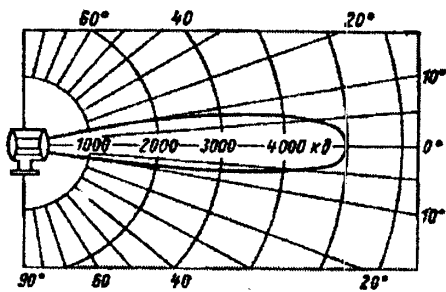


Рисунок 1.6 – Крива сили світла круглосиметричного прожектора

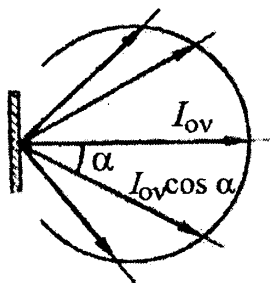


Рисунок 1.7

Досить просту діаграму направленості має плоска поверхня, яка дифузно випромінює світло. Якщо в напрямку, перпендикулярному до поверхні, інтенсивність розсіяного світла рівна I_{0v} , то в напрямку, який складає кут α із нормаллю до поверхні, $I_v = I_{0v} \cos \alpha$. Внаслідок цього діаграма направленості є колом (рис. 1.7). Такий випромінювач називається **ламбертовим випромінювачем**.

Якщо сила випромінювання не залежить від напрямку (тобто маємо рівномірний за всіма напрямками потік) тілесний кут випромінювання джерела буде дорівнювати повному тілесному куту 4π (повний тілесний кут дорівнює відношенню площі поверхні сфери $4\pi r^2$ до r^2) і

$$I_v = \frac{\Phi_v}{4\pi} \text{ або } \Phi_v = 4\pi I_v. \quad (1.7)$$

Загальна величина світлового потоку характеризує джерело і не може бути збільшена ніякими оптичними приладами або їх системами. Дія цих приладів або їх систем зводиться лише до перерозподілу світлового потоку в тих чи інших напрямках. Таким чином досягається збільшення сили світла в одному напрямку при відповідному зменшенні в іншому (прожектори, світильники тощо).

Важливою фотометричною величиною є **яскравість** джерела. Яскравість безпосередньо сприймається оком; і являє собою поверхневу густину сили світла в заданому напрямку, що визначається відношенням сили світла, яку створює одиниця поверхні, до величини видимої поверхні

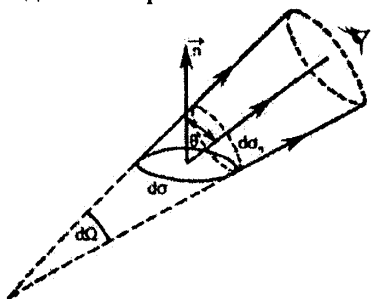


Рисунок 1.8 – Схема до пояснення яскравості поверхні

За означення сили світла $I_v = d\Phi_v / d\Omega$, звідки

$$B_v = \frac{d\Phi_v}{d\sigma \cos \theta \cdot d\Omega}. \quad (1.10)$$

$$B_v = \frac{I_v}{d\sigma_n}. \quad (1.8)$$

Проаналізуємо рис. 1.8: потік випромінюється площадкою $d\sigma$ у тілесний кут Ω , $d\sigma_n = d\sigma \cos \theta$ – видима поверхня (проекція площадки $d\sigma$ на площину, перпендикулярну до осі пучка).

Тоді

$$B_v = \frac{I_v}{d\sigma \cos \theta} \quad (1.9)$$

Яскравість характеризує випромінювання елемента поверхні джерела в даному напрямку.

Якщо яскравість поверхні B_v у всіх напрямках однакова, тобто $B_v = \text{const}$, то сталим є і добуток $B_v d\sigma$: $B_v d\sigma = I_{0v}$ і отримаємо

$$I_v(\theta) = I_{0v} \cos \theta \quad (1.11)$$

де $I_v(\theta)$ – сила світла у напрямку кута θ , θ – кут між напрямком випромінювання і нормаллю до поверхні, I_{0v} – сила світла у напрямку нормалі до поверхні. Залежність (1.11) називається **законом Ламберта**, а поверхні (джерела) випромінювання, які характеризуються умовою $B_v = \text{const}$ – **ламбертовими**. Насправді лише деякі реальні тіла випромінюють (чи розсіюють) світло за законом Ламберта. До них відносяться гіпс, молочне скло, деякі типи хмар (кри- ва сили світла таких джерел наведена на рис. 1.7).

Яскравість вимірюється в кд/м^2 .

Для прикладу наведемо значення яскравостей деяких джерел:

- нічне безмісячне небо 10^{-4} кд/м^2 ;
- повного місяця 10^3 кд/м^2 ;
- безхмарного ясного денного неба 10^4 кд/м^2 ;
- вольфрамової нитки лампи розжарення 10^6 кд/м^2 ;
- Сонця 10^9 кд/м^2 ;
- лазера 10^{11} кд/м^2 .

Слід зауважити, що око розрізняє яскравість порядку 10^{-6} кд/м^2 .

Світність – це поверхнева густина випромінюваного джерелом світлового потоку. Світність рівна відношенню світлового потоку, випромінюваного елементом поверхні, до площі цього елемента

$$M_v = \frac{d\Phi_v}{d\sigma} \quad (1.12)$$

Одиницею світності є лм/м^2 . Наприклад, світність колби люмінесцентної лампи дорівнює $22 \cdot 10^3 \text{ лм/м}^2$, а поверхні Сонця – $3,14 \cdot 10^9 \text{ лм/м}^2$.

Якщо яскравість джерела не залежить від напрямку $B_v = \text{const}$, то світність рівна

$$M_v = \pi B_v. \quad (1.13)$$

Освітленість. Всі попередні характерні величини відносились до процесу випромінювання світла. Розглянемо тепер процес падіння світла на деяку поверхню (рис. 1.9).

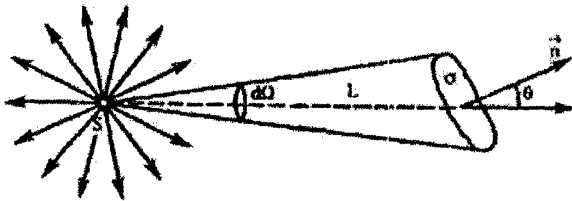


Рисунок 1.9 – Схема для пояснення освітленості

Освітленість чисельно дорівнює світловому потокові, що припадає на одиницю площі освітлюваної поверхні тіла

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{d\sigma}, \quad (1.13)$$

Враховуючи, що для точкового джерела світла $d\Phi_v = I_v d\Omega$, а (з рис 1.9) $d\Omega = d\sigma \cos \theta / L^2$, отримаємо

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{d\sigma} = \frac{I_v d\Omega}{d\sigma} = \frac{I_v \cos \theta}{L^2}, \quad (1.14)$$

де θ – кут між зовнішньою нормаллю до опромінюваної поверхні і напрямком світлового потоку, L – відстань від джерела світла до освітлювальної поверхні.

Формула (1.14) виражає основний закон освітленості, згідно з яким **освітленість поверхні прямо пропорційна силі світла та косинусу кута падіння і обернено пропорційна квадрату відстані від точкового джерела світла до освітлюваної поверхні.** Для протяжних (неточкових) джерел закон освітленості стає також залежним від форми і розмірів джерела. В цьому випадку поверхню джерела розбивають на елементарні ділянки, до яких можна застосовувати закон освітленості від точкових джерел і проводять інтегрування по всій поверхні джерела, враховуючи залежність сили світла від напрямку.

Одиницею освітленості є люкс (лк). **Освітленість в один люкс**

визначається світловим потоком в один люмен, який рівномірно розподіляється на площі в один квадратний метр. Прямі промені Сонця на поверхні Землі створюють освітленість 10^5 лк.

Крім наведених вище величин користуються ще поняттям експозиції. Експозиція визначається повним світловим потоком, який падає на поверхню площею в 1 м^2 за час dt :

$$dH_v = E_v dt$$

або при незмінній освітленості

$$H_v = E_v t,$$

тобто експозиція визначається як добуток фотометричної освітленості на час освітлювання

Експозиція вимірюється в лк·с.

1.3 Оптичні та світлотехнічні характеристики матеріалів

Заломленням випромінювання називається зміна його напрямку при переході з однієї прозорого середовища в інше (рис. 1.10).

Відповідно до закону заломлення промені – падаючий i заломлений – лежать в одній площині з перпендикуляром до елементу заломлюючої поверхні в точці падіння променя, причому відношення синусів кутів падіння i і заломлення j для розглянутих середовищ залежить тільки від довжини хвилі випромінювання, але не залежить від кута падіння, тобто

$$\frac{\sin i}{\sin j} = n_{21}, \quad (1.15)$$

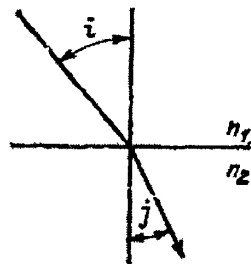


Рисунок 1.10 - До закону заломлення

Стала n_{21} називається відносним показником заломлення другого середовища відносно першого.

Показник заломлення середовища щодо вакууму називають абсолютним показником заломлення середовища. Він дорівнює відношенню швидкостей поширення світла у вакуумі c_0 і в даному середовищі v :

$$n = c_0 / v. \quad (1.16)$$

Відносний показник заломлення виражається через абсолютні показники першого і другого середовищ n_1 і n_2 співвідношенням

$$n_{21} = n_2 / n_1. \quad (1.17)$$

Якщо світло проходить з оптично більш густого середовища в оптично менш густе ($n_1 > n_2$), то кут заломлення j більший за кут падіння i і при збільшенні кута падіння буде збільшуватись і кут заломлення. Врешті наступить момент, коли кут заломлення стане рівним $\pi/2$, а $\sin j = \sin(\pi/2) = 1$, тобто заломлений промінь буде поширюватись вздовж межі поділу двох середовищ. Подальше збільшення кута падіння призведе до того, що заломлений промінь зникне, тобто все падаюче світло буде відбиватися. Це явище носить назву **повного внутрішнього відбивання**. Кут падіння i , при якому $j = \pi/2$, називається **граничним кутом** $i_{\text{гп}}$ **повного внутрішнього відбивання**. Значення $i_{\text{гп}}$ визначається виразом

$$\sin i_{\text{гп}} = n_{21} \quad (1.18)$$

Відбиванням називається повернення випромінювання об'єктом без зміни довжин хвиль його складових монохроматичних випромінювань.

Мають місце наступні види відбивань:

а) **дзеркальне** – без розсіювання відбитого світлового потоку (рис. 1.11, а); при дзеркальному відбиванні: 1) падаючий і відбитий промені лежать в одній площині з перпендикуляром до елемента поверхні, що відбиває в точці падіння променя, 2) кут падіння променя дорівнює куту його відбиття;

б) **дифузне**, при якому відбитий потік випромінювання розсіюється так, що яскравість у всіх напрямках півпростору однакова (рис. 1.11, б);

в) **змішане** – при якому спостерігається частково дзеркальне і частково дифузне відбивання (рис. 1.11, в);

г) **направлено-розсіяне**, при якому фотометричне тіло відбитих від поверхні сил світла можна наближено описати витягнутим еліпсоїдом обертання (рис. 1.11, г), велика вісь якого розташовується в



напрямку дзеркального відбивання.

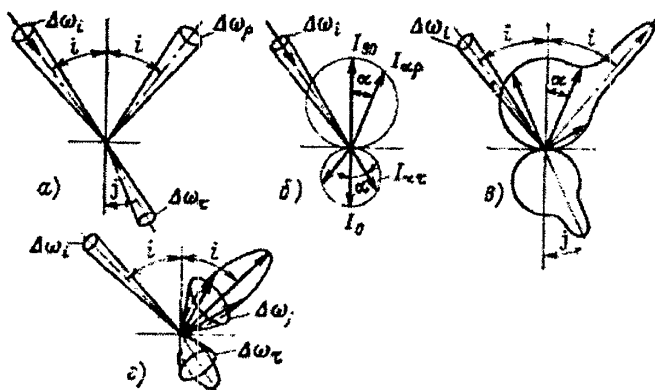


Рисунок 1.11 – Види відбиванні та пропускання світла різними матеріалами

При дзеркальному відбиванні тілесні кути $\Delta\omega_i = \Delta\omega_r$, яскравість в межах тілесного кута $\Delta\omega_r$ стала і рівна $B_r = B_i \cdot \rho$, де B_i – яскравість в межах тілесного кута $\Delta\omega_i$, ρ – коефіцієнт відбивання.

У разі дифузного відбивання (рис. 1.11, г) $\Delta\omega_i \ll \Delta\omega_r = 2\pi$.

Якщо освітленість поверхні (тобто світловий потік, що припадає на одиницю площі освітлюваної поверхні) E і коефіцієнт відбивання ρ , то освітлювана поверхня з одиниці поверхні буде випромінювати $E\rho$. Це світність освітлювальної поверхні. У випадку дифузного відбивання світла згідно (1.13) $M = \pi B$ і $\pi B = E\rho$, звідки

$$B_r = \frac{E\rho}{\pi}, \quad (1.19)$$

де B_r – яскравість освітлюваної поверхні, яка відбиває світло.

Пропусканням називається проходження випромінювання (світла) крізь середовище без зміни довжин хвиль складових його монохроматичних випромінювань. Спостерігаються наступні види пропускання: а) направлене – без розсіювання (рис. 1.11, а); б) дифузне – при якому потік випромінювання, що пройшов, розсіюється

так, що яскравість у всіх напрямках півпростору однакова (рис. 1.11, б):

$$B_{\tau} = \frac{E\tau}{\pi} = \text{const}, \quad (1.20)$$

де E – освітленість поверхні, τ – коефіцієнт світлопропускання середовища, B_{τ} – яскравість освітлюваної поверхні, що пропускає світло; в) змішане – при якому спостерігається частково направлене і частково дифузне пропускання (рис. 1.11, в); г) направлено розсіяне, при якому крива сил світла наближено описується витягнутим еліпсоїдом обертання (рис. 1.11, г).

Світловий потік Φ_i , падаючий на поверхню середовища, частково відбивається Φ_p , частково проходить крізь нього Φ_{τ} , частково поглинається Φ_a , тобто

$$\Phi_i = \Phi_p + \Phi_{\tau} + \Phi_a. \quad (1.21)$$

Поділивши рівняння на Φ_i , отримаємо

$$1 = \rho + \tau + a, \quad (1.22)$$

де ρ – коефіцієнт світловідбивання, що рівний відношенню відбитого потоку до падаючого Φ_p / Φ_i ; τ – коефіцієнт світлопропускання Φ_{τ} / Φ_i ; a – коефіцієнт поглинання світла Φ_a / Φ_i .

Сумарне значення освітленості в тій чи іншій точці приміщення визначається такими складовими: часткою природного освітлення, створюваного прямим світлом неба (і оцінюваного значенням геометричного КПО); часткою освітлення, обумовленого за бічному освітлення віддзеркаленням світла фасадами сусідніх будівель і землею; при цьому участь прямого сонячного світла в створенні яскравості поверхонь, що відбивають виключається; часткою освітлення, зумовленого віддзеркаленням світла від внутрішніх поверхонь приміщення.

Критерієм оцінки природного освітлення служить **коефіцієнт природної освітленості (КПО)**, який являє собою відношення природної освітленості E_M , створюваної в точці M на заданій робочій поверхні всередині приміщення дифузним світлом неба (безпосередньо або після відбиття), до одночасного значення зовнішньої гори-

зонтальної освітленості під відкритим небозводом E_n . Значення КПО показує, яку частку складає освітленість в даній точці М приміщення від одночасно виміряної освітленості горизонтальної поверхні на відкритому місці при дифузному світлі неба; КПО виражається у відсотках. Значення КПО знаходиться з виразу:

$$e_M = (E_M / E_n) \cdot 100\% \quad (1.23)$$

Поряд з КПО в розрахунках природного освітлення застосовується **геометричний КПО** ε . Він відрізняється від e тим, що не враховує вплив скління і обробки в приміщенні, а також нерівномірного яскравості небосхилу. Геометричний КПО визначається за законом проекції тілесного кута.

Абсолютне значення освітленості в будь-якій точці приміщення можна знайти з формули

$$E_M = e_M E_n / 100\% \quad (1.24)$$

тобто для визначення освітленості в будь-якій точці приміщення в той чи інший момент часу необхідно знати одночасну зовнішню освітленість при дифузному світлі неба.

Остання знаходиться за кривими зовнішньої освітленості при дифузному світлі неба, які будуються зазвичай на основі результатів обробки багаторічних вимірювань, що регулярно проводяться метеорологічними станціями [1].

1.4 Закони світлонадходження до приміщень

В основу розрахунку та моделювання природного освітлення приміщень покладено два закони:

Закон проекції тілесного кута. Освітленість E_M в будь-якій точці поверхні приміщення, яка створена рівномірно висвічуваною поверхнею неба, прямо пропорційна яскравості неба B і площі проекції σ тілесного кута, в межах якого з даної точки видно ділянку неба, на освітлювану робочу поверхню. При цьому прийнято 3 припущення: 1) яскравість неба у всіх точках однакова; 2) не враховується вплив відбитого світла; 3) Не враховується заскленість вікна.

Графічно закон зображається наступною побудовою: проведемо з точки М полусферу небозводу, радіусом, який рівний одиниці, і

позначимо яскравість неба через B (рис. 1.12). Визначимо освітленість в точці M , створювану в приміщенні через вікно ділянкою півсфери S (радіусом $R=1=L$), яку можна прийняти за точкове джерело світла, за формулою (1.14). $E_M = I \cos \alpha / L^2 = I \cos \alpha$, де α – кут падіння променів світла що проходять через центр освітлюючої поверхні S на робочу поверхню у точку M .

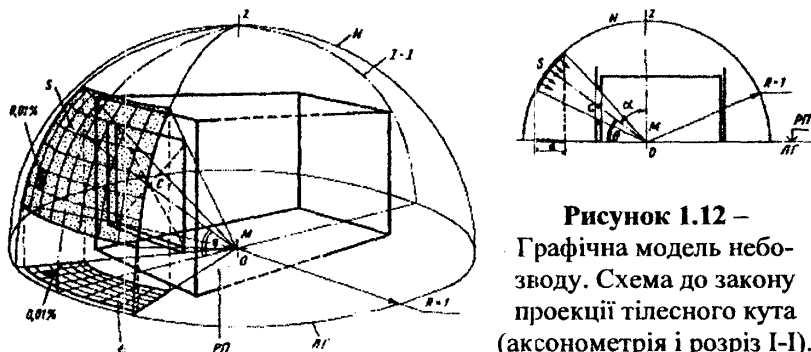


Рисунок 1.12 –
Графічна модель небо-
зводу. Схема до закону
проекції тілесного кута
(аксонометрія і розріз I-I).

S – ділянка неба, видима з точки M ; N – небозвод, ЛГ – лінія горизонту, θ – кутова висота центру світлоотвору C над горизонтом, α – кут падіння променів з центру світлоотвору на горизонтальну поверхню.

Виражаючи в ній силу світла I ділянки неба S через яскравість B згідно з формулою (1.8) $I = BS$, отримаємо

$$E_M = I \cos \alpha = BS \cos \alpha. \quad (1.25)$$

$S \cos \alpha = \delta$ – площа проекції ділянки неба S на освітлювану поверхню. Таким чином, закон проекції тілесного кута виражається формулою

$$E_M = B\delta, \quad (1.26)$$

тобто освітленість в будь-якій точці приміщення дорівнює добутку яскравості ділянки неба, видимої з даної точки через світлопроріз, на проекцію цієї ділянки неба на освітлювану поверхню.

Уявімо тепер, що точка знаходиться на відкритій горизонтальній поверхні і освітлюється всією, рівномірно яскравою півсферою.

В цьому випадку

$$E_n = B\pi R^2, \quad (1.27)$$

де πR^2 – площа проекції півсфери на горизонтальну поверхню; але $R=1$, отже $E_n = B\pi$.

Звідси

$$\varepsilon_M = B\delta / B\pi = \delta / \pi, \quad (1.28)$$

тобто значення КПО в будь-якій точці поверхні визначається відношенням проекції видимої з даної точки приміщення ділянки неба на освітлювану поверхню до величини π . Це відношення являє собою геометричне вираження коефіцієнта природної освітленості – геометричний КПО.

Практичне значення цього закону дуже велике: користуючись ним, можна визначити відносну світлову активність різних світлопрорізів або порівнювати освітленості, створювані одним і тим же світло прорізом, розташованим по різному щодо робочої площини (рис. 1.13), а також визначати світлотіньовий рисунок на об'ємних об'єктах і деталях під відкритим небозводом у похмурий день.

На основі цього закону розроблені графічні способи розрахунку природного освітлення (зокрема, графіки Данилюка), що одержали широке використання в архітектурній практиці.

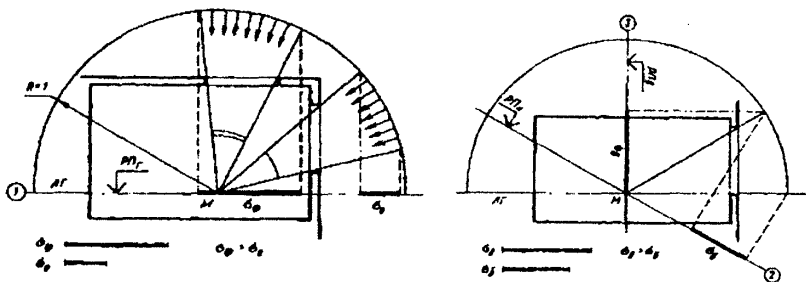


Рисунок 1.13 – Визначення відносної світлової активності світлоотворів за допомогою закону проекції тілесного кута за розташування точки на горизонтальній (1), нахилений (2) і вертикальній (3) площинах

Закон світлотехнічної подібності. Освітленість в точці М приміщення створюється через вікна, що володіють яскравістю B_1 і B_2 . Яскравості можуть бути однаковими або різними (різна яскравість досягається, наприклад, застосуванням різних конструкцій світлоотвору, різних сортів скла і т.і.). Розміри вікон так само можуть бути однаковими або різними (рис. 1.14), але у випадку, коли вікна обмежені розмірами одного і того ж самого тілесного кута з вершиною у точці М, згідно закону проекції тілесного кута, освітленість в точці М, створена цими вікнами буде однакою, якщо $B_1 = B_2$.

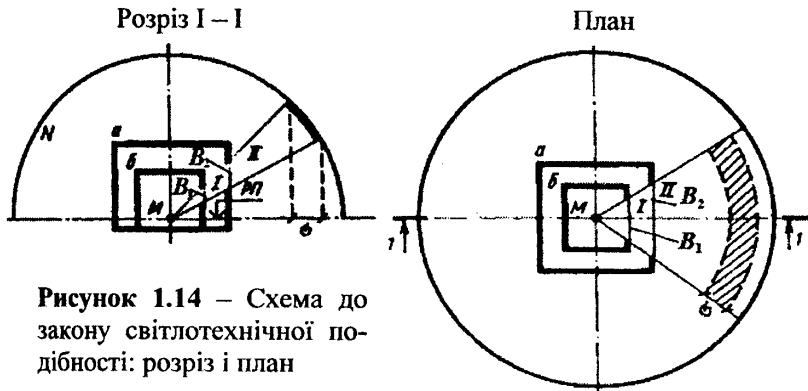


Рисунок 1.14 – Схема до закону світлотехнічної подібності: розріз і план

Тобто, освітленість у точці приміщення буде однаковою, якщо вона створюється світлоотворами з однаковою яскравістю й однаковими тілесними кутами.

Освітлюваність в будь-якій точці приміщення залежить не від абсолютних, а від відносних розмірів світлоотворів і приміщення.

Велике практичне значення цього закону в тому, що він дозволяє вирішити задачі природного освітлення, користуючись методом моделювання, оцінити умови освітлювання на моделях. Для цього виготовляють моделі в масштабі не менше ніж 1:20. При цьому старанно дотримуються всі геометричні світлотехнічні параметри (побілка, пропорції, деталі інтер'єру).

Контрольні запитання

1. Поясніть термін "спектр випромінювання".
2. Яке випромінювання попадає в оптичну частину спектру?
3. Чому вводять два види фотометричних величин (енергетичні та світлові)?
4. Які ви знаєте фотометричні величини? В чому відмінність між поняттями "світність" та "освітленість"?
5. Поясніть термін "діаграма направленості випромінювача".
6. Яке джерело випромінювання називається ламбертовим?
7. Зміст показників заломлення (абсолютного та відносного).
8. Який кут називається граничним кутом повного внутрішнього відбивання?
9. Який основний критерій оцінки природного освітлення?
10. Поясніть закон проекції тілесного кута. В чому його практичне застосування?
11. Поясніть закон світлотехнічної подібності. В чому його практичне застосування?

Розділ 2. ПРИРОДНЕ ОСВІТЛЕННЯ БУДИНКІВ

Розрізняють три системи природного освітлення приміщень: бічне, верхнє і комбіноване освітлення [2]. Ця класифікація покладена в основу нормування природного освітлення. Система комбінованого природного освітлення являє собою комбінацію бічного і верхнього освітлення (рис. 2.1).

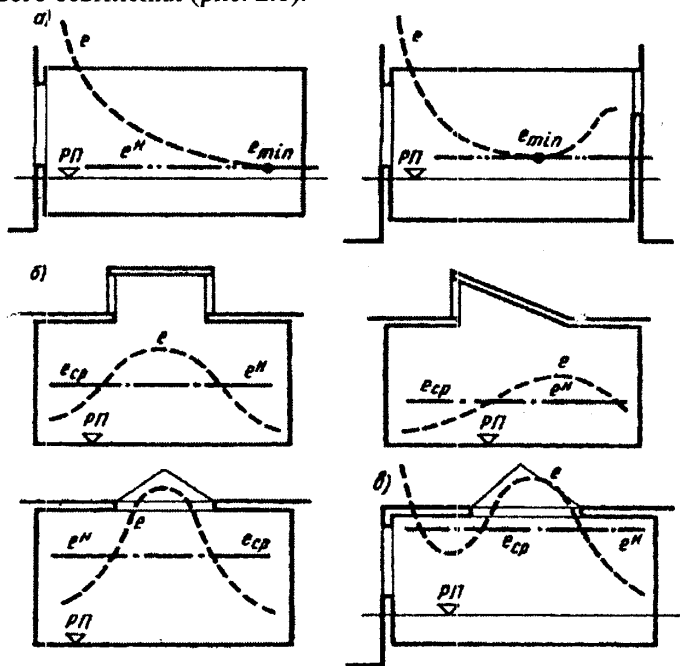


Рисунок 2.1 – Системи природного освітлення приміщення і нормовані значення КПО: а – бічне освітлення, одностороннє (ліворуч) і двостороннє (праворуч), $e'' \leq e_{\min}$; б – верхнє освітлення, П-подібний, зенітний (ліворуч) і шедовий (праворуч) ліхтарі; в – комбіноване (бічне плюс верхнє) освітлення $e'' \leq e_{\text{ср}}$

Система бічного освітлення підрозділяється на одно-, двох-, трьохстороннє і кругове освітлення.

Система верхнього освітлення може бути забезпечена різними пристроями – від повністю світлопропускаючого покриття до точкових ліхтарів і світлових шахт.

Якщо будь-яка з систем не забезпечує необхідного рівня освітлення та його якості (комфортності), то вона може бути доповнена штучним освітленням. Така система отримала назву суміщеної.

Вибір архітектором систем освітлення визначається насамперед призначенням приміщення.

Основними завданнями проектування природного освітлення будівель є: 1) вибір типу, розмірів і розташування світлових прорізів (в стінах і покриттях), при яких в приміщеннях забезпечуються нормовані показники освітлення; 2) захист робочих зон приміщення від сліпучої яскравості прямих і відбитих променів сонця; 3) погодження обраних світлопрорізів та їх розташування з архітектурними вимогами до освітлення, що сприяють виявленню простору, тектоніки, ритму, колірного рішення і характерного образу споруди.

Задачу, пов'язану з вибором типу і розташування світлопрорізів, слід вирішувати на основі світлотехнічних розрахунків, що підтверджують дотримання норм. При цьому необхідно враховувати затінення робочих поверхонь обладнанням і корпусом самого працюючого. Останнє у великій мірі залежить від системи природного освітлення і розташування працюючого щодо світлового прорізу.

На рис. 2.2 і 2.3 дана класифікація вікон і ліхтарів, що полегшує проектувальнику вибір типу і розташування світло прорізів.

При виборі типу світло прорізів та їх розташування в приміщенні треба керуватися даними про їх відносну світлову активність, пропорції, відстані один від одного для забезпечення нормованої нерівномірності освітлення в приміщенні, а також про залежність середнього значення КПО від висоти приміщення.

Серед архітектурно-будівельних прийомів природного освітлення інтер'єрів важливу роль грають сонцезахисні архітектурно-планувальні та конструктивні рішення.

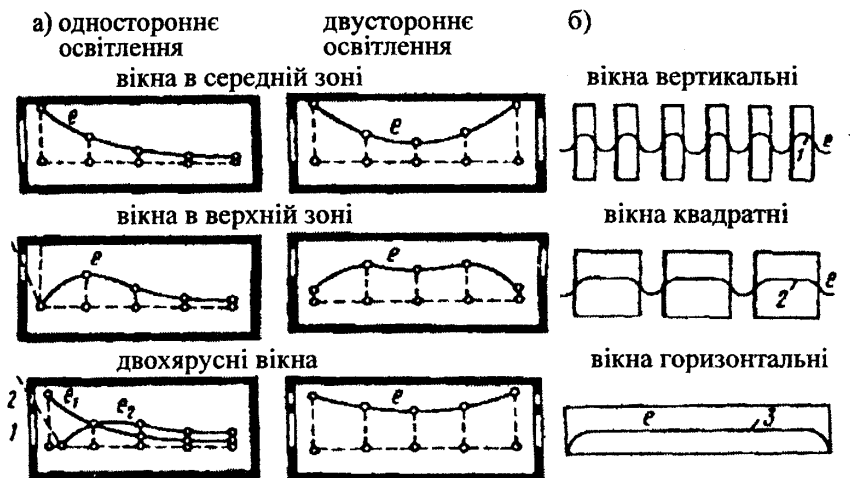


Рисунок 2.2 – Класифікація прийомів бокового освітлення через вікна (а) і типи вікон (б): 1, 2 – велика і середня нерівномірність освітлення; 3 – рівномірне освітлення (показано кривою КПО)

При виборі типів вікон і ліхтарів та їх розташування необхідно враховувати велику архітектурну роль цих деталей інтер'єру, які вносять свій ритм у членування простору, сприяють виявленню його глибини, а також істотно визначають художню тектоніку приміщень.

За характером розподілу світлового потоку, що пройшов у вікна і ліхтарі поділяються на три види (рис. 2.4):

перший вид (рис. 2.4, а) характеризується чітко вираженою спрямованістю світлового потоку, який чітко виділяє форми розглянутої деталі завдяки утворюваним власній та падаючій тіням, тобто володіє найкращим світломоделюючим ефектом;

світлові прорізи другого виду (рис. 2.4, б) створюють в приміщеннях так зване безтіньове освітлення завдяки двосторонньому чи багатосторонньому освітленню об'єктів в інтер'єрі або застосуванню в світлопройомах світлорозсіювальних матеріалів (скло, плівки,

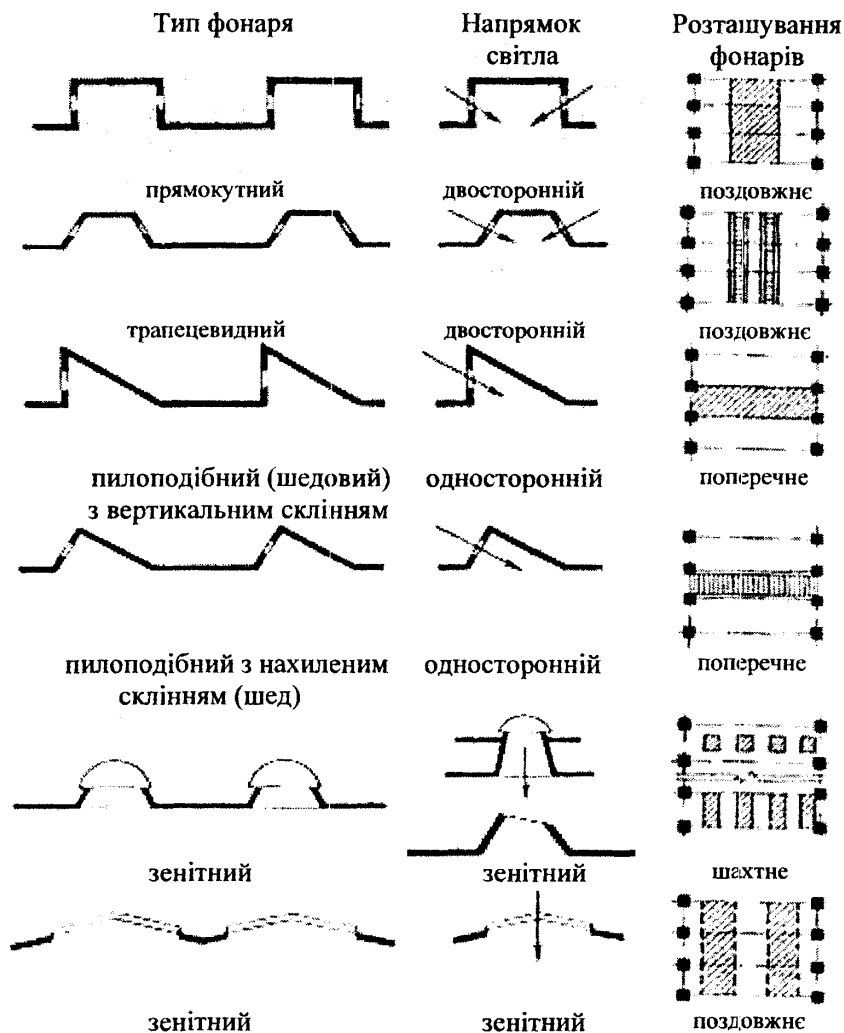


Рисунок 2.3 – Класифікація типів фонарів

решітки тощо; позначені штриховими лініями);
 для третього виду природного освітлення (рис. 2.4, в) характерне використання відбитого світла, що створюється прихованими від спостерігача вікнами; цей прийом освітлення створює ілюзію відкритого отвору і візуально збільшує глибину простору.

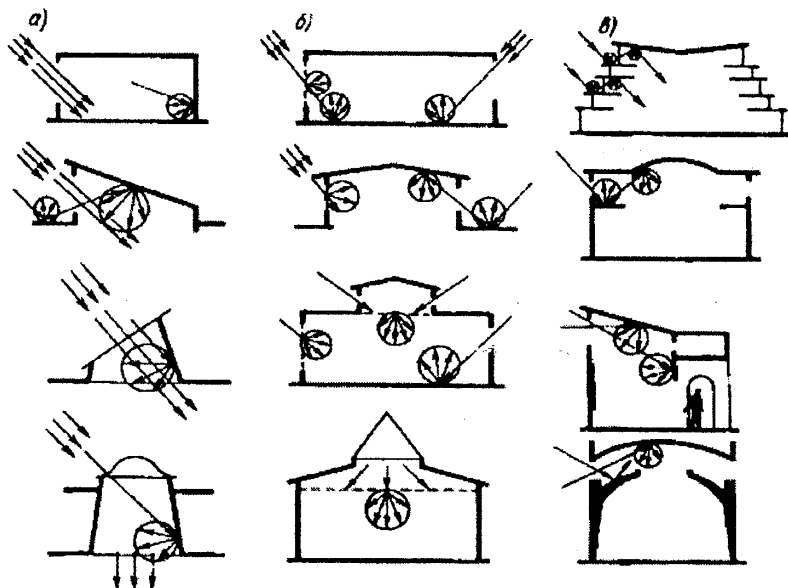


Рисунок 2.4 – Класифікація прийомів природного освітлення за характером світлорозподілу

Проектування системи верхнього освітлення в сучасних будівлях – завдання великої складності, його треба вирішувати комплексно, з урахуванням кліматичних умов району будівництва і особливостей технології виробництва.

Завдання проектування природного освітлення будівель визначаються їх художнім образом і призначенням. Класифікація будівель в залежності від вимог до світлової середовищі приведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Класифікація будівель за вимогами до світлового середовища.

Група будівель	Вимоги до світлового середовища	Приклади
I	Визначаються в основному ідейно-художніми задачами	1. Будинки меморіальної архітектури 2. Будинки парламентів, судів, влада 3. Палаці культури, науки і мистецтва 4. Культові споруди
II	Функціональні з урахуванням зорової адаптації відвідувачів	1. Панорами, діорами 2. Картинні галереї та музеї 3. Виставкові будівлі 4. Спортивні зали
III	Визначаються високими вимогами до забезпечення умов зорової працездатності в сукупності з естетичними і гігієнічними вимогами	1. Будинки вищих і середніх навчальних закладів 2. Школи 3. Будинки проектних і науково-дослідницьких інститутів 4. Виробничі будівлі та офіси
IV	Визначається в основному психологічними, естетичними і гігієнічними вимогами	1. Будинки лікувальних закладів, санаторіїв і будинків відпочинку 2. Будинки дитячих установ 3. Житлові будинки

Природне освітлення будівель, що відносяться до I групи, доцільно вирішувати так, щоб світло підкреслювало архітектурне значення центральних (головних) приміщень, акцентувало осі і членування простору, служило своєрідним гідом при русі відвідувачів від вестибюля до центру будівлі.

Прийоми природного освітлення будівель, що відносяться до групи I, можна простежити на архітектурних пам'ятках минулого. Використовуючи світло і колір для акцентування ідейного і художнього задуму, зодчі досягали великої виразності інтер'єрів і зумовлювали настрій і враження відвідувача (архітектурне надзавдання).

Цікаво вирішено освітлення собору Св. Петра в Римі, засноване на використанні темної адаптації. Напівсутінки, що панують у

вхідній частині інтер'єру, підкреслюють яскравість вітваря, освітленого світлом, що йде від "неба" – від купола. Розташовані в нижній частині купола вікна добре висвітлюють його простір і в сукупності з обраною витягнутою по вертикалі формою купола створюють враження великої глибини і спрямованості до неба.

В основних приміщеннях будівель II групи світло використовується як ефективний засіб акцентування уваги на об'єкті сприйняття (картині, скульптурі, сценічній або спортивній мізансцені, панорамі і т.д.), тобто як би без персоніфікації його ролі в навколишньому архітектурному просторі (рис. 2.5). Для цього застосовується нерівномірний розподіл світла в приміщенні і використовується ефект темної адаптації очей спостерігачів, розміщених у зоні зниженої яскравості.

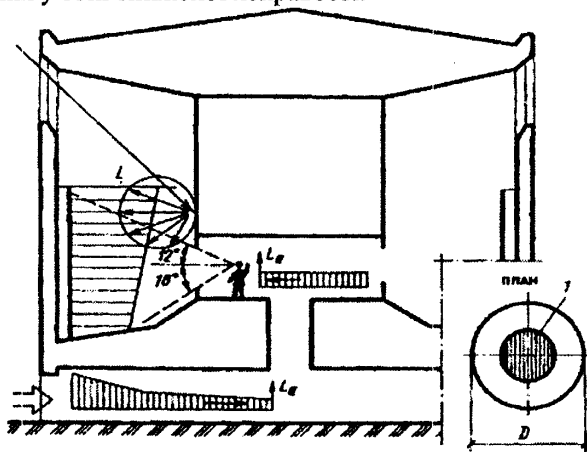


Рисунок 2.5 – Розріз і план будівлі панорами. На розрізі схематично показаний характер зміни яскравості L по ходу руху відвідувача з метою створення зорової ілюзії величезного простору, насиченого світлом l – зона зниженої яскравості адаптації L_a на плані в місці розташування глядачів

Демонстраційні зали в залежності від експозиції поділяються на два види: в перших переважають площинні експонати (картини,

гобелени і т.п.), в других – об'ємні (скульптура, обладнання).

При проектуванні картинних галерей необхідно передбачати виконання наступних вимог:

а) забезпечення досить інтенсивної освітленості картин, яка характеризується середнім значенням КПО на площині картини в межах 1,5-2%;

б) дотримання певного відношення середнього КПО на площині картини e_k до значення КПО на вертикальній площині, що проходить через око спостерігача e_v ; числове значення відношення e_k/e_v повинно бути більше одиниці і не перевищувати 10;

в) дотримання певного відношення середнього значення КПО на горизонтальній площині в залі e_r на рівні очей спостерігача до середнього значення КПО на поверхні картини e_k ; чисельне значення відношення повинно бути менше одиниці;

г) повне усунення інсоляції приміщень щоб уникнути руйнівної дії на картини прямого сонячного світла, особливо його ультрафіолетової складової;

д) штучне освітлення картинних галерей повинно доповнювати і продовжувати природне освітлення як за рівнем освітленості, так і за розподілом світла в приміщенні, співвідношенню яскравості(освітленості) і спектрального складу світла.

Освітлення залів картинної галереї здійснюється через вікна або ліхтарі. При бічному освітленні залів доцільно застосовувати кабінетне планування будівлі. Демонстраційні зали при кабінетному плануванні зазвичай мають розміри 10×10 м і 12×12 м. Перевагою цього архітектурного рішення є можливість зосередженого огляду експозицій, а також експонування творів мистецтва і техніки в інтер'єрах, архітектура яких відповідає часу створення цих творів.

При верхньому освітленні картинних галерей доцільно користуватися прийомом Сіджера (рис. 2.6), який дозволяє дотримуватися викладених вище вимог і, зокрема, усунути дзеркальні відображення світлопрорізів на білюючій площині картин, що різко погіршують їх сприйняття.

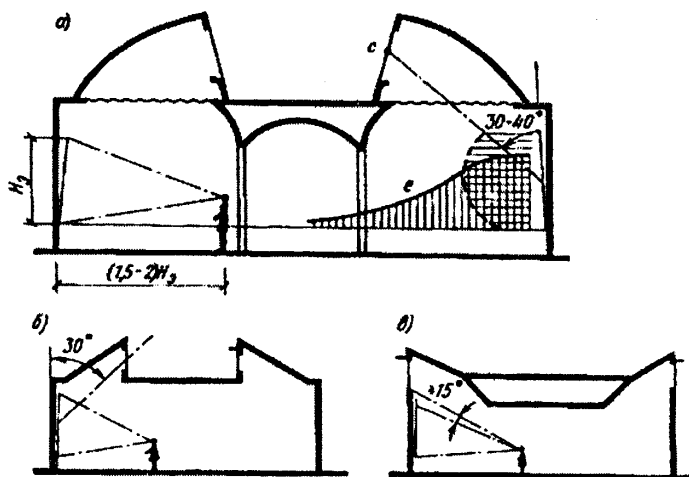


Рисунок 2.6—Прийом Счджера дозволяє значно зменшувати висоту приміщень і досягати рівномірного освітлення виставкової зони та зони спостереження, що сприяє найкращої видимості картин: а, б, в – варіанти архітектурних рішень; H_e – висота експонату

Усунення інсоляції в залах картинної галереї забезпечується орієнтацією світлопрорізів на північну частину неба, а також застосуванням ліхтарів шедових типу (на північ) і екрануванням прямих променів сонця різними сонцезахисними засобами.

У демонстраційних залах зі скульптурами і об'ємними експонатами бажано застосовувати верхньо-бічне, а також верхнє освітлення у вигляді зенітних ліхтарів, світлових шахт і т.д., що забезпечують часткове проникання прямого сонячного світла, яке в поєднанні з відбитим світлом від стін, стелі і підлоги забезпечує умови освітленості, що наближаються до природного сонячного освітлення. На рис. 2.7 наведені приклади верхньою освітлення деяких сучасних музеїв.

Особливу групу громадських будівель представляють павільйони на міжнародних виставках, в яких демонструються досягнення

різних держав в галузі культури, науки і техніки. Істотний інтерес представляли павільйони СРСР і США на Всесвітніх виставках в Брюсселі (1959) і в Монреалі (1967).

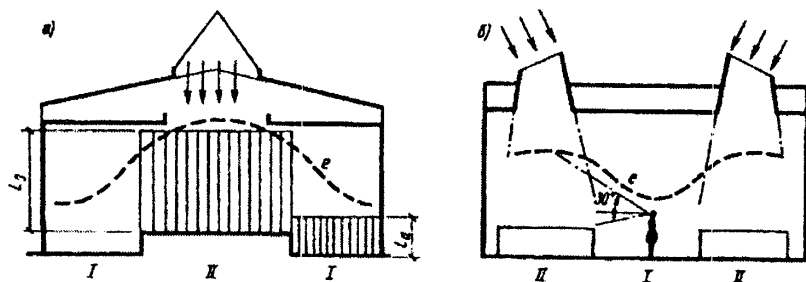


Рисунок 2.7 – Прийоми верхнього освітлення музеїв з об'ємними експозиціями, розташованими: а – в центральній зоні приміщення; б – по обидві сторони центрального проходу; І – зона адаптації, ІІ – зона експозиції; криві показують розподіл КПО в зонах експозиції та адаптації, що забезпечує хороші умови огляду експонатів

Павільйон СРСР (арх. А.Т.Полянський) виділявся лаконічністю і простотою архітектурного рішення (рис. 2.8). Часто-засклені стіни з чергуванням дзеркального і світлорозсіювального скла і по-

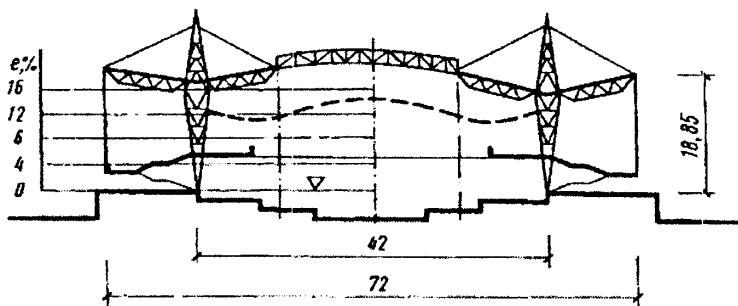


Рисунок 2.8 – Поперечний розріз павільйону СРСР на Всесвітній виставці в Брюсселі (1958). На розрізі нанесена крива КПО, яка характеризує рівномірно розподілене інтенсивне освітлення інтер'єру

перечні зенітні ліхтарі в середньому нефі забезпечували інтенсивне і рівномірне освітлення інтер'єру. Проте обрана система комбінованого освітлення вельми утруднила використання адаптації для оптимального виявлення основних експозицій.

Значно краще було вирішено це завдання в павільйоні США (арх-т. Р.Стоун). Круглий в плані павільйон (рис. 2.9) діаметром 121 м

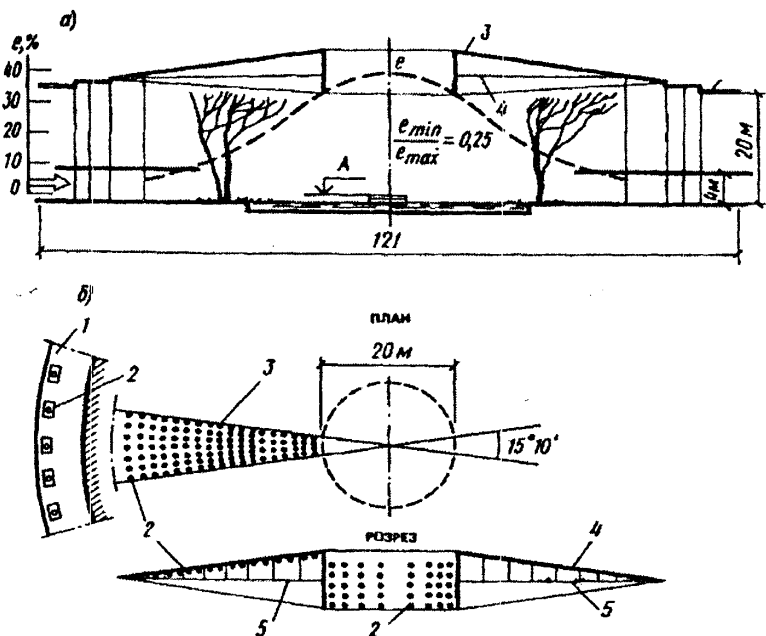


Рисунок 2.9 – Павільйон США на Всесвітній виставці в Брюсселі (1958) а – поперечний розріз павільйону з нанесеною на ньому кривої КПО, яка показує розподіл світла, що підкреслює центричну композицію будівлі і добре виділяє демонстраційний майданчик А розташований в центрі штучного ставка; б – деталі розрізу і плану покриття павільйона з розташованими на них джерелами штучного освітлення; 1–карниз, що світиться, 2 – лампи розжарювання, 3 – типова секція, 4 – просвічуючий сотопласт (покриття); 5 - нейлонова сітка

мав комбіновану систему природного освітлення. Часто засклена стіна з органічного скла, перед яким розташовувалася металева оброблена під бронзу решітка, доповнювалася відкритим світло прорізом діаметром 20 м і легким покриттям, що просвічується. Ця система освітлення підкреслювала центричну композицію павільйону. Разом з тим потужний світловий потік, що проникає через відкритий ліхтар, добре виділяв центральну частину водного басейну з розташованої в центрі його майданчиком для демонстрації мод. Зростаючий до периферії внаслідок затінення антресолю рівень освітленості створював ілюзію величезного внутрішнього простору. На антресолі і на рівні підлоги павільйону створювалася нерівномірність освітлення, яка сприяла кращому виявленню пластичних властивостей експонатів.

До групи II громадських споруд відносяться спортивні зали, в яких висока освітленість спортивної арени повинна поєднуватися зі зниженою яскравістю (освітленістю) в зоні розташування глядачів. Нерівномірність освітлення з мінімумом в зоні глядачів і максимумом на арені не повинна бути більше 0,3. Додатково до цього природне освітлення спортивних залів повинна відповідати наступним вимогам:

інтенсивне освітлення арени повинно здійснюватися через ліхтарі або світлові шахти, зосереджені в центральній частині покриття, яке надійно захищає спортсменів і глядачів від осліпленості прямими променями сонця;

бічне освітлення трибун доцільно здійснювати через вікна, розташовані під кутом не менше 15° до лінії фіксованого спостереження, проведеної від очей глядачів, що сидять в останніх рядах амфітеатру (рис. 2.10);

штучне освітлення спортивного залу має по можливості продовжувати природне освітлення за характером розподілу світла і за співвідношенням яскравостей (освітленостей) на спортивному майданчику (арені) і в зоні розташування глядачів, а також за спектральним складом світла.

Світлове середовище в основних приміщеннях III групи повинно

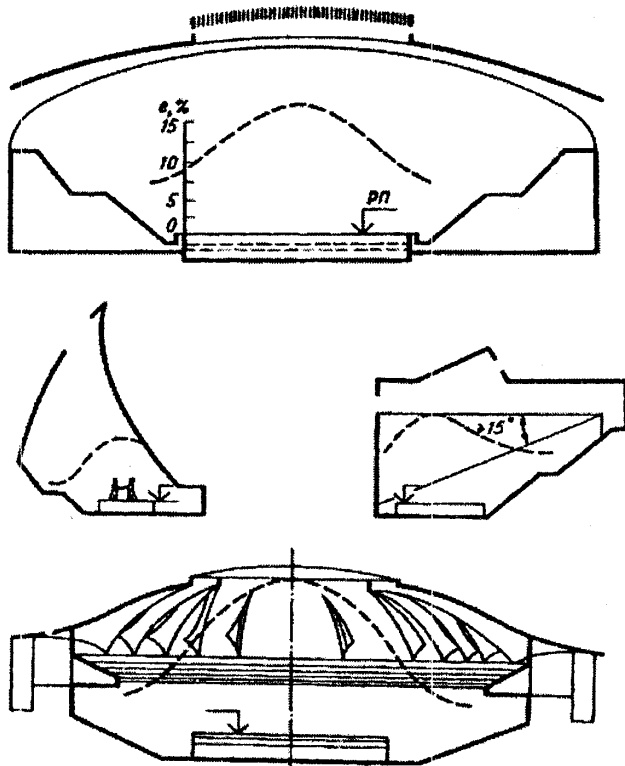


Рисунок 2.10 – Приклади раціонального природнього освітлення спортивних залів (штрихова лінія показує розподіл КПО)
РП — Робоча поверхня

задовольняти комплексу функціональних та гігієнічних вимог, що мають кінцевою метою створення комфортних умов зорової роботи. Остання характеризується великою зоровою напругою протягом робочого дня внаслідок різноманітності і специфіки виконуваних навчальних та виробничих завдань.

Особливо важливі вимоги до світлової середовищі приміщень

навчальних закладів з постійною зоровою роботою: аудиторій, класів, майстерень, лабораторій, кабінетів і т.д. У цих приміщеннях поряд з нормою освітленості необхідно дотримуватися вимог якості освітлення, які значною мірою зумовлюють сприйняття простору (естетичні характеристики) і психологічний клімат приміщення. До найважливіших критеріїв якості світлового середовища в навчальних приміщеннях належать такі:

а) співвідношення між яскравостями основних поверхонь інтер'єру; при цьому доцільно виходити з співвідношень яскравостей, що спостерігаються в природі;

б) нерівномірність освітлення приміщення і насиченість інтер'єру світлом; насиченість визначається в основному значенням циліндричної освітленості, вибирається за [2];

в) спрямованість світла, яка в приміщеннях для читання, письма, малювання, ліплення і т.і. повинна бути зліва; досвід показує, що при розташуванні вікон і ліхтарів треба віддавати перевагу верхньобоковому напрямку світлового потоку під кутом 30° до горизонту і більше;

г) зоровий дискомфорт, що виникає при попаданні в поле зору учнів поверхонь з надмірно високою яскравістю: від прямих і відбитих променів сонця, від неба, а також від освітлювальних приладів. Критерієм його оцінки служить **показник дискомфорту** чисельне значення якого виражається формулою [2]

$$M = \frac{B_c \omega^{0.5}}{\varphi_0 B_{ад}^{0.5}}, \quad (2.1)$$

де B_c – яскравість блиского джерела, ω – його кутовий розмір, φ_0 – індекс позиції блиского джерела відносно лінії зору, $B_{ад}$ – яскравість адаптації. При проектуванні показник дискомфорту розраховується інженерним методом. За даними Інституту будівельної фізики чисельне значення цього показника при штучному освітленні 40, при природному освітленні 24-30, при застосуванні засобів сонцезахисту (жалюзі та ін) - 20.

При проектуванні світлового середовища в класах і аудиторіях необхідно прагнути до забезпечення сталості умов зорової роботи

протягом усього навчального процесу. Це досягається застосуванням прийому суміщеного освітлення, яке відкрило нові можливості в створенні прогресивних об'ємно-планувальних рішень навчальних будівель. Деякі з застосовуваних проектних рішень аудиторій і класів наводяться на рис. 2.11.

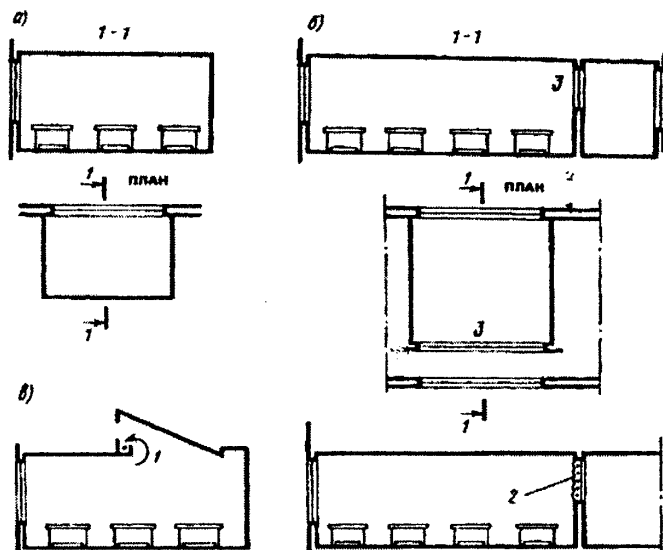


Рисунок 2.11 – Прийоми освітлення класів і аудиторій:

а– одностороннє висвітлення при невеликій глибині приміщення;
б– двостороннє освітлення глибокого класу; в– варіанти сполученого освітлення; 1- світиться карниз; 2- штучне вікно, 3- друге світло

До IV групи належать приміщення, світлове середовище в яких в основному визначається психологічними, естетичними і гігієнічними вимогами; до них відносяться палати лікарень, основні приміщення дитячих закладів, житлові приміщення. Сукупність цих вимог може бути забезпечена: при забезпеченні нормованих значень КПО і нерівномірності природного освітлення; при обов'язковому захисту від наднормативного сонця сонцезахисними засобами

(жалюзі, маркізи та ін.).

Істотний вплив на освітлення приміщень має форма будівлі. На рис. 2.12 показано зменшення освітленості (в площині вікна) в будівлях різної форми.

Зміна мінімального КЕО в приміщенні в залежності від його пропорцій наведена на рис. 2.13. Хід кривої зміни КПО свідчить про те, що найбільша освітленість забезпечується при одній і тій ж площі вікон в приміщеннях з найменшою глибиною приміщення B/h при найбільшому відношенні довжини приміщення ℓ (розмір по фасаду) до його глибини B .

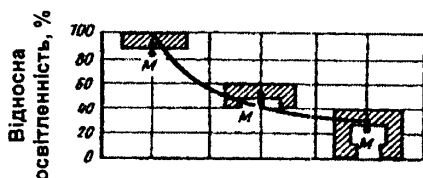


Рисунок 2.12 – Зменшення відносної природної освітленості приміщення при ускладненні форми будівлі (затінююча дія виступаючих частин корпусу)

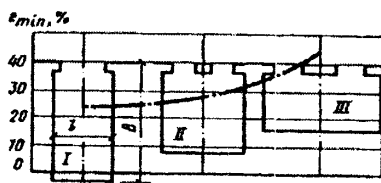


Рисунок 2.13 – Зміна мінімального КПО в приміщенні залежно від його пропорцій (B - глибина, h - висота від робочої поверхні до перемички, ℓ - довжина)

Значний вплив на мінімальне значення КПО в приміщенні скоює форма вікна, конструкція переплету, сорт скла, а також архітектурні деталі (лоджії, пілони, балкони, сонцезахисні пристрої) та інші фактори.

2.1 Світловий клімат

Сукупність ресурсів природної світлової енергії, характерна для того чи іншого району, отримала назву світлового клімату даного району. На території нашої країни світловий клімат змінюється в досить великих межах як по широті, так і по довготі.

Основні компоненти природної освітленості на відкритій місцевості – пряме сонячне світло E_c , розсіяне (дифузне) світло неба E_n і

відбите від землі світло E_3 .

Сумарна (загальна) освітленість E_0 в ясний день при повністю відкритому горизонті

$$E_0 = E_c + E_n + E_3. \quad (2.2)$$

Сонячне випромінювання, падаюче на Землю, зазнає змін внаслідок його відображення, розсіювання та поглинання атмосферою і підстилаючих шаром земної поверхні.

Сонце являє собою величезну кулю радіусом 696000 км. Середня відстань від Землі до Сонця, складає приблизно $149,6 \cdot 10^6$ км; ця відстань приймається за одиницю (астрономічна одиниця Δ_c). Основними характеристиками, які визначають випромінювальну здатність Сонця, служать сонячні сталі – світлова та теплова.

Світлова сонячна стала E_c^0 являє собою освітленість площини, розташованої перпендикулярно сонячним променям і віддаленої від Сонця на відстань, рівну астрономічній одиниці Δ_c . Наближене значення сонячної світлової сталої на кордоні атмосфери становить 135000-137000 лк. Відповідна цій освітленості середня яскравість Сонця $2 \cdot 10^9$ кд/м².

За заданого коефіцієнта пропускання світла атмосферою, який залежить від висоти стояння Сонця h_0 і прозорості повітря p , освітленість від Сонця на горизонтальній поверхні E_c^r визначається за формулою

$$E_c^r = E_c^\perp \sin h_0, \quad (2.3)$$

де $E_c^\perp$ – освітленість від Сонця на площині, перпендикулярній напрямку сонячних променів.

$$E_c^\perp = \frac{E_c^0}{\Delta^2} p^M, \quad (2.4)$$

де Δ – відстань від Сонця в заданий момент; визначається за астрономічними таблицями ($\approx \Delta_c = 1$); M – повітряна маса, яку необхідно подолати сонячним променям при проходженні через атмосферу, тобто довжина шляху, який проходить світло, віднесена до найкоротшого можливого шляху (коли Сонце знаходиться в зеніті). Пові-

тряна (або інша назва – атмосферна) маса показує на скільки зменшилася спектральна густина потоку випромінювання після проходження через атмосферу і поглинання повітрям і пилом. Атмосферна маса визначається формулою $M = 1/\sin(h_0)$. Коли Сонце знаходиться в zenіті ($h_0 = 90^\circ$) $M = 1$. Дана формула не враховує кулястість Землі і при малій висоті стояння Сонця (Сонце близько до горизонту) дає нефізичний результат. Тому при малих кутах користуються або складнішою формулою або таблицею:

h_0 , град	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
M	26,96	10,4	5,6	3,2	2	1,6	1,3	1,2	1,1	1,015	1

При природному освітленні діапазон освітленості і яскравості дуже великий. Так, освітленість опівдні ясного дня на відкритій горизонтальній поверхні може перевершувати 100 000 лк, у той час як в сутінки похмурого дня вона може дорівнювати кільком люксам.

Тривалість сонячного світла в різних пунктах на території країни визначається по картах кліматичних атласів, які складаються в результаті узагальнення багаторічних вимірювань, проведених метеорологічними станціями.

На різних стадіях проектування міст і будівель архітектуру необхідно знати і враховувати вплив клімату. Тому в його розпорядженні повинен бути довідковий матеріал, зокрема у вигляді набору карт, де вказані метеорологічні особливості різних районів будівництва. При складанні цих карт має враховуватися загальнокліматичне районування території [1].

Зовнішня освітленість від дифузного неба залежить в основному від висоти стояння Сонця і характеру хмарності. Істотний вплив на освітленість, створювану дифузним світлом неба, скоюють також прозорість повітря і стан земного покриву. Освітленість від хмарного неба визначається фотометричним, а також розрахунковим шляхом за багаторічними середніми характеристикам сонячної радіації за допомогою так званого світлового еквівалента, який виражає відношення між освітленістю та інтенсивністю сонячної радіації на даній поверхні.

Світловий еквівалент сонячної радіації залежить від висоти сто-

яння сонця, характеру хмарності і коефіцієнту відбивання підстилаючої поверхні (альbedo). Тому сумарний світловий еквівалент визначається із врахуванням умов хмарності для періодів з сніговим покривом і без нього.

На основі результатів розрахунків зовнішньої освітлюваності, проведених для найбільших міст і промислових районів території СРСР, була побудована карта світлокліматичного районування. Критерієм при її створенні було прийняте середню за рік кількість зовнішнього дифузного освітлення (середню освітленість) на горизонтальній поверхні при відкритому небі протягом 1 год за період використання в приміщенні природного світла:

$$E_{\text{ср}} = \frac{\sum_{\text{рік}} (E - E_{\text{кр}})}{\sum_{\text{рік}} T_{\text{п.о.}}} \quad (2.5)$$

де $E_{\text{ср}}$ – середня освітленість; E – зовнішня освітленість горизонтальної поверхні; $E_{\text{кр}}$ – критична зовнішня освітленість; $T_{\text{п.о.}}$ – тривалість використання природного освітлення, обумовлена різницею між часом настання критичної освітленості вранці і ввечері.

Критичною зовнішньою освітленістю $E_{\text{кр}}$ називається освітленість, яка спостерігається в моменти вимикання (вранці) і вмикання (ввечері) штучного освітлення у приміщенні:

$$E_{\text{кр}} = E_{\text{ш}} / e_{\text{н}}, \quad (2.6)$$

де $E_{\text{ш}}$ – освітленість при штучному освітленні приміщення (згідно [2]); $e_{\text{н}}$ – нормоване значення коефіцієнта природного освітлення.

Якщо на криві зовнішньої освітленості на горизонтальну поверхню (в залежності від часу) нанести горизонталь, відповідну до $E_{\text{кр}}$, то по точках перетину цієї горизонталі з кривими можна визначити для різних місяців року тривалість використання природного освітлення. Розрахунок тривалості використання природного освітлення в залежності від цього значення КПО (у відсотках усього робочого часу за рік) відбувається за графіками типу рис. 2.14.

Чинне на теперішній час світлокліматичне районування території СНД (рис. 2.15) засновано на даних багаторічних актинометрич-

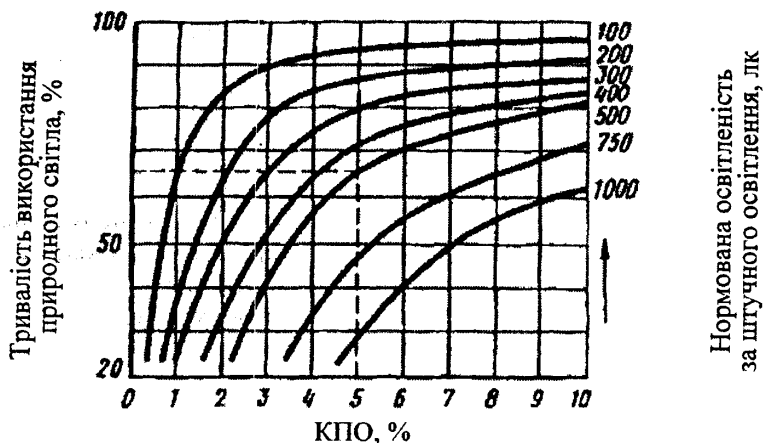


Рисунок 2.14 – Тривалість використання природного освітлення в Москві в залежності від обраного значення КПО і при різних режимах роботи. Наприклад, за нормованої освітленості при штучному освітленні 500 лк і значенні КПО = 5% тривалість використання природного світла в приміщенні становить 65% загальної тривалості робочого часу (штрихова лінія)

них вимірювань. На карті світлокліматичного районування наводяться значення коефіцієнтів світлового клімату, що використовуються при розрахунках КПО і визначалися як відношення середньої освітленості в Москві E_{cp}^m до середньої освітленості в даному районі E_{cp} . Середня освітленість в Москві була еталоном (значення для Москви прийнято рівним одиниці), тобто

$$m = E_{cp}^m / E_{cp} \quad (2.7)$$

Територія на рис. 2.15 ділиться на п'ять світлокліматичних районів; три північних райони розділені на підрайони східний і західний. Для східних підрайонів характерне тривале (6 місяців і більше на протязі року) накопичення сніжного покриву, що суттєво впливає на розподіл яскравості неба (заштриховано).

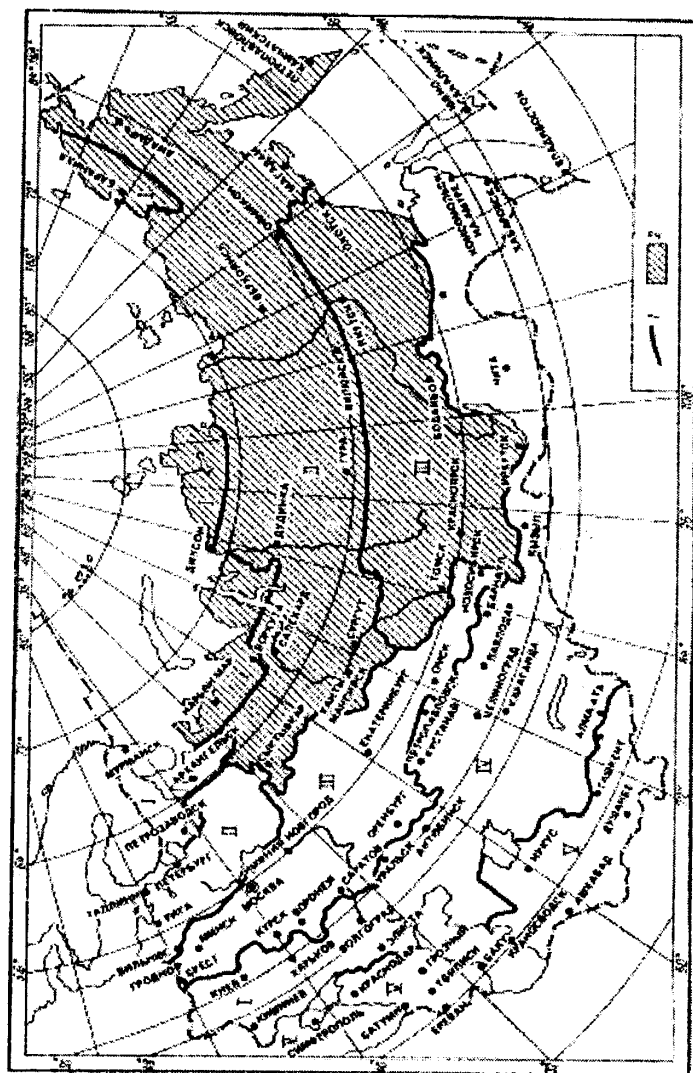


Рисунок 2.15 – Карта світлокліматичного районування

Територія України за цим районуванням входить до двох зон: IV та V зі світлокліматичними коефіцієнтами відповідно 0.9 і 0.8. ДБН В.2.5-28-2006 "Природне і штучне освітлення" вводить більш точні коефіцієнти світлового клімату (таблиця 4 [2]), числові значення яких лежать в межах 0.7-0.9 і залежать від типу світлових прорізів і їх орієнтації за сторонами горизонту.

Зовнішня освітленість залежить від яскравості неба, значення якої в різних ділянках неба різне. Знання закономірності зміни яскравості хмарного і ясного неба має більш утилітарне та естетичне значення, допомагаючи архітекторові вибрати орієнтацію будівлі за сторонами світу і пластичне рішення фасадів будівлі. Розподіл яскравості хмарного неба враховується коефіцієнтом q значення якого обчислюється за формулою, рекомендованою МКО:

$$q = f(L_0 / L_z); \quad (2.8)$$

$L_0 = L_z (0,33 + 0,66 \cdot \sin \theta)$, де L_0 – яскравість ділянки неба, видимої із заданої точки приміщення М під кутом θ , утвореним горизонталлю з лінією, проведеною з точки до середини світлопрорізу С (рис. 2.16); L_z – яскравість в zenітній частині неба. У районах із стійким сніговим покривом ця формула набуває такого вигляду:

$$L_0 = L_z (0,6 + 0,4 \cdot \sin \theta). \quad (2.9)$$

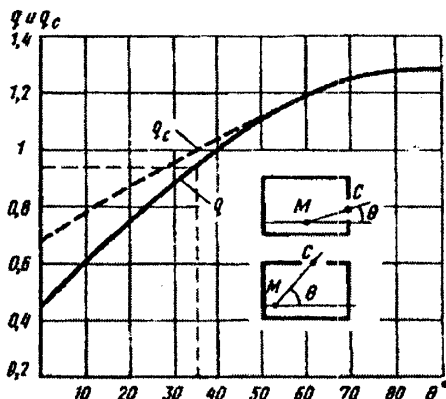


Рисунок 2.16 – Графік для визначення значень коефіцієнтів q і q_c , що враховують нерівномірну яскравість хмарного неба, q – при відсутності снігового покриву; q_c – при наявності снігового покриву; θ – кутова висота середини світлопрорізу, градуси.

Приклад. Потрібно визначити яскравість частини хмарного неба, видимого з точки М приміщення, за умови, що кут $\theta = 45^\circ$ і висота стояння сонця $h_0 = 40^\circ$.

У районах, де більшу частину року сніговий покрив відсутній, $L_{45} = L_z(0,33 + 0,66 \cdot \sin 45^\circ)$. Але $\sin 45^\circ = 0,71$, отже, $L_{45} = L_z(0,33 + 0,66 \cdot 0,71) = 0,8L_z$.

Дані НИИСФ по яскравості неба наведені в табл. 2.2.

Визначаємо яскравість неба в похмуру погоду за відсутності снігу. З даних про яскравість зенітної частини неба маємо, що при $h_0 = 40^\circ$ $L_z = 8000$ кд/м²; отже, $L_{45} = 0,8 \cdot 8000 = 6400$ кд/м². Знаючи яскравість неба, легко визначити яскравість засклених поверхонь, які спостерігаються з точки М. Для цього користуються формулою

$$L_{скл} = L_0 \tau_1 \tau_2,$$

де $L_{скл}$ — яскравість заскленої поверхні вікна; L_0 — яскравість ділянки неба, що спостерігається з точки М; τ_1 — коефіцієнт пропускання скла; τ_2 — коефіцієнт пропускання забрудненого шару на склі.

Таблиця 2.2 — Значення яскравості неба в зеніті за різних погодних умов (р — прозорість повітря)

Погодні умови	h_0 , град	L_z , кд/м ²	
		Із снігом	Без снігу
Похмуро, хмарно	10	3000	1800
	20	5000	3600
	30	7500	5700
	40	9000	800
Ясно, безхмарно	10	при р=0,8 при р=0,6	
	20	1000	2000
	30	1500	3200
	40	2000	4400
		2500	5500

Знайдену таким чином яскравість вікна необхідно пов'язувати із яскравістю інших поверхонь інтер'єру (стінами, стелею та ін.) для усунення різко контрастних співвідношень, що викликають відчуття дискомфорту. В інтер'єрі в полі зору потрапляють ділянки небосхилу і освітлені сонцем фасади будівель, видимі через вікна і ство-

**Таблиця 2.3 – Показники світлового режиму в приміщеннях
Гідропроекту в полудні**

Поверхня	Освітлення Е, лк	Яскравість кд/м ²	Контрастність $K=(L_1-L_2)/L_1$
Калька на ватмані в сонячному білку	28000	6530	0,95
Те саме, в глибині приміщення	1250	290	0,79
Бокова стіна(середина на висоті 1,5 м)	1445	300	0,89
Стіна напроти вікна (середина на висоті 1,5 м)	1608	320	—
Вікно	—	4400	—

рюють засліплюючу дію навіть при північній орієнтації вікон.

У табл. 2.3 показано розподіл середніх освітленостей і яскравостей основних поверхонь в полі зору працюючих в приміщеннях будівель "Гідропроект" в Москві.

Характерно, що в приміщеннях "Гідропроекту" з майже суцільним заскленням двох із чотирьох стін проєктанти навіть влітку опівдні при ясному небі враховують повне штучне освітлення, щоб пом'якшити дискомфортний розрив між рівнями яскравостей світлопрорізів і поверхонь інтер'єру.

Істотну роль при вирішенні таких архітектурних завдань, як вибір об'ємної композиції, пластики фасадів, ритму членувань, а також фактури оздоблювальних матеріалів, відіграє контрастність освітлення, яка враховується в її динаміці протягом дня і сезонів року.

У загальному випадку контрастність освітлення виражається відношенням

$$K_0 = \frac{E_c}{E_n + E_z} = \frac{\text{Сумарна освітленість}}{\text{Освітленість від неба + освітленість від землі}} \quad (2.10)$$

Контрастність природного освітлення змінюється в різних рай-

онах в залежності від висоти стояння Сонця, характеру хмарності та стану підстиляючого шару землі (чорнозем, ліс, піски, сніговий покрив та ін.) Характеристикою контрастності освітлення може служити співвідношення абсолютних величин освітленості, що спостерігаються при сонячному і дифузному освітленні.

За даними І.С.Суханова, відносні освітленості горизонтальної поверхні при сонячному і дифузному освітленні для опорних міст характеризуються показниками, наведеними в табл. 2.4.

Контрастність освітлення має місце і при дифузному освітленні хмарного неба; в цьому випадку вона визначається підвищеною яскравістю зенітної частини неба в порівнянні з частиною неба, прилягаючою до горизонту.

Таблиця 2.4 – Відносні значення освітленості від сонця і неба

Вид освітлення	Відносна освітленість, %		
	Ашхабад	Москва	Санкт-Петербург
Сонячне(від сонця та неба)	100	69	62
Розсіяне	100	86	83

Відсутність контрастності можна спостерігати в хмурі зимові дні, коли яскравість хмарного неба є рівною або здається меншою яскравістю снігового покриву. Спостереженнями встановлено, що найбільша контрастність освітлення спостерігається влітку в південних районах (Середня Азія, Армения тощо), а найменша - взимку в північних районах (Крайня Північ, Заполяр'я).

Добовий хід контрастності освітлення по середньомісячним даним в західній частині III, IV і V районів характеризується максимальними значеннями вранці і мінімальними – увечері. Це пояснюється в основному зменшенням прозорості повітря через збільшення в ньому кількості аерозолей.

Критерієм оцінки контрасту світлотіні, що спостерігається при сонячному і дифузному освітленні об'єктів в екстер'єрі, служить коефіцієнт контрасту, що визначається за формулою яскравого контрасту

$$K = \frac{L_i - L_j}{L_i} = \frac{\Delta L}{L_i}, (L_i \geq L_j, i, j = 1, 2).$$

Вимірами встановлено, що в середньому контраст світлотіні в літнє півріччя коливається в межах 0,7 – 0,8 в південних районах, 0,6 – 0,5 – в центральних, 0,3 – 0,4 – в північних. Ці показники контрасту треба враховувати при проектуванні освітлювальних установок в інтер'єрах громадських і виробничих будівель.

Важливе значення в архітектурному проектуванні має спектральний склад природного світла, який змінюється в залежності від клімату, погодних умов, альбедо Землі та ін (рис. 2.17).

В останні роки було запропоновано доповнити карту светокліматичного районування зоною, де доцільно нормувати і розраховувати освітленість приміщень виходячи з умов переважаючого ясного неба і виду підстилаючої поверхні. Це має велике гігієнічне, економічне і естетичне значення.

При складанні карти світлового клімату ймовірність ясного неба враховується лише побічно, так як основним критерієм при проведенні кордонів світлокліматичних районів була кількість освітлення на годину в середньому за період використання природного освітлення (5000 лк і вище). Проте в південних районах України, на Кавказі, в Середній Азії і Казах стані, на півдні Західного і Східного Сибіру і на значній частині території Далекого Сходу більше

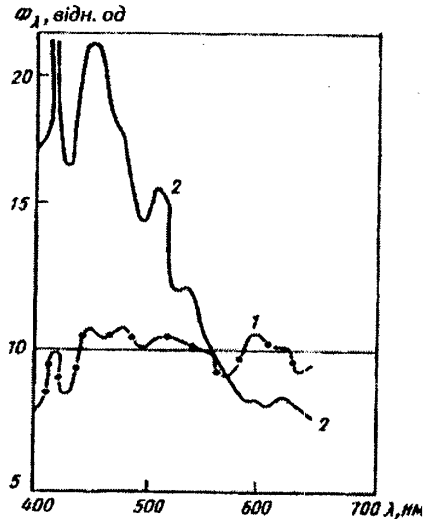


Рисунок 2.17 — Криві спектрального складу природного світла 1 — небо-хмарно, суцільна хмарність; 2 — сонце + небо, безхмарно

50% часу в році переважають ясне небо і сонячна погода.

З одного боку, на значній території Півночі та середньої смуги, для якої за СНіП проводяться розрахунки з урахуванням прямого сонячного світла, відбувається невинуватене скорочення площі скління і зниження рівнів освітленості приміщень в осінньо-зимовий період, коли протягом 6 місяців переважає похмуре небо. З іншого боку, в південних і далекосхідних районах площа скління значно перевищує необхідну, так як коефіцієнт сонячності C , використовуваний при розрахунках КПО, не враховує дійсних світлових потоків, що надходять в приміщення від інсоляції в умовах реальної забудови.

Таким чином, очевидно, що при визначенні меж переважання ясного неба для нормування і розрахунків освітленості в приміщеннях з урахуванням інсоляції слід виходити не із середньої річної ймовірності сонячного саява, а приймати за критерій середню ймовірність сонячного саява за період з жовтня по березень. Це підвищить надійність забезпечення приміщень необхідною кількістю освітленості і впорядкує вибір площі скління світлопрорізів в зазначених районах.

Отже, при нормуванні і розрахунках природного освітлення в цих районах більш доцільно виходити з умов переважаючого ясного неба. Якщо прийняти це положення, то можна значно підвищити ефективність використання природних ресурсів світлової енергії Сонця в будівництві за рахунок скорочення площі світлопрорізів майже в 2 рази.

Гігієнічне та економічне значення такого геліокліматичного зонування території країни велике, оскільки воно відкриває можливості більш диференційно вибирати проектні рішення, властиві даним кліматичним умовам, і вирішувати проблему формування "північних" і "південних" міст, для яких повинен бути принципово різний підхід до їх форми. При такому зонуванні можна значно скоротити площу скління будівель, зменшити їх перегрів, знизити витрати на сонцезахисні засоби, охолодження і вентиляцію, перейти на більш вільне їх планування, збільшити їх

ширину і підвищити комфортність, тобто зробити їх більш енергозберігаючими і ефективними.

На зовнішню освітленість і ультрафіолетове опромінення великий вплив має прозорість повітря, яка оцінюється коефіцієнтом пропускання

$$\tau = p^M, \quad (2.11)$$

де M — повітряна маса (див (2.4) і таблицю Бемпорада); p — коефіцієнт, який залежить від стану атмосфери.

Коефіцієнт пропускання визначає ступінь видимості предмета: при відмінній видимості $\tau=0,9$, при добрій $\tau=0,8$ і при поганій $\tau=0,7$. У великих містах і великих промислових районах прозорість повітря різко знижується і в середньому оцінюється $\tau=0,6$.

Про значний вплив прозорості повітря на зовнішню освітленість і ультрафіолетове опромінення свідчать результати синхронних вимірювань, проведених одночасно в межах міста і в приміській місцевості.

На зниження природної освітленості та ультрафіолетового опромінення вирішальний вплив надають аерозолі, тобто туман, дим, пил, смог, вихлопи автотранспорту і інші відходи міст, які переносяться вітром на великі відстані. Забруднення атмосфери під впливом міста не тільки змінює хімічний склад повітря. Ряд аерозолів (сажа, глина) інтенсивно поглинає видиму і особливо ультрафіолетову радіацію. Послаблення ультрафіолетової радіації в деяких містах досягає 80%, в той час як ослаблення інтегральної сонячної радіації становить лише 30%. Таким чином, забруднення повітря супроводжується різким зниженням благотворного впливу на людину ерітемною і бактерецидною радіацією сонця і неба.

Біологічна якість світлового середовища в містах і будівлях у великій мірі визначається мірою використання ультрафіолетової природної радіації, яка володіє загальнооздоровчою дією, підвищує опір організму людини проти інфекційних захворювань. Дослідженням гігієністів та фізіотерапевтів встановлено, що недостатність природного світла в приміщеннях і міських просто-

рах різко погіршує якість середовища, в якому працює і відпочиває людина.

Дефіцит ультрафіолетової радіації негативно впливає на підлітків і дітей, а також на робітників, які перебувають тривалий час в шахтах, метро, у виробничих приміщеннях без природного світла та ін. Цей негативний вплив особливо позначається на жителях заполярних районів.

Для компенсації недостатності природної ультрафіолетової радіації в приміщеннях застосовуються установки штучного ультрафіолетового опромінення у вигляді еритемних ламп. Такі установки можуть бути стаціонарної і тимчасової дії (так звані фотарії). Проте їх застосування може бути виправдане тільки у випадках, коли не можуть бути використані архітектурно-будівельні засоби.

Як уже зазначалося раніше, значно впливає на зовнішню освітленість і ультрафіолетову опроміненість стан підстилаючого шару землі. Сніговий покрив за суцільній хмарності може збільшувати зовнішню освітленість на 100% і більше.

Високий коефіцієнт світлового, ультрафіолетового та теплового відбивання підстилаючого шару значно підвищує роль відбитої від землі радіації в південних районах (Середня Азія та ін.), і це треба враховувати, вирішуючи утилітарні та естетичні завдання при архітектурному проектуванні будівель. Приклади раціонального використання відбитого від землі і покрівлі світла для поліпшення освітлення приміщень наведені на рис. 2.18.

2.2 Кількісні та якісні характеристики освітлення

Якість освітлення прийнято оцінювати за його характеристиками виходячи з функцій світла в архітектурі. Найважливішими функціями світла є наступні:

1. Інформативні зорові, що забезпечують людину інформацією про предметно-просторове середовище і характеризуються виникненням зорових образів.

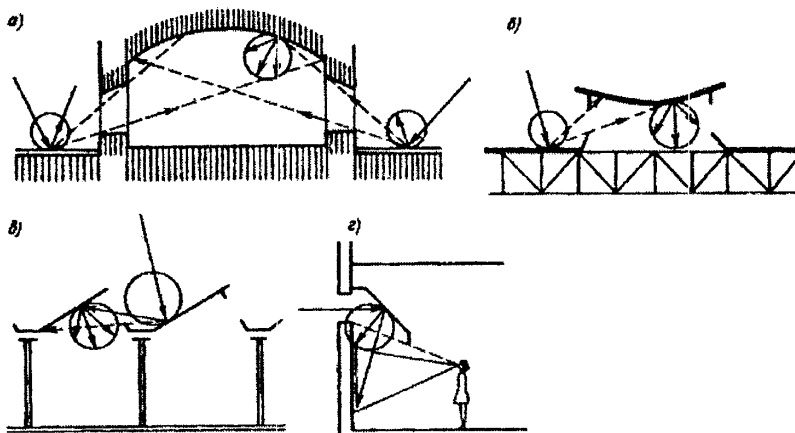


Рисунок 2.18 – Прийоми використання відбитого світла
 а – в трапезній Симонового монастиря (Москва),
 б, в – в промислових будівлях; г – в картинній галереї

Видиме світло в результаті взаємодії з матеріальним середовищем – відбивання, розсіювання, поглинання – впливає на органи зору. Сукупність зорових образів дає людині понад 80% інформації про оточуючий його предметний світ.

2. Морфофункціональні, до яких відносяться вплив на людину ультрафіолетових, видимих і інфрачервоних випромінювань, не пов'язаних з виникненням зорових образів, але такі, що діють на людину або безпосередньо через шкірний покрив, або через органи зору. Наприклад, через шкіру світло надає еритемний вплив на обмін речовин, склад крові, опірність організму хворобам і т.д. і разом із зоровими реакціями впливає на психологічний стан людини.

3. Непрямі, що характеризують вплив світла на матеріальне середовище, на її фізичні (температура, вологість), біологічні (утримання шкідливих бактерій) і хімічні (фотосинтез, вицвітання фарб) параметри, які в свою чергу нерідко визначають стан людини, її відчуття комфортності. Тепло, що виділяється джерелами світла, змінює температуру і вологість повітря, ультрафіолет знижує

відсоток хвороботворних мікробів, покращуючи гігієнічні параметри середовища. Фотохімічну функцію світла слід особливо ретельно враховувати при проектуванні музеїв, торгових залів універсамів та інших приміщень, в яких предмети повинні бути максимально захищені від його руйнівної дії.

Функції світла дозволяють класифікувати кількісні та якісні характеристики освітлення. До кількісних характеристик відносяться освітленість, яскравість, КПО. У вітчизняних нормах по штучному освітленні приміщень регламентується освітленість на робочій поверхні, а міських ансамблів – яскравість або освітленість на дорожньому покритті і на фасадах об'єктів. У нормах по природному освітленню приміщень внаслідок крайньої мінливості природного освітлення не тільки протягом доби, але й протягом коротких проміжків часу для нормування прийнята відносна величина КПО. До якісних характеристик, що визначають комфорт і естетичність світлового середовища, а також екологічну ефективність світлового рішення, відносяться: розподіл яскравості в полі зору і нерівномірність освітленості.

Розподіл яскравості в полі зору, нерівномірність освітленості. Розподіл яскравості в полі зору людини залежить від розподілу освітленості по поверхнях об'єктів в інтер'єрах і відкритих просторах (стеля, стіни, підлога, обладнання, робочі поверхні, будівлі, земля, зелені насадження тощо) і характеристик відображення цих поверхонь (див. формулу (1.20)). За штучного освітлення регламентується нерівномірність освітленості, що визначається як відношення максимального або середнього рівня освітленості до мінімального його значення, а нерівномірність природного освітлення визначається відповідно через відношення $e_{\text{ср}} / e_{\text{мін}}$.

На практиці доводиться зустрічатися як з нерівномірним розподілом яскравості в просторі, так і з переміщенням погляду з однієї поверхні на іншу іншої яскравості. Процес переадаптації при цьому може негативно впливати на зорову працездатність, тому необхідно знати характер розподілу яскравості. Досягти повної рівномірності неможливо і не потрібно, так як саме яскраві контрасти насамперед дозволяють розрізняти предмети і деталі і сприяють виявленню фо-

рми. Конкретні рецепти по відношенню яскравостей навряд чи доцільно формулювати. Можна лише відзначити, що в робочих приміщеннях прийнятним (з точки зору забезпечення умов для зорової роботи) виявиться співвідношення, при якому будуть витримані нормовані значення світлотехнічних показників.

Орієнтиром при виборі яскравостей стелі, стін і підлоги в інтер'єрах можуть служити розподіл і співвідношення, що створюються природним освітленням. Вони приємні для людини, звичні їй. Встановлено, що при хмарному небі, як правило, найбільша яскравість спостерігається в zenітній частині неба; середня характерна для панорами у горизонті і найменша – на поверхні землі (при відсутності снігу). Співвідношення усереднених яскравостей між цими зонами 10:3:1 в південних районах країни і 5:3:1 в середній смузі. Таким чином, вважається, що сприятливі умови для зорової роботи забезпечуються при співвідношеннях яскравостей стелі (zenітна частина), стін (у горизонті) і підлоги (земля) приміщення, аналогічних природним.

Насиченість світлом. У практиці нормування, розрахунку і проектування освітлення користуються переважаючим рівнем освітленості на робочій площині, яка, однак, не характеризує адекватно відчуття насиченості простору світлом. Критерієм насиченості приміщення світлом є так звана циліндрична освітленість на рівні очей людини, що представляє собою відношення світлового потоку, падаючого на бічну поверхню нескінченно малого вертикального циліндра, до площі цієї поверхні. В залежності від світлової насиченості враження від інтер'єру може змінюватися від урочистого і святкового до сумного і похмурого.

Засліпленість і дискомфортна блискість. При наявності в полі зору яскравих елементів – джерел світла, світильників, віконних прорізів (**пряма блискість**), а також дзеркальних відображень джерел світла у вигляді відблисків на оточуючих поверхнях (**відображена блискість**) спочатку виникає неприємне відчуття, дискомфорт; при подальшому збільшенні яскравостей відблисків відчуття дискомфорту посилюється, з'являються больові відчуття, починається значне зниження зорових функцій, виникає засліпленість.

Критерієм оцінки дискомфортної блескості служить **показник дискомфорту** (2.1), а засліплючої дії – **показник осліпленості** P

$$P = (S-1) \cdot 1000, \quad (2.12)$$

де S – коефіцієнт осліпленості, що дорівнює відношенню порогових різниць яскравості за наявності і відсутності сліпучих джерел в полі зору.

Засліплююча дія прямої блескості залежить від яскравості і кутових розмірів світлових елементів, положення їх у полі зору, яскравості адаптації. Явища відбитої блескості досить часто має місце при наявності в приміщеннях і в міських просторах полірованих кам'яних або металевих, скляних, тобто дзеркально відбиваючих поверхонь. Існує кілька можливостей для усунення або обмеження відбитої блескості: вибір такого напрямку світла, при якому дзеркально відбиті промені не потрапляють в око людини; обмеження яскравості відблисків шляхом збільшення розмірів світної поверхні світильника і зменшення її яскравості; зміна світлотехнічних властивостей відображаючого матеріалу або розташування бликувальної поверхні.

Контрастність освітлення, контраст світлотіні. Істотну роль у вирішенні архітектурних завдань, таких як вибір об'ємної композиції, фактури оздоблювальних матеріалів, виявлення пластичної форми предметів, грають контрастність освітлення та контраст світлотіні. Контраст між затіненими і освітленими поверхнями може бути досить великим, що погіршить роботу зору. У ряді випадків тіні відволікають увагу і створюють помилкове враження про розміри, форму і колір об'єкта. Разом з тим наявність власних і падаючих тіней необхідно для розрізнення рельєфних об'єктів. Відсутність тіней робить "нечитабельним" архітектурні деталі; дрібні деталі нерідко бувають добре помітні тільки при утворенні на них тіней.

Контраст об'єкта розрізнення з фоном K [2] – це відношення абсолютної величини різниці між яскравістю об'єкта і фону до яскравості фону:

$$K = \left| \frac{B_{об} - B_{ф}}{B_{ф}} \right|, \quad (2.13)$$

де $B_{об}$ – яскравість об'єкта розрізнення, $B_{ф}$ – яскравість фону.

Контраст об'єкта розрізнення з фоном є:

- великим – при K більше 0,5 (об'єкт і фон різко відрізняються за яскравістю);
- середнім – при K від 0,2 до 0,5 (об'єкт і фон помітно відрізняються за яскравістю);
- малим – при K менше 0,2 (об'єкт і фон мало відрізняються за яскравістю).

Необхідним є пояснення терміну "фон" – поверхня, прилегла безпосередньо до об'єкта розрізнення, на якій він розглядається.

Фон буває:

- світлим – при коефіцієнті відбивання поверхні більше 0,4;
- середнім – при коефіцієнті відбивання поверхні від 0,2 до 0,4;
- темним – при коефіцієнті відбивання поверхні менше 0,2.

Напрямок світлових потоків. Напрямок світла від одного або декількох джерел, що падає на робочі місця або окремі поверхні і оцінюваний світловим вектором, є важливим якісним показником освітлення, з яким пов'язані тінеутворення, напрямки дзеркального відображення, контрастність освітлення. При розсіяному освітленні тіні пом'якшені, згладжені, об'єкти втрачають об'ємність, здаються плоскими. Спрямоване світло робить тіні різкими, їх обриси – чіткими, яскравий контраст світлотіні зростає. Предмет набуває форми, яка в залежності від напрямку падіння світла може сприйматися природною або спотвореною. Найбільш сприятливими формоутворювальними властивостями володіє поєднання розсіяного освітлення з спрямованим. Контрастність і спрямованість освітлення, що характеризують його світло-модельючий ефект, надає суттєвий вплив на естетику освітлення і, відповідно, на художні якості архітектурної форми.

Спектральний склад випромінювання джерел світла, кольоропередачі. Спектри випромінювань природних і штучних джерел світла дуже різноманітні, що обумовлює значну відмінність їх кольору і кольоропередачі. Різниця кольоровості виразно помітна на білих і сірих поверхнях, кольоропередачу оцінюють на кольоро-

вих зразках. Колір – одна з головних характеристик світлового середовища, багато в чому визначає естетику освітлення, емоційний вплив середовища на людину.

Динаміка освітлення. Людина звикла до змін природного світла (інтенсивності, спектрального складу) в досить широкому діапазоні. Динаміку штучного світла слід розглядати як один із способів, за допомогою якого можна компенсувати відсутність або недостатність природної світлової динаміки, створювати сприятливий візуальний мікроклімат в інтер'єрі і в місті, підтримувати біологічні ритми організму.

Варіюючи освітленість та інші характеристики освітлення в часі, можна отримати бажаний антимонотонний ефект, не порушуючи стабільності світлового середовища, яка нерідко диктується функціональними потребами. Необхідна гнучкість штучного освітлення може бути досягнута за рахунок регулювання світлового потоку, застосування освітлювальних приладів рухомої конструкції, що дозволяє змінювати положення світлового центру та напрямки інтегрального світлового потоку. Виходячи із заданих граничних умов діапазону світлової динаміки можна вільно оперувати композиційними засобами організації зміни світлового середовища. Якщо така зміна здійснюється за заданою програмою, то можна говорити про динамічне програмне освітлення. Око реагує і на запрограмовані зміни у часі яскравості або освітленості, які мають місце, якщо освітлення виконано газорозрядними джерелами світла при живленні їх змінним струмом. Для кількісної оцінки цього явища – пульсації випромінювань таких ламп користуються **коефіцієнтом пульсації** K_n , що розглядаються як якісна характеристика освітлення, регламентована ДБНом і визначається формулою

$$K_n = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\text{сеп}}} \cdot 100, \quad (2.14)$$

де $E_{\max}$, $E_{\min}$ – відповідно максимальне і мінімальне значення освітленості за період її коливання; $E_{\text{сеп}}$ – середнє значення освітленості за той же період.

Як видно з вищесказаного, поділ характеристик освітлення на кількісні та якісні і окремий їх розгляд досить умовний, оскільки всі вони взаємозв'язані і взаємозалежні.

2.3 Нормування природного освітлення приміщень

Необхідна кількість і якість природного світла в приміщеннях визначається їх функціональним призначенням, точніше, характером зорової роботи. На основі багаторічного досвіду та проведених досліджень були встановлені параметри природного освітлення, при яких забезпечуються сприятливі умови для зору. Ці характеристики отримали відображення в нормах, що мають у нас силу закону. Такими параметрами є КПО і нерівномірність природного освітлення. Нормовані значення КПО в приміщенні вибираються в залежності від двох факторів: від складності зорової роботи (яка в виробничих приміщеннях класифікується за величиною об'єкта розрізнення на 8 розрядів – від роботи найвищої точності з деталями менше 0,15 мм до грубої з об'єктами більше 5 мм; в громадських спорудах приміщення мають типологічну класифікацію, (див. табл. 2.3) і від системи природного освітлення.

При односторонньому боковому природному освітленні нормується мінімальне значення КПО в точці, розміщеної на відстані 1 м від стіни, найбільше віддаленої від світлових прорізів, на перетині вертикальної площини характерного поперечного розрізу приміщення і умовної робочої поверхні (чи підлоги).

При двосторонньому боковому освітленні нормується мінімальне значення КПО в середній зоні приміщення на перетині вертикальної площини характерного розрізу приміщення і умовної робочої поверхні (чи підлоги), див. рис. 2.1.

При верхньому або комбінованому природному освітленні нормується середнє значення КПО в точках, розташованих на перетині вертикальної площини характерного розрізу приміщення і умовної робочої поверхні (або підлоги). Перша і остання розрахункові точки (не менше 5) приймаються на відстані 1 м від стін.

Нормовані значення КПО для будівель, розташованих на території України, слід визначати за формулою

$$e_N = e_n \cdot m_N; \quad (2.15)$$

де m – коефіцієнт світлового клімату згідно табл. 2.5, N – номер групи забезпеченості природним світлом коефіцієнт сонячності клімату, e_n – нормоване значення КПО згідно табл. 2.6, 2.7 (які мають примітки і пояснення).

Таблиця 2.5 – Значення коефіцієнту світлового клімату

Світлові прорізи	Орієнтація світлових прорізів за сторонами горизонту	Коефіцієнт світлового клімату, m	
		Автономна республіка Крим, Одеська обл.	Решта території України
В зовнішніх стінах будинків	ПН	0,85	0,90
	ПНС, ПНЗ	0,85	0,90
	З, С	0,80	0,85
	ПДС, ПДЗ	0,80	0,85
	ПД	0,75	0,85
В прямокутних і трапецієподібних ліхтарях	ПН - ПД	0,80	0,80
	ПНС - ПДЗ, ПДЗ - ПНЗ	0,75	0,80
	С - З	0,70	0,75
В ліхтарях типу "Шед"	ПН	0,80	0,80
В зенітних ліхтарях	—	0,70	0,80

Примітка. ПН – північ; ПНС – північ-схід; ПНЗ – північ-захід; С – схід; З – захід; ПН-ПД – північ-південь; С-З – схід-захід; ПД – південь; ПДС – південь-схід; ПДЗ – південь-захід

Нерівномірність природного освітлення приміщень виробничих і громадських будівель з верхнім або комбінованим (верхнім і боковим) природним освітленням та основних приміщень для дітей і підлітків при бічному освітленні не повинна перевищувати 3:1. Розрахункове значення e_p при верхньому або комбінованому природному освітленні в будь-якій точці на лінії перетину умовної ро-

Таблиця 2.6 – Норми освітленості згідно ДБН В.2.5-28-2006

Характеристика зорової роботи	Найменший або найбільший розмір освітлюваного об'єкта розрізняння, мм	Розряд зорового розрізняння	Під-ряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристики фону	Штучне освітлення										Природне освітлення				Суміщене освітлення								
						Освітленість, лк			при системі комбінованого освітлення	сукупність нормованих величин показателів освітленості: коефіцієнта пульсації		при верхньому або комбінованому освітленні	при боковому або верхньому освітленні	при комбінованому освітленні	при суміщенні освітлення	КПД, е.в. %	при верхньому або комбінованому освітленні	при боковому або верхньому освітленні	при суміщенні освітлення									
						всього	ут. ч. від загального	освітлення загального		Р	Кл, %																	
																				7	8	9	10	11	12	13	14	15
Найвищої точності	Менше 0,15	І	а	Малий	Темний	4500	500	—	20	10																		
						4000	400	1200	20	10																		
						3500	400	1000	10	10																		
						2500	300	750	20	10																		
						2000	200	600	10	10																		
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3 включно	І	а	Малий	Темний	1500	200	400	20	10																		
						1250	200	300	10	10																		
						4000	400	—	20	10																		
						3500	400	—	10	10																		
						3000	300	750	20	10																		
Дуже високої точності	Від 0,3 до 0,5 включно	ІІ	а	Малий	Темний	2500	300	600	10	10																		
						2000	200	500	20	10																		
						1500	200	400	10	10																		
						1000	200	300	20	10																		
						750	200	200	10	10																		

Таблиця 2.6 – продовження

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Робота з матеріалами, які снігаються, і виробами в гарячих цехах	Більше 5	VII		Незалежно від характеристик фону і контрасту об'єкта з фоном		-	-	200	40	20	3	1	1,8	0,6
Загальне спостереження за ходом виробничого процесу: постійне - періодичне при постійному перебуванні людей у приміщенні		VIII	а б	Те саме - « -		- -	- -	200 100	40 -	20 -	3 1	1 0,3	1,8 0,7	0,6 0,2
приміщенні - періодичне при перебуванні людей у приміщенні			в	- « -		-	-	50	-	-	0,7	0,2	0,5	0,2
загальне спостереження за інженерними комунікаціями			г	- « -		-	-	20	-	-	0,3	0,1	0,2	0,1

Таблиця 2.7 – Норми освітленості згідно ДБН В.2.5-28-2006

Характеристика зорової роботи	Найменший еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підзорової роботи	Відносна тривалість зорової роботи з напрямку зору на роботу поверхню, %	Штучне освітлення				Природне освітлення	
					освітленість на робочій поверхні від загального освітлення, лк	освітленість на робочій поверхні від системи освітлення орту, М	коэффициент пульсации светового потока, %	коэффициент пульсации светового потока, %	КПО, ед. % при верхньому або боковому	КПО, ед. % при верхньому і боковому
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Розрізнення об'єктів при фіксації та нефіксації ліній зору: - дуже високої точності	від 0,15 до 0,30	A	1	Не менше 70	500	150	40	10	4,0	1,5
			2	Менше 70	400	100	15	10	3,5	1,2
	понад 0,30 до 0,50	B	1	Не менше 70	300	100	40	15	3,0	1,0
- високої точності			2	Менше 70	200	75	15	20	2,5	0,7
	більше 0,5	B	1	Не менше 70	150	50	60	20	2,0	0,5
- середньої точності			2	Менше 70	100	Не нормується	60	20	2,0	0,5
							25	15		
Огляд оточуючого простору при дуже коротко-часовому епізодичному розрізненні об'єктів: - при високій насиченості пригнітених світлом - при нормальній насиченості пригнітених світлом - при низькій насиченості пригнітених світлом	Незалежно від розміру об'єкта розрізнення	Г	-	Незалежно від тривалості зорової роботи	300	100	60	-	3,0	1,0
	-	Д	-		200	75	90		2,5	0,7
		Е	-		150	50	90		2,0	0,5

Таблиця 2.7 – Продовження

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Загальне орієнтування в просторі інтер'єру: - при великому скупченні людей - при малому скупченні людей	Немає відомостей про розмір об'єкта розрізнення	Ж	1	Немає відомостей про якість зорової роботи	75	Немає відомостей	Немає відомостей	Немає відомостей	Немає відомостей	Немає відомостей
	Те саме	3	2	Те саме	50	Те саме	Те саме	Те саме	Те саме	Те саме
Загальне орієнтування в зонах пересування: - при великому скупченні людей - при малому скупченні людей	Те саме	3	1	Те саме	30	Те саме	Те саме	Те саме	Те саме	Те саме
	Те саме	2	2	Те саме	20	Те саме	Те саме	Те саме	Те саме	Те саме

бочої поверхні і площини характерного вертикального розрізу приміщення має бути не менше нормованого значення КПО при боковому освітленні для робіт відповідних розрядів.

Сонцезахисні пристрої передбачаються для виробничих приміщень з постійним перебуванням працюючих, де виконуються роботи I-IV розрядів, на промислових підприємствах, що проектується для будівництва в III і IV кліматичних районах.

При техніко-економічному обґрунтуванні допускається передбачати сонцезахисні пристрої і для виробничих будівель, що проектується для інших кліматичних районів. Сонцезахисні пристрої в громадських і житлових будинках слід передбачати відповідно до чинних нормативних документів по проектуванню цих будівель.

Розрахунок природного освітлення може бути попереднім (наближеним) або перевірочним (більш точним). Перший спосіб застосовується на ранніх етапах проектування і проводиться за формулами (2.16) і (2.17), другий – на стадії детальної розробки – з використанням графіків Данилюка (рисунки Л.1, Л.2, Л.3 [2]), розрахункових формул (2.19) - (2.26).

2.4 Розрахунок природного освітлення приміщень

Попередній розрахунок площі світлових прорізів проводиться:

а) при боковому освітленні приміщень за формулою

$$100 \frac{S_s}{S_n} = \frac{e_n K_z \eta_e}{\tau_0 r_1} K_{\text{бю}}; \quad (2.16)$$

б) при верхньому освітленні за формулою

$$100 \frac{S_s}{S_n} = \frac{e_n K_z \eta_e}{\tau_0 r_2 K_s}, \quad (2.17)$$

де S_s – **шукана** площа світлових прорізів (у світлі) при боковому освітленні; S_n – площа підлоги приміщення; e_n – нормоване значення КПО; K_z – коефіцієнт запасу, який враховує забруднення в процесі експлуатації згідно таблиці 3 [2]; η_e – світлова характеристика вікон (див. табл. Л.1 [2]); $K_{\text{бю}}$ – коефіцієнт, який враховує за-

тінювання вікон протилежними будинками (див. табл. Л.2 [2]); τ_0 – загальний коефіцієнт світлопроникнення, який визначається за формулою

$$\tau_0 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5, \quad (2.18)$$

де τ_1 – коефіцієнт світлопропускання матеріалу (табл. Л.3);

τ_2 – коефіцієнт, який враховує втрати світла в рамах світлопрорізу (табл. Л.3);

τ_3 – коефіцієнт, що враховує втрати світла в несучих конструкціях; (табл. Л.3, при бічному освітленні $\tau_3 = 1$);

τ_4 – коефіцієнт, що враховує втрати світла в сонцезахисних пристроях (табл. Л.4);

τ_5 – коефіцієнт, що враховує втрати світла в захисній сітці, яка встановлюється під ліхтарями; приймається рівним 0,9;

r_1 – коефіцієнт, який враховує підвищення КПО при бічному освітленні завдяки світлу, яке відбивається від поверхонь приміщення та підстиляючого шару, прилеглого до будинку (табл. Л.5);

S_n – площа світлових прорізів (у світлі) при верхньому освітленні;

η_n – світлова характеристика ліхтаря або світлового прорізу в площині покриття, що визначається за табл. Л.6 і Л.7;

r_2 – коефіцієнт, який враховує підвищення КПО при верхньому освітленні завдяки світлу, яке відбивається від поверхонь приміщення (табл. Л.8)²;

K_n – коефіцієнт, який враховує тип ліхтаря (табл. Л.9).

² Для знаходження r_1 і r_2 потрібно визначити середньозважений коефіцієнт відбивання ρ_{cp} за формулою

$$\rho_{cp} = \frac{\rho_{стн} S_{стн} + \rho_{стл} S_{стл} + \rho_n S_n}{S_{стн} + S_{стл} + S_n}, \quad (2.19)$$

де $S_{стн}$, $S_{стл}$, S_n – відповідно площі стін, стелі (не враховуючи площі світлоотворів як за бічного так і верхнього освітлення) і підлоги, м².

Перевірочний розрахунок коефіцієнта природної освітленості (КПО) слід виконувати:

а) при боковому освітленні за формулою

$$e_p^b = (\varepsilon_b q + \varepsilon_{\text{бод}} R) r_1 \frac{\tau_0}{K_s}; \quad (2.20)$$

б) при верхньому освітленні за формулою

$$e_p^e = [\varepsilon_e + \varepsilon_{\text{сеп}} (r_2 K_n - 1)] \frac{\tau_0}{K_s} \quad (2.21)$$

в) при верхньому і боковому (комбінованому) освітленні за формулою

$$e_p^k = e_p^b + e_p^e, \quad (2.22)$$

де ε_b – геометричний КПО в розрахунковій точці при боковому освітленні, який враховує пряме світло неба; визначається за графіками I і II Данилюка (рис. Л.1 і Л.2);

q – коефіцієнт, що враховує нерівномірну яскравість хмарного неба МКО (рис. 2.16), значення визначається табл. Л.11;

$\varepsilon_{\text{бод}}$ – геометричний КПО в розрахунковій точці при боковому освітленні, який враховує світло, відбите від фасадів протилежних будівель; визначається за графіками I і II Данилюка (рис. Л.1 і Л.2);

R – коефіцієнт, що враховує відносну яскравість фасаду протилежного затінюючого будинку (табл. Л.11);

ε_e – геометричний КПО в розрахунковій точці при верхньому освітленні, який визначається за графіками III і II Данилюка (рис. Л.3 і Л.2);

$\varepsilon_{\text{сеп}}$ – середнє значення геометричного КПО при верхньому освітленні на лінії перетину умовної робочої поверхні і площини характерного вертикального розрізу приміщення; визначається зі співвідношення

$$\varepsilon_{\text{сеп}} = \frac{1}{N} (\varepsilon_{e1} + \varepsilon_{e2} + \varepsilon_{e3} + \dots + \varepsilon_{eN}), \quad (2.23)$$

де N – кількість розрахункових точок; $\varepsilon_{e1}, \varepsilon_{e2}, \varepsilon_{e3}, \dots, \varepsilon_{eN}$ – геометричний КПО в розрахункових точках.

Середнє значення КПО $e_{сер}$ при верхньому або комбінованому (верхньому і боковому) освітленні визначається за формулою

$$e_{сер} = \frac{1}{N-1} \left(\frac{e_1}{2} + e_2 + e_3 + \dots + e_{N-1} + \frac{e_N}{2} \right), \quad (2.24)$$

де N – кількість точок, в яких визначається КПО;

$e_1, e_2, e_3, \dots, e_{N-1}, e_N$ – значення КПО при верхньому або комбінованому освітленні в точках характерного розрізу приміщення, що визначаються за формулами (2.21) і (2.22).

Розрахункові значення e_p , отримані за формулами (2.20) - (2.24), слід округляти до десятих долей. Допускається відхилення розрахункового значення КПО e_p від нормованого КПО e_n на $\pm 10\%$.

Геометричний коефіцієнт природної освітленості визначається за допомогою графіків I, II і III (рис. Л.1, Л.2, Л.3).

Геометричний коефіцієнт природної освітленості ε_6 , який враховує пряме світло від неба в будь-якій точці приміщення при боковому освітленні, визначається за формулою

$$\varepsilon_6 = 0,01 n_1 n_2, \quad (2.25)$$

де n_1 – кількість променів за графіком I, які проходять від неба через світлові прорізи в розрахункову точку на поперечному розрізі приміщення (рис. 2.19);

n_2 – кількість променів за графіком II, які проходять від неба через світлові прорізи в розрахункову точку на плані приміщення, (рис. 2.20).

Геометричний коефіцієнт природної освітленості $\varepsilon_{б\text{уд}}$, який враховує світло, відбите від протилежного будинку при боковому освітленні, визначається за формулою

$$\varepsilon_{б\text{уд}} = 0,01 n'_1 n'_2, \quad (2.26)$$

де n'_1 – кількість променів за графіком I, які проходять від протилежного будинку через світлові прорізи в розрахункову точку на поперечному розрізі приміщення (рис. 2.21);

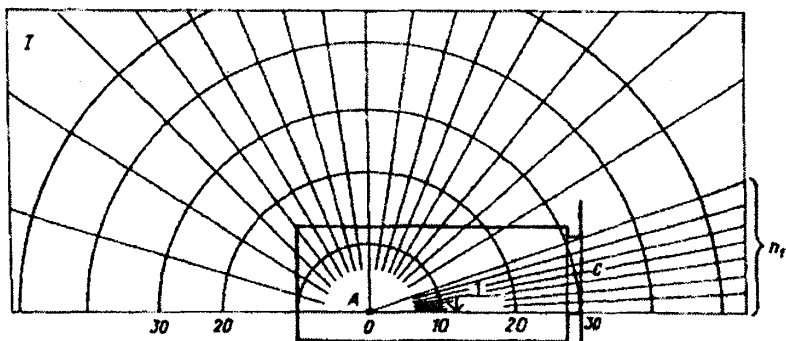


Рисунок 2.19 – Визначення числа променів n_1 і n_1' , які проходять через світлові прорізи в стіні при боківому освітленні, по графіку I
1 – рівень робочої поверхні

n_2' – кількість променів за графіком II, які проходять від протилежного будинку через світлові прорізи в розрахункову точку на плані приміщення (рис. 2.20).

Підрахунок кількості променів за графіками I і II проводиться в такому порядку:

а) графік I накладається на креслення поперечного розрізу приміщення, центр графіка О суміщається з розрахунковою точкою А, основа графіка з – горизонт, у більшості випадків співпадаючи зі слідом робочої поверхні (рис. 2.19); Графіки I і II або план і розріз зображуються на прозорій плівці або кальці.

б) підраховується кількість променів n_1 , що проходять через світлові прорізи;

в) відзначається номер півкола на графіку I, яке проходить через точку С – середину світлового прорізу (рис. 2.19);

г) графік II накладається на план приміщення таким чином, щоб його вертикальна вісь, накладалася на проекцію вертикального розрізу, і горизонталь, номер якої відповідає номеру півкола за графіком I, проходила через точку С (рис. 2.20);

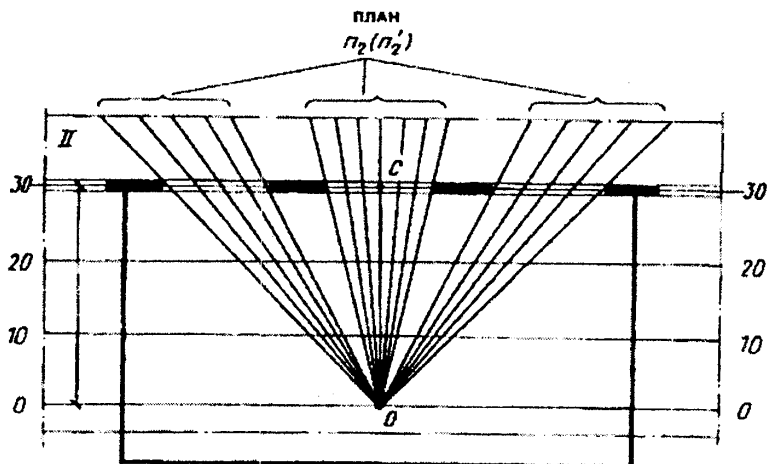


Рисунок 2.20 – Визначення кількості променів n_2 і n_2' , які проходять через світлові прорізи в стіні при боковому освітненні за графіком II (30 – номер півкола за графіком I згідно прикладу рис. 2.19)

д) за графіком II підраховується число променів n_2 , що проходять через світлові прорізи;

е) визначається геометричний коефіцієнт природної освітленості за формулою (2.25).

Підрахунок променів n_1' і n_2' , відбитих від протилежної будівлі які проходять через світловий проріз, виконується за графіками I і II аналогічно (рис. 2.21) і формулою (2.26).

Геометричний коефіцієнт природної освітленості в будь-якій точці приміщення при верхньому освітненні ϵ_v визначається за формулою

$$\epsilon_v = 0,01 n_3 n_2, \quad (2.27)$$

де n_3 – кількість променів за графіком III, що проходять від неба в розрахункову точку через світлові прорізи на поперечному розрізі приміщення;

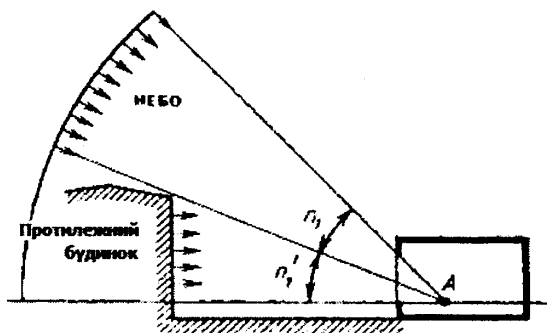


Рисунок 2.21 – Визначення кількості променів n_1 і n_1' (від неба і від протилежного будинку), які проходять через світлові прорізи в стіні, за графіком I

n_2 – кількість променів за графіком II, які проходять від неба в розрахункову точку через світлові прорізи на поздовжньому розрізі приміщення (у випадку кількох світлових прорізів n_3 і n_2 визначаються окремо для кожного прорізу, а потім добуток $n_3 n_2$ додається).

Підрахунок кількості променів за графіками III і II проводиться у наступному порядку:

а) графік III накладається на креслення поперечного розрізу приміщення, центр графіка О суміщається з розрахунковою точкою Б, основа графіка III – з горизонтом (зі слідом робочої поверхні, якщо вона горизонтальна);

б) підраховується кількість променів n_3 , які проходять від неба в розрахункову точку Б через світлові прорізи від неба (рис. 2.22);

в) відмічається номер півкола на графіку III, яке проходить через точку C_2 – середину світлового прорізу;

г) графік II накладається на креслення поздовжнього розрізу приміщення таким чином, щоб його вертикальна вісь, поєднана з лінією поперечного розрізу, і горизонталь, номер якої відповідає номеру півкола за графіком III, проходили через середину світлово-

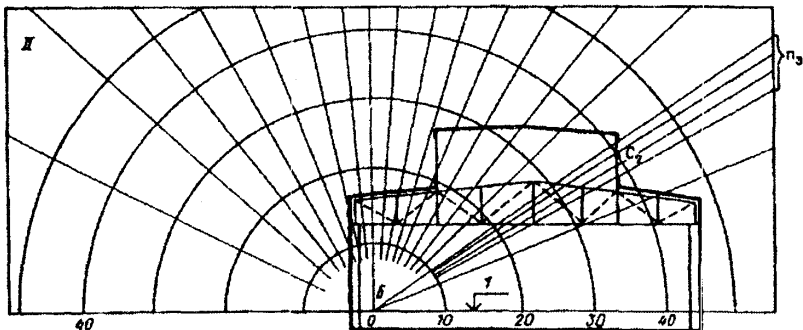


Рисунок 2.22 – Визначення кількості променів n_2 , що проходять через світлові прорізи при верхньому освітленні, за графіком III
1 – рівень робочої поверхні

го прорізу (рис. 2.23);

д) за графіком II підраховується число променів n_2 , що проходять від неба через світлові прорізи;

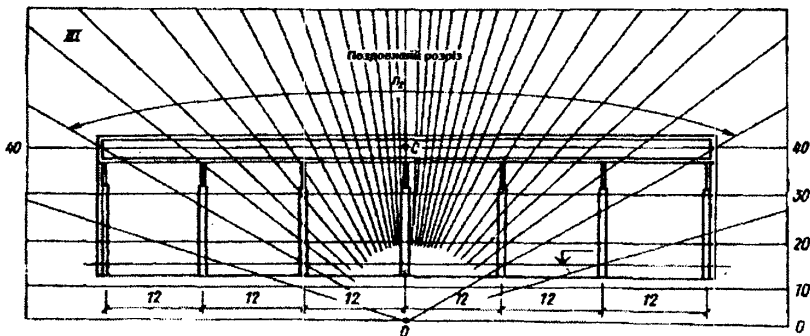


Рисунок 2.23 – Визначення кількості променів n_2 , які проходять через світлові прорізи при верхньому освітленні за графіком II
(40 – номер півкола за графіком III згідно прикладу рис. 2.22)

е) визначається геометричний коефіцієнт природної освітленості за формулою (2.27).

Далі за розрахунковою формулою (2.20) або (2.21) підраховується значення e_p для кожної точки (як правило, їх не менше 5 через рівні інтервали) і з них по осі ординат (вісь абсцис – умовна робоча поверхня) на поперечному розрізі приміщення у вибраному масштабі відкладаються отримані величини. Ці намічені точки з'єднуються плавною кривою КПО, яка показує розподіл освітленості на робочій поверхні в площині характерного вертикального розрізу приміщення.

Мінімальне значення e_p^6 при боковому освітленні і середнє значення e_p^* або e_p^x при верхньому або комбінованому природному освітленні порівнюється з нормованим значенням e_n , яке визначається за формулою (2.15) і служить ординатою лінії, паралельної осі абсцис на розрізі. Якщо, наприклад, крива e_p^6 перетинає пряму e_n то точка їх перетину показує межу зони з недостатнім природним освітленням робочої поверхні в глибині приміщення. При $e_p < e_n$ більш ніж на 10% слід внести корективи в проект (збільшити світлопрорізи, передбачити більш світлішу обробку в приміщенні тощо).

В процесі роботи для запису всіх отриманих даних зручно користуватися табл. 2.8 (приклад для бокового освітлення).

Таблиця 2.8 – Форма запису даних розрахунку природного освітлення

№ точки	n_1	C	n_2	ε_6	n_1'	n_2'	$\varepsilon_{\text{бюв}}$	θ	q	z_1	z_2	R	$\rho_{\text{сеп}}$	$\frac{I_n}{B}$	$\frac{B}{h_1}$	$\frac{l}{B}$	r_1	τ_0	K	e_p^6	e_n
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Розрахунок природного освітлення приміщень далеко не вичерпує задачу його проектування. Проектування освітлення починається одночасно з рішенням композиційних задач в процесі архіте-

ктурного проектування, є його невід'ємною частиною, бо вибір всіх параметрів форми будівлі і кожного приміщення, а також деталей в них відповідно впливає на якість світлового середовища.

На рис. 2.24-2.33 кривими КПО схематично показана залежність природного освітлення (його рівнів і розподіл) в приміщенні від зовнішніх і внутрішніх факторів – орієнтації будинку і світлопрорізів, містобудівної ситуації, об'ємно-планувального рішення будівлі, пластики фасадів, розмірів, форми і пропорцій приміщення, розміщення світлопрорізів по відношенню до робочої поверхні, розмірів, форми, конструктивного і світлотехнічного рішення вікон і ліхтарів та їх забруднення, а також від внутрішньої обробки приміщення.

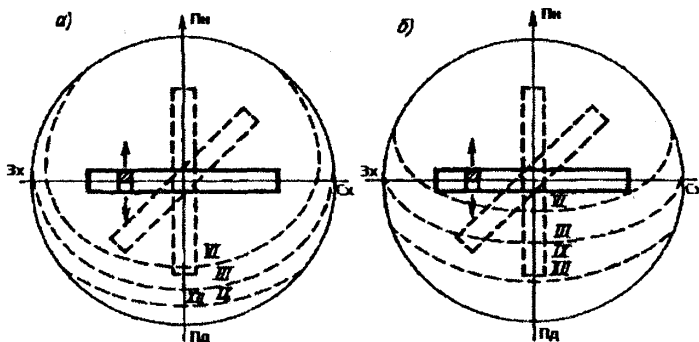


Рисунок 2.24 – Вплив на природне освітлення приміщень орієнтації будівлі за сторонами горизонту з урахуванням світлового клімату (враховується коефіцієнтами m , C , q) на високих (а) і низьких (б) широтах

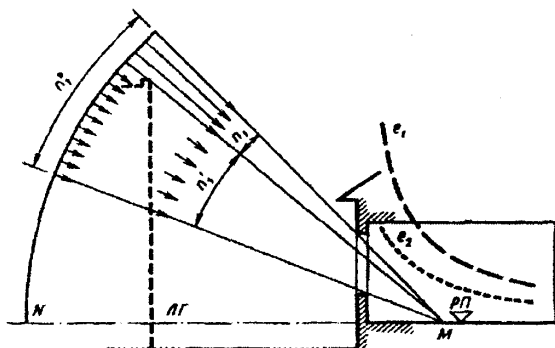


Рисунок 2.25 – Вплив на природне освітлення в приміщеннях містобудівної ситуації: ϵ_1 – КПО без урахування затінення вікон при відкритому горизонті чи при низькій і світлій забудові; ϵ_2 – КПО з урахуванням затінення при високій і темній забудові і при малій відстані до неї. За графіками Данилюка визначаються n_1 – пряме світло неба, що досягає точки M при відсутності забудови; n_1 – пряме світло неба при забудові; n_1' – світло, яке відбивається фасадом будівлі (враховується в розрахунках коефіцієнтами $\epsilon_{\text{буд}}, R$), $ЛГ$ – лінія горизонту; $РП$ – робоча поверхня; N – небозвід

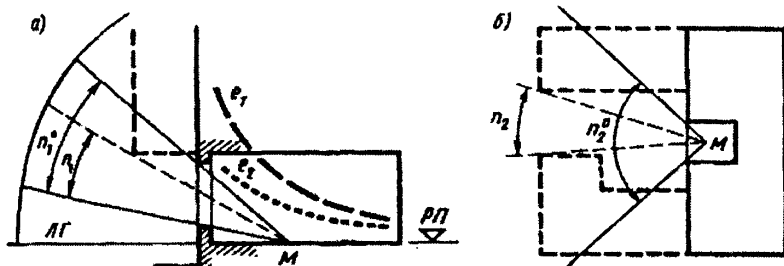


Рисунок 2.26 – Вплив на природне освітлення в приміщеннях об'ємно-планувального рішення будівлі: а – в розрізі; б – в плані; ϵ_1 – КПО при відкритому небозводі (кути n_1' , n_2'); ϵ_2 – КПО при затіненні виступаючими частинами будівлі (кути n_1 і n_2)

Рисунок 2.27 – Вплив на природне освітлення в приміщеннях пластичних елементів фасадів (лоджій, балконів, сонцезахисних козирків і т.д.): e_1 – КПО при відсутності затінення (n_1^0); e_2 – КПО з урахуванням затінення (n_1)

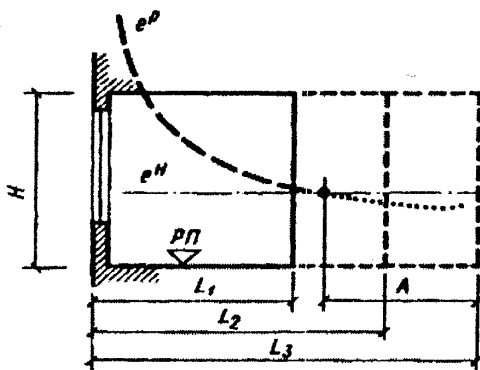
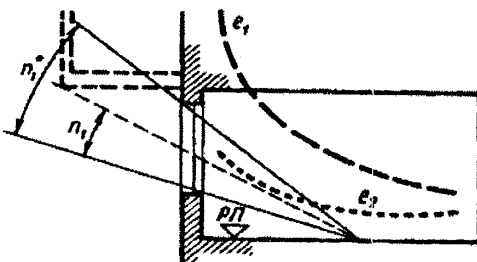


Рисунок 2.28 – Вплив на природне освітлення в приміщеннях розмірів, форми і пропорцій приміщення. Основний показник – глибина закладення L/H ;
при $L_1 = H$ приміщення маленьке, світле,
при $L_3 \geq 2H$ приміщення глибоке, темне,

при $H < L_2 < 2H$ приміщення типове, середньої глибини і освітленості, e^p – розрахунковий КПО; e^n – нормований КПО; А – зона з недостатнім природним освітленням

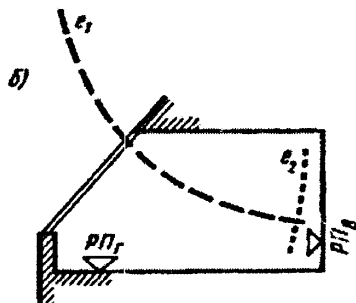
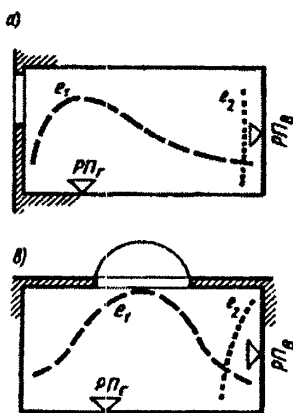


Рисунок 2.29 – Вплив на природне освітлення розміщення світлопрорізів по відношенню до робочій поверхні

e_1 – КПО на підлозі; e_2 – КПО на стіні при вертикальному (а) і похилому (б) вікні та zenітному ліхтарі (в); $PP_{Г}$ і $PP_{В}$ – відповідно горизонтальна і вертикальна робоча поверхня.

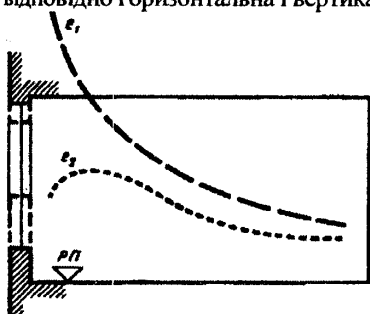


Рисунок 2.30 – Вплив на природне освітлення в приміщеннях розмірів світлопройому: e_1 – КПО при великому вікні; e_2 – КПО при меншому вікні

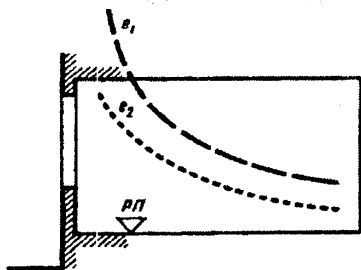


Рисунок 2.31 – Вплив на природне освітлення в приміщеннях внутрішнього оздоблення, яке характеризується коефіцієнтами і характеристиками відбиття стелі, стін, підлоги і їх площами (у розрахунках враховуються коефіцієнтами γ_1 і γ_2 в залежності від середньозваженого коефіцієнта відбиття $\rho_{сер}$ і пропорцій приміщення) e_1 і e_2 – КПО відповідно при світлому і темному оздобленні

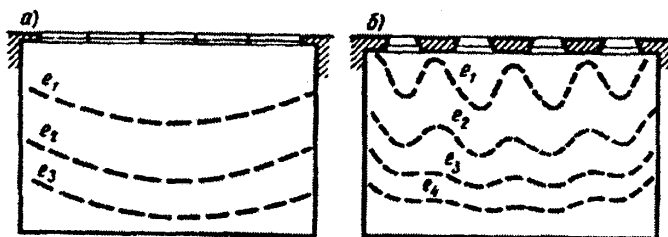


Рисунок 2.32 – Вплив на природне освітлення в приміщеннях форми світлопрорізу (прямокутний – горизонтальний або вертикальний, круглий, трикутний і т.д.) і його обрамлення (стіни – товсті і тонкі, зі скосами і без них): а – план приміщення з стрічковим заскленням; б – план приміщення з високими вузькими вікнами і товстими скошеними стінами; $e_1 - e_4$ – криві рівних значень КПО на рівні підвіконника

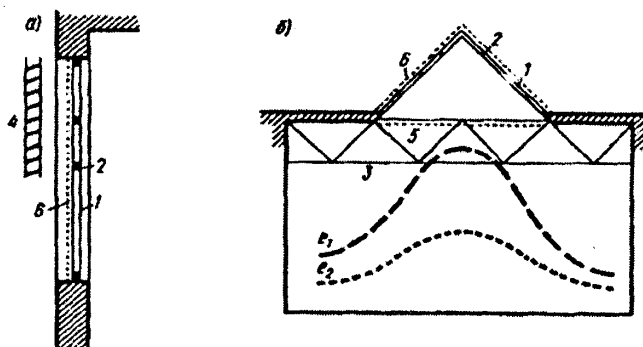


Рисунок 2.33 – Вплив на природне освітлення в приміщеннях конструктивного і світлотехнічного заповнення та забруднення вікон (враховується в розрахунках загальним коефіцієнтом світлопропускання $\tau_0 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5$ та коефіцієнтом запасу K_s): а – розріз вікна, б – розріз приміщення з верхнім світлом; 1 – заскління (τ_1); 2 – плетіння (τ_2); 3 – несучі конструкції під ліхтарем (τ_3); 4 – сонцезахисні пристрої (τ_4); 5 – захисна сітка під ліхтарем (τ_5); 6 – забруднення вікон (K_s); e_1 – КПО в приміщення без ферм та сітки з одинарним склінням і металевими плетіннями, з чистими вікнами; e_2 – КПО у виробничому цеху з затінюючими факторами

Контрольні запитання

1. Які системи природного освітлення приміщень Ви знаєте?
2. Як залежить освітлення приміщення від кількості, типу і розташування вікон?
3. Критерієм чого є показник дискомфорту?
4. Від чого залежить освітленість від Сонця на горизонтальній (вертикальній) поверхні?
5. Які закономірності зміни яскравості неба Ви знаєте?
6. Як розраховується контрастність освітлення?
7. Яким нормативним документом нормуються значення природного освітлення приміщень?
8. Яким чином знаходиться середньозважений коефіцієнт відбивання поверхонь приміщень (підстилаючого шару)?
9. Як впливають геометричні розміри приміщення на його природне освітлення?
10. Поясніть алгоритм використання графіків Данилюка для визначення геометричного коефіцієнта природного освітлення за бокового (верхнього) освітлення.
11. Як впливають фасади сусідніх будинків на природне освітлення приміщення?

Розділ 3. ШТУЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ БУДИНКІВ

В моменти, коли природне світло менше за необхідне застосовують джерела штучного освітлення.

Штучне освітлення використовують як **додаткове** – освітлення, яке використовується протягом робочого дня в зонах з недостатнім природним світлом, **загальне** – освітлення, за якого світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно (загальне рівномірне освітлення) або відносно розміщення обладнання (загальне локалізоване освітлення), **місцеве** – освітлення, додаткове до загального, що створюється світильниками, як концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях або **комбіноване** – освітлення, за якого до загального освітлення додається місцеве.

Освітлення, за якого недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним називається **сумішеним**.

Суміщене освітлення приміщень виробничих будинків слід передбачати:

а) для виробничих приміщень, в яких виконуються роботи I-III розрядів;

б) для виробничих та інших приміщень у випадках, коли за умов технології, організації виробництва або клімату в місці будівництва необхідні об'ємно-планувальні рішення, які не дозволяють забезпечити нормоване значення КПО (багатоповерхові будинки великої ширини тощо), а також у випадках, коли техніко-економічна доцільність суміщеного освітлення порівняно з природним підтверджена відповідними розрахунками;

в) відповідно до нормативних документів з будівельного проектування будинків і споруд окремих галузей промисловості, затверджених в установленому порядку.

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 санаторі-

їв і будинків відпочинку, групових і гральних дитячих дошкільних закладів, патат лікувально-профілактичних установ.

Загальне (незалежно від прийнятої системи освітлення) штучне освітлення виробничих приміщень, призначених для постійного перебування людей, повинно забезпечуватися розрядними джерелами світла.

Застосування ламп розжарювання допускається в окремих випадках, коли за умов технології, середовища або вимог до оформлення інтер'єра використання розрядних джерел світла неможливе або недоцільне.

Нормовані значення КПО для виробничих приміщень повинні прийматися як для суміщеного освітлення за таблицею 2.7.

Для виробничих приміщень нормовані значення КПО допускається приймати відповідно до табл. 3.1:

а) в районах з температурою найбільш холодної п'ятиденки мінус 28 °С і нижче – за кліматичними будівельними нормами;

б) в приміщеннях з боковим освітленням, глибина яких за умов технології або вибору раціональних об'ємно-планувальних рішень не дозволяє забезпечити нормоване значення КПО, вказане в таблиці 1 для суміщеного освітлення;

в) в приміщеннях, де виконуються роботи I - III розрядів.

Таблиця 3.1

Розряд зорової роботи	Найменше нормоване значення КПО ϵ_n %, при суміщеному освітленні	
	при верхньому або комбінованому освітленні	при боковому освітленні
I	3	1,2
II	2,5	1
III	2	0,7
IV	1,5	0,5
V і VII	1	0,3
VI	0,7	0,2

Для виробничих приміщень при установленні нормованих значень КПО слід:

а) освітленість від системи загального штучного освітлення підвищувати на один ступінь за **шкалою освітленості**³ (крім розрядів 1б, 1в, 11б), якщо підвищення освітленості не передбачене нормами. Освітленість від системи загального освітлення повинна складати не менше 200 лк при розрядних лампах і 100 лк при лампах розжарювання. Створювати освітленість більше 750 лк при розрядних лампах і 300 лк при лампах розжарювання дозволяється тільки за наявності обґрунтування;

б) освітленість від світильників загального освітлення в системі комбінованого підвищувати на один ступінь за шкалою освітленості, крім розрядів 1а, 1б, 11а;

в) коефіцієнт пульсації K_p для I-III розрядів не повинен перевищувати 10%.

Розрахункові значення КПО при суміщеному освітленні житлових і громадських будинків повинні складати не менше 60% значень, зазначених у табл. 2.7.

Допускається приймати розрахункові значення КПО в межах від 60% до 30% значень, зазначених у табл. 2.7 для торговельних залів магазинів і залів, буфетів, роздавальних підприємств громадського харчування.

При суміщеному освітленні для приміщень громадських будинків з боковим освітленням при розрахунковому значенні КПО, яке дорівнює або менше 80% від нормованого значення, освітленість від загального штучного освітлення слід підвищувати на один ступінь за шкалою освітленості.

Штучне освітлення поділяється на **робоче, аварійне, охоронне, чергове**.

³ Нормовані значення освітленості, лк, що відрізняються на один ступінь, слід сприймати за шкалою: 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 10; 15; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1250; 1500; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500; 5000.

Нормовані значення яскравості поверхні, кд/м², що відрізняються на один ступінь, слід приймати за шкалою: 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 2; 3; 5; 8; 10; 12; 15; 20; 25; 30; 50; 75; 100; 125; 150; 200; 400; 500; 750; 1000; 1500; 2000; 2500.

Аварійне освітлення поділяється на освітлення безпеки і евакуаційне.

Для загального штучного освітлення приміщень слід використовувати, як правило, розрядні джерела світла, віддаючи перевагу за однакової потужності джерелам світла з найбільшою світловою віддачею і строком служби.

Світлова віддача джерел світла для штучного освітлення приміщень при мінімально допустимих індексах кольоропередачі не повинна бути менше значень, наведених у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Світлова віддача джерел світла

Тип джерела світла	Світлова віддача, лм/Вт, не менше, при мінімально допустимих індексах кольоропередачі				
	$R_a \geq 80$	$R_a \geq 60$	$R_a \geq 45$	$R_a \geq 25$	$R_a \leq 25$
Люмінесцентні лампи	65	75	—	—	—
Компактні люмінесцентні лампи	70	—	—	—	—
Металогалогенні лампи	75	90	—	—	—
Дугові ртутні лампи	—	—	55	—	—
Натрієві лампи високого тиску	—	75	—	100	—
Лампи розжарювання	—	—	—	—	7

Робоче освітлення слід передбачати для всіх приміщень будинків, а також ділянок відкритих просторів, призначених для роботи, проходу людей та руху транспорту. Для приміщень, які мають зони з різними умовами природного освітлення та різними режимами роботи, повинно передбачатись окреме керування освітленням таких зон.

За необхідності частина світильників робочого або аварійного освітлення може бути використана для чергового освітлення.

Нормовані характеристики освітлення в приміщеннях і зовні будинків може забезпечуватись як світильниками робочого освітлення, так і спільним з ним освітленням світильниками безпеки і (або) евакуаційного освітлення.

3.1 Освітлення приміщень виробничих і складських будинків

Для освітлення приміщень слід використовувати, як правило, найбільш економічні розрядні лампи. Використання ламп розжарювання для загального освітлення допускається тільки у випадках неможливості або техніко-економічної недоцільності використання розрядних ламп.

Для місцевого освітлення, крім розрядних джерел світла, рекомендується використовувати лампи розжарювання, в тому числі галогенні. Вибір джерел світла за кольоровими характеристиками слід провадити за додатком Е [2]. Застосування ксенонових ламп у приміщеннях не дозволяється.

Норми освітленості, наведені в табл. 2.6, слід підвищувати на один ступінь шкали освітленості в таких випадках:

а) при роботах I-VI розрядів, якщо зорова робота виконується більше половини робочого дня;

б) при підвищеній небезпеці травматизму, якщо освітленість від системи загального освітлення складає 150 лк і менше (робота на дискових пилках, гільйотинних ножицях тощо);

в) при спеціальних підвищених санітарних вимогах (наприклад, на підприємстві харчової та хіміко-фармацевтичної промисловості), якщо освітленість від системи загального освітлення 500 лк і менше;

г) при роботі або виробничому навчанні підлітків, якщо освітленість від системи загального освітлення 300 лк і менше;

д) за відсутності в приміщенні природного світла і постійному перебуванню працюючих, якщо освітленість від системи загального освітлення 750 лк і менше;

е) при спостереженні за деталями, що обертаються зі швидкістю, яка дорівнює або більша 500 об/хв, або об'єктами, що рухаються зі швидкістю, яка дорівнює або більша 1,5 м/хв;

ж) при постійному пошуку об'єктів розрізнення на поверхні розміром 0,1 м² і більше.

За наявності одночасно кількох ознак норми освітленості слід підвищувати не більше ніж на один ступінь.

В приміщеннях, де виконуються роботи IV-VI розрядів, норми освітленості слід знижувати на один ступінь при короточасному перебуванні людей або за наявності устаткування, яке не потребує постійного обслуговування.

При виконанні в приміщеннях робіт I-III, IVa, IVб, IVв, Va розрядів слід застосовувати систему комбінованого освітлення. Передбачати систему загального освітлення допускається при технічній неможливості або недоцільності влаштування місцевого освітлення, що конкретизується в галузевих нормах, узгоджених з органами Державного санітарного нагляду.

За наявності в одному приміщенні робочих і допоміжних зон слід передбачати локалізоване загальне освітлення (за будь-якої системи освітлення) робочих зон і менш інтенсивне освітлення допоміжних зон, зараховуючи їх до розряду VIIa.

Освітленість робочої поверхні, створена світильниками загального освітлення в системі комбінованого, повинна складати не менше 10% нормованої для комбінованого освітлення при таких джерелах світла, які застосовуються для місцевого освітлення. При цьому освітленість повинна бути не менше 200 лк при розрядних лампах, не менше 75 лк - при лампах розжарювання. Створювати освітленість від загального освітлення в системі комбінованого більше 500 лк при розрядних лампах і більше 150 лк при лампах розжарювання допускається тільки за наявності обґрунтувань.

У приміщеннях без природного світла освітленість робочої поверхні, утворена світильниками загального освітлення в системі комбінованого, слід підвищувати на один ступінь.

Відношення максимальної освітленості до мінімальної не повинно перевищувати для робіт I-III розрядів при люмінесцентних лампах 1,3, при інших джерелах світла - 1,5, для робіт розрядів IV-VII - 1,5 і 2,0 відповідно.

Нерівномірність освітленості допускається підвищувати до 3,0 в тих випадках, коли за умов технології світильники загального освітлення можуть установлюватися тільки на площадках, колонах або стінах приміщення.

У виробничих приміщеннях освітленість проходів та ділянок, де

робота не виконується, повинна складати не більше 25% від нормованої освітленості, але не менше 75 лк при розрядних лампах і не менше 30 лк при лампах розжарювання.

У цехах з повністю автоматизованим технологічним процесом слід передбачати освітлення для спостереження за роботою устаткування, а також додаткове включення світильників загального і місцевого освітлення для забезпечення необхідної (відповідно до табл. 2.6) освітленості при ремонтно-налагоджувальних роботах.

Показник осліпленості від світильників загального освітлення (незалежно від системи освітлення) не повинен перевищувати значень, вказаних у табл. 2.6.

Показник осліпленості не обмежується для приміщень, довжина котрих не перевищує подвійної висот підвішування світильників над підлогою, а також для приміщень з тимчасовим перебуванням людей і для площадок, призначених для проходу або обслуговування устаткування.

Для місцевого освітлення робочих місць слід використовувати світильники з непросвічуючими відбивачами. Світильники повинні розташовуватися так, щоб їх елементи, які світяться, не влучали в поле зору працюючих на освітленому робочому місці і на інших робочих місцях.

Місцеве освітлення робочих місць, як правило, повинно бути обладнане регуляторами освітлення.

Місцеве освітлення зорових робіт з тривимірними об'єктами розрізнення слід виконувати:

- при дифузійному відбиванні фону - світильником, у якого відношення найбільшого лінійного розміру поверхні, яка світиться, до висоти її розташування над робочою поверхнею складає не більше 0,4 при направленні оптичної осі в центр робочої поверхні під кутом не менше 30° до вертикалі:

- при направлено-розсіяному і змішаному відбиванні фону - світильником, у якого відношення найменшого лінійного розміру поверхні, яка світиться, до висоти її розташування над робочою поверхнею складає не менше 0,5, а її яскравість - від 2500 до 4000 кд/м².

Яскравість робочої поверхні не повинна перевищувати значень,

вказаних у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Найбільша допустима яскравість робочої поверхні

Площа робочої поверхні, м ²	Найбільша допустима яскравість, кд/м ²
Менше $1 \cdot 10^{-4}$	2000
Від $1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-3}$	1500
Понад $1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{-2}$	1000
Понад $1 \cdot 10^{-2}$ до $1 \cdot 10^{-1}$	750
Більше $1 \cdot 10^{-1}$	500

Коефіцієнт пульсації освітленості на робочих поверхнях при живленні джерел світла струмом частотою менше 300 Гц не повинен перевищувати значень, вказаних у табл. 2.6.

Коефіцієнт пульсації не обмежується:

- при частоті живлення 300 Гц і більше;
- для приміщень з періодичним перебуванням людей за відсутності в них умов для виникнення стробоскопічного ефекту.

У приміщеннях, де можливе виникнення стробоскопічного ефекту, необхідно включення сусідніх на 3 фази живильної напруги або включення їх у мережу з електронними пускорегулюючими апаратами.

3.2 Освітлення приміщень громадських, житлових і допоміжних будинків

Для загального освітлення приміщень слід використовувати найбільш економічні розрядні лампи з світловою віддачею не менше 55 лм/Вт.

Використання ламп розжарювання допускається для загального освітлення тільки для забезпечення архітектурно - художніх вимог і у вибухонебезпечних приміщеннях.

Вибір джерел світла за кольоровими характеристиками слід проводити на підставі додатка Ж [2].

З метою контролю за енергоспоживанням установлюються вимоги до максимально допустимої питомої установленної потужності загального штучного освітлення приміщень громадських будинків

розрядів А - В.

Питома встановлена потужність загального штучного освітлення не повинна перевищувати максимально допустимих величин, наведених у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Максимально допустима питома потужність

Освітленість на робочій поверх- ні, лк	Індекс приміщення	Максимально допустима пи- тома встановлена потужність, Вт/м ² , не більше
500	0,6	42
	0,8	39
	1,25	35
	2,0	31
	3 і більше	28
400	0,6	30
	0,8	28
	1,25	25
	2,0	22
	3 і більше	20
300	0,6	25
	0,8	23
	1,25	20
	2,0	18
	3 і більше	16
200	0,6- 1,25	18
	1,25-3,0	14
	Більше 3	12
150	0,6-1,25	15
	1,25-3,0	12
	Більше 3	10
100	0,6- 1,25	12
	1,25-3,0	10
	Більше 3	8

Норми освітленості, наведені в табл. 2.7, необхідно підвищувати на один ступінь шкали освітленості в наступних випадках:

а) при роботах А - В розрядів при спеціальних підвищених сані-

тарних вимогах (наприклад, в деяких приміщеннях громадського харчування і торгівлі);

б) за відсутності в приміщенні з постійним перебуванням людей природного світла;

в) при підвищених вимогах до насиченості приміщення світлом для зорових робіт розрядів Г - Е (зали для глядачів та концертні зали, фойє унікальних будинків тощо);

г) при застосуванні системи комбінованого освітлення адміністративних установ (кабінети, робочі кімнати, читальні зали бібліотек).

Норми освітленості, наведені в табл. 2.7, необхідно знижувати на один ступінь за шкалою освітленості в наступних випадках:

а) для розрядів Г - Е при використанні люмінесцентних ламп поліпшеної кольоропередачі (ЛЕЦ, ЛТБЦЦ, ЛТБЦТ, КЛТБИ) за умови збереження норми щодо коефіцієнта пульсації;

б) для всіх розрядів при застосуванні ламп розжарювання, у томі числі галогенних.

В установках декоративно-художнього освітлення приміщень громадських будинків з розрядами зорових робіт Г - Е допускається вибір рівня освітленості згідно з архітектурними вимогами, при цьому для забезпечення можливості вільного орієнтування в приміщенні найменша освітленість умовної горизонтальної поверхні повинна бути не менше 75 лк при розрядних лампах і 30 лк при лампах розжарювання.

У приміщеннях, де необхідно забезпечити циліндричну освітленість, середньозважений по поверхні коефіцієнт відбивання стін повинен бути не менше 40%, стелі - не менше 50%.

У приміщеннях громадських будинків, як правило, слід застосовувати систему загального освітлення. Допускається застосування системи комбінованого освітлення в приміщеннях адміністративних будинків, де виконується зорова робота А - В розрядів (кабінети, робочі кімнати, читальні зали бібліотек та архівів тощо). При цьому нормована освітленість на робочій поверхні підвищується згідно пунктів описаних вище, а освітленість від загального освітлення повинна складати не менше 70% значень за табл. 2.7.

На підприємствах побутового обслуговування, в супутніх приміщеннях виробничого характеру, в яких виконуються зорові роботи I-IV розрядів (ювелірні і гравірувальні роботи, ремонт годинників, телевізорів, радіоапаратури, мікрокалькуляторів, взуття, металовиробів тощо), необхідно застосовувати систему комбінованого освітлення. Нормована освітленість і якісні показники приймаються за табл. 2.6.

Показник дискомфорту, який нормується для обмеження осліплюючого впливу в освітлювальних установках за табл. 2.7, повинен забезпечуватись біля торцевої стіни на центральній осі приміщення на висоті 1,5 м від підлоги. Показник дискомфорту не обмежується для приміщень, довжина яких не перевищує подвійну висоту встановлення світильників над підлогою.

Коефіцієнт пульсації слід приймати за табл. 2.6.

Освітлення сходових кліток житлових будинків заввишки понад трьох поверхів повинно мати автоматичне або дистанційне керування, яке забезпечує відключення частини світильників або ламп уночі з таким розрахунком, щоб освітленість сходів була не нижче норм евакуаційного освітлення.

3.3 Зовнішнє архітектурне освітлення будинків і споруд

Зовнішнє архітектурне освітлення повинно забезпечувати у вечірній час добру видимість і виразність найбільш важливих об'єктів і підвищувати комфортність світлового середовища міста. Установки архітектурного освітлення не повинні осліплювати водіїв транспорту і пішоходів.

Яскравість фасадів будинків, споруд, монументів і елементів ландшафтної архітектури залежно від їх значущості, місця розташування та переважаючих умов їх зорового сприйняття в місті слід приймати за табл. 3.5.

При проектуванні установок архітектурного освітлення розрахункові коефіцієнти відбивання поверхні фасадів освітлюваних об'єктів приймаються за даними натурних вимірювань або за табл. 3.6.

Таблиця 3.5

Категорія міського простору	Місце розташування об'єкта освітлення	Освітлюваний об'єкт	V_{ϕ} , кд/м ²	V_e , кд/м ²	V , кд/м ²
А	Площі столичного центру, зони загально-міських домінант	Пам'ятки архітектури національного значення, великі громадські будинки, монументи і домінантні об'єкти	10	30	10
	Магістральні вулиці і площі загальноміського значення	Пам'ятки архітектури, історії і культури, будинки, споруди і монументи міського значення	8	25	8
	Парки, сади, бульвари, сквери і пішохідні вулиці загальноміського значення	Визначні будинки, споруди, пам'ятки і монументи, унікальні елементи ландшафту	5	15	5
Б	Площі окружних і районних громадських центрів	Пам'ятки і монументи, будинки і споруди окружного і районного значення	7	20	8
	Магістральні вулиці і площі окружного і районного значення	Те саме	5	15	5
	Парки, сади, сквери, бульвари і пішохідні вулиці окружного і районного значення	Те саме і характерні елементи ландшафту	3	10	3
В	Вулиці і площі, пішохідні дороги місцевого значення	Пам'ятки і монументи, визначні будинки і споруди	5	10	3
	Сади, сквери, бульвари місцевого значення	Те саме і характерні елементи ландшафту	3	8	3

Позначення, використані в таблиці: V_{ϕ} – заливаюче освітлення, середня яскравість фасаду; V_e – заливаюче і акцентоване освітлення, середня яскравість акцентованого світлом елемента; V – локальне освітлення, середня яскравість.

Примітка 1. Яскравість домінантних об'єктів, які оглядаються з відстані більше 300 м, допускається збільшувати до 50 %.

Примітка 2. При розташуванні об'єкта освітлення в оточенні простору, який не освітлюється, норму яскравості для середньої горизонтальної освітлюваності прибудинкових територій громадських будинків допускається зменшувати до 50 %.

Таблиця 3.6

Матеріали поверхні або колір фасаду	Середньозважений коефіцієнт відбивання матеріалу поверхні
Білий: атмосферостійкі фасадні фарби, гіпс, керамічна плитка, матовий алюміній, нержавіюча сталь тощо	0,7
Світлий: фарби, мармур, білий камінь (вапняк, доломіт, піщаник), бетон і декоративні штукатурки на білому цементі та світлих наповнювачах, керамічні плитки, силікатна цегла, латунь матова, травертин, черепашник тощо	0,6
Середньо-світлий: фарби, мармур, камінь (туф, піщаник, вапняк), бетон, кольорові штукатурки, керамічна цегла, блоки, плитка, дерево (дошки) тощо	0,5
Темний: фарби, мармур, граніт, глиняна цегла, декоративні штукатурки і керамічні плитки, потемніле дерево, мідь, листя дерев тощо	0,3
Чорний: фарби, камінь (габро, лабрадорит, діорит, базальт, граніт), чавун, платинована бронза, декоративні штукатурки, листя дерев тощо	0,15

При рівномірному заливаючому освітленні фасаду відношення максимальної освітленості до мінімальної повинно бути не більше 3:1, а на рельєфних та багатокольорових фасадах - до 5:1. При цьому максимальна освітленість повинна створюватись на основних композиційно-пластичних елементах.

При нерівномірному заливаючому освітленні фасаду відношення максимальної і мінімальної освітленості у межах освітлюваної зони приймається не менше 10:1 і не більше 3:1, при цьому максимальна освітленість створюється на акцентованому світлом елементі.

При проектуванні світлових архітектурних ансамблів за табл. 3.5 вибирається яскравість головного фасаду домінуючого об'єкта. Середня яскравість освітлюваних фасадів співпорядкованих об'єктів єдиного ансамблю повинна бути, як правило, знижена не менше як на два ступеня.

Об'ємні монументи, пам'ятники, малі архітектурні форми, що мають всебічний огляд, слід освітлювати з двох-трьох сторін з чітко вираженим основним спрямуванням світлового потоку, який визначає розрахункову площину, яка композиційно повинна бути зв'язана з головним спрямуванням сприйняття об'єкта.

В установках архітектурного освітлення слід використовувати розрядні джерела світла. При локальному підсвічуванні допустимо використання ламп розжарювання, переважно галогенних, а також джерел хроматичного випромінювання або кольорових світлофільтрів.

Для освітлення об'єктів, які мають "холодні" кольорові відтінки поверхонь, і зелених насаджень слід приймати розрядні джерела світла з кольоровою температурою більше 4000K. Для освітлення об'єктів, які пофарбовані в "теплі" кольори, приймаються джерела світла з кольоровою температурою до 3500K. При освітленні поліхромних об'єктів, особливо декоративно-образотворчих елементів на фасадах (мозаїчні і мальовничі панно та фризи, кахлі, кольорові рельєфи і скульптури, зграфіто тощо), слід приймати джерела білого світла із загальним індексом кольоропередачі R_a не менше 80. При художньо-декоративному освітленні об'єктів ландшафтної архітектури допускається використання джерел кольорового світла.

Прилади архітектурного освітлення повинні розташовуватися так, щоб їх вихідні отвори не потрапляли в поле центрального зору водіїв і пішоходів на головних напрямках руху або екранувалися світлозахисними пристроями.

Коефіцієнт запасу при проектуванні установок архітектурного освітлення повинен прийматися залежно від орієнтування світлового отвору освітлювального приладу, в якому використовується джерело світла: при розрядних лампах $K_z = 1,5$, якщо скло приладу орієнтовано вертикально або в нижню напівсферу (в межах кута

90°-270°) і $K_3 = 1,7$ при орієнтуванні скла у верхню напівсферу, при лампах розжарювання відповідно $K_3 = 1,3$ і $1,5$.

3.4 Рекламне освітлення

Рекомендована і найбільш допустима середня яскравість, а також максимально допустима яскравість окремих ділянок рекламних панелей і щитів залежно від їх площі і розташування відносно очей водіїв наведені в табл. 3.7. Максимальна яскравість визначається як габаритна для найбільш яскравих ділянок площею (0,2м × 0,2м) як в рекламних панелях, в яких джерела світла розташовані всередині в огорожі із світлорозсіюючих матеріалів, так і в рекламних щитах, які освітлюються зовні світловими приладами.

Таблиця 3.7

Розташування рекламної панелі або щита	S, м ²	h, м	Яскравість рекламної панелі або щита, кд/м ² , при категорії вулиці								
			А			Б			В		
			середня		макс	середня		макс	середня		макс
			рек.	нб. доп.	имальна	рек.	нб. доп.	имальна	рек.	нб. доп.	имальна
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Поперек осі вулиці: - поза проїзною частиною при площі S - об'єкта, м ² , та його висоті h, м, над проїзною частиною	S ≤ 2	< 2	75	150	1000	50	125	750	30	100	500
		≥ 3,5	100	250	1500	75	200	1000			
	2 < S ≤ 6	< 3,5	75	200	1000	50	125	750			
	6 < S ≤ 11		75	150	1000	50	85	750			
	S > 12		75	125	750	50	75	500			
	будь-яка	> 5	75	125	500	50	100	400			
Вздовж осі вулиці, а також на фасаді або покрівлі будинку при будь-якій орієнтації рекламного об'єкта	будь-яка	> 3	200	500	2500	150	400	2000	100	300	750

Позначення і скорочення: S – площа об'єкта; h – висота розташування об'єкта; рек. – рекомендована; нб. доп. – найбільша допустима.

Висота відраховується від рівня проїзної частини до нижньої кромки рекламного об'єкта.

Максимальна яскравість у найбільш яскравому місці об'єкта визначається як габаритна для ділянки площею (0,2м × 0,2м).

При розташуванні рекламних об'єктів на висоті менше 2 м відстань від бордюра до найближчої бокової кромки об'єкта повинна бути більше 2 м.

Рівні сумарного освітлення вікон житлових будинків і палат лікувальних закладів світловими приладами архітектурного, рекламного і зовнішнього освітлення не повинні перевищувати величину середньої вертикальної освітленості:

- 7 лк за норми середньої яскравості проїзної частини 0,4 кд/м²;
- 10 лк за норми 0,6 – 1,0 кд/м²;
- 20 лк за норми 1,2 – 1,6 кд/м².

3.5 Джерела штучного освітлення та їх загальні характеристики

Визначення і принцип дії. Штучним джерелом світла (ДС) або, більш строго, джерелом оптичного випромінювання (ОВ) називають пристрій, призначений для перетворення будь-якого виду енергії в ОВ (електромагнітне випромінювання з довжинами хвиль від $1 \cdot 10^{-9}$ м до $1 \cdot 10^{-3}$ м) (див. п. 1.1).

Оптичне випромінювання окремих атомів, іонів, молекул, а також рідких і твердих тіл виникає в результаті переходів їх валентних (зовнішніх) електронів із збуджених станів, в яке вони потрапляють в результаті поглинання енергії ззовні, в стани з меншою енергією. Частота електромагнітних хвиль ν , що випускаються при цьому, дорівнює:

$$\nu = \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{h}, \quad (3.1)$$

де ϵ_1 і ϵ_2 – відповідно енергії початкового (до випромінювання) і кінцевого станів; h – постійна Планка. Спектри випромінювання атомів і іонів у газі складаються з окремих спектральних ліній, спектри молекул – з густо розташованих ліній, що переходять в смуги,

а спектри рідин і твердих тіл носять безперервний характер.

За фізичною природою розрізняють два види ОВ: теплове і люмінесценцію.

Тепловим називають випромінювання, що виникає при нагріванні тіл. У твердих тіл воно має безперервний спектр, що залежить від температури тіла і його оптичних властивостей. Тепловими випромінювачами є всі джерела, світіння яких обумовлено нагріванням: електричні лампи розжарювання (ЛН⁴), прості вугільні дуги, всі полум'яні джерела світла.

Люмінесценцією називають спонтанне випромінювання, надлишкове над тепловим випромінюванням, якщо його тривалість значно перевищує період коливань електромагнітної хвилі відповідного випромінювання. Люмінесценція спостерігається в газоподібних, рідких і твердих тілах. Тверді або рідкі речовини, здатні випромінювати світло під дією різного роду збуджень, називають люмінофорами. Спектр люмінесценції може складатися з окремих ліній (випромінювання окремих атомів і іонів), смуг (випромінювання молекул) і безперервних ділянок (випромінювання твердих тіл і рідин). При люмінесценції можливо більш ефективне перетворення використовуваної енергії ніж при тепловому збудженні, оскільки люмінесценція в принципі не вимагає нагріву тіл. В джерелах світла використовуються наступні види люмінесценції:

Електролюмінесценція – ОВ атомів, іонів, молекул, рідких і твердих тіл під дією ударів електронів (іонів), що рухаються зі швидкостями, достатніми для збудження. Випромінювання розрядних ДС (газорозрядних ламп ГЛ) являє собою електролюмінесценцію газів. Різні види електролюмінесценції твердих тіл використовуються в електролюмінесцентних панелях та світловипромінювальних діодах. Світіння люмінофорів під дією пучка електронів достатньої швидкості називають катодолюмінесценцією (іонів – іонолюмінесценцією). Вона використовується в електронно-променевих трубках, кінескопах та інших приладах.

Фотолюмінесценція – ОВ, виникає в результаті поглинання ті-

⁴ Скорочення назв джерел світла склалися історично.

а спектри рідин і твердих тіл носять безперервний характер.

За фізичною природою розрізняють два види ОВ: теплове і люмінесценцію.

Тепловим називають випромінювання, що виникає при нагріванні тіл. У твердих тіл воно має безперервний спектр, що залежить від температури тіла і його оптичних властивостей. Тепловими випромінювачами є всі джерела, світіння яких обумовлено нагріванням: електричні лампи розжарювання (ЛН⁴), прості вугільні дуги, всі полум'яні джерела світла.

Люмінесценцією називають спонтанне випромінювання, надлишкове над тепловим випромінюванням, якщо його тривалість значно перевищує період коливань електромагнітної хвилі відповідного випромінювання. Люмінесценція спостерігається в газоподібних, рідких і твердих тілах. Тверді або рідкі речовини, здатні випромінювати світло під дією різного роду збуджень, називають люмінофорами. Спектр люмінесценції може складатися з окремих ліній (випромінювання окремих атомів і іонів), смуг (випромінювання молекул) і безперервних ділянок (випромінювання твердих тіл і рідин). При люмінесценції можливо більш ефективне перетворення використовуваної енергії ніж при тепловому збудженні, оскільки люмінесценція в принципі не вимагає нагріву тіл. В джерелах світла використовуються наступні види люмінесценції:

Електролюмінесценція – ОВ атомів, іонів, молекул, рідких і твердих тіл під дією ударів електронів (іонів), що рухаються зі швидкостями, достатніми для збудження. Випромінювання розрядних ДС (газорозрядних ламп ГЛ) являє собою електролюмінесценцію газів. Різні види електролюмінесценції твердих тіл використовуються в електролюмінесцентних панелях та світловипромінювальних діодах. Світіння люмінофорів під дією пучка електронів достатньої швидкості називають катодолюмінесценцією (іонів – іонолюмінесценцією). Вона використовується в електронно-променевих трубах, кінескопах та інших приладах.

Фотолюмінесценція – ОВ, виникає в результаті поглинання ті-

⁴ Скорочення назв джерел світла склалися історично.

лами ОВ. У парах і газах спостерігається безліч видів фотолюмінесценції, що визначаються енергією фотонів, що поглинаються і будовою поглинаючих атомів, іонів або молекул, наприклад резонансна флюоресценція парів і газів і багато інших видів, які відіграють велику роль у випромінюванні ГЛ. Фотолюмінесценція люмінофорів широко застосовується в люмінесцентних і деяких інших ГЛ

Радіолюмінесценція – ОВ деяких речовин (люмінофорів) під дією продуктів радіоактивного розпаду.

Параметри джерел світла (ламп). Випромінювання ламп характеризується потоком (світловим) Φ_e (Φ_v), силою випромінювання I_e (силою світла I_v), енергетичною (світловою) яскравістю B_e (B_v), її розподілом по поверхні світного тіла і напрямками, спектральною густиною перерахованих вище величин (спектром випромінювання). Колір випромінювання ламп додатково характеризується кольірними параметрами: координатами кольоровості x і y , кольірною температурою $T_{\text{кол}}$ та індексами передачі кольору, загальним R_a і спеціальними R_i ; колір випромінювання ламп ДРЛ оцінюється так званним «червоним відношенням»⁵ [2]. Електричний режим характеризується потужністю лампи $P_{\text{л}}$, робочою напругою на лампі $U_{\text{л}}$, напругою живлення $U_{\text{с}}$, струмом I і родом струму (постійний, змінний з частотою і т. д.). При розгляді електричного режиму ГЛ вводять такі поняття: втрати потужності в пускорегулюючому апараті (ПРА), коефіцієнти потужності лампи ($K_{\text{л}}$) і лампи із ПРА ($\cos \phi$),

⁵ **Червоне відношення** – відношення червоного світлового потоку до загального світлового потоку джерела світла, яке виражається у відсотках:

$$r_{\text{ч}} = \frac{\int_{\lambda=610}^{\lambda=780} \varphi(\lambda) v(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda=380}^{\lambda=780} \varphi(\lambda) v(\lambda) d\lambda} \cdot 100, \quad (3.2)$$

де $\varphi(\lambda)$ – спектральна щільність (густина) потоку (див п.1.2 I_{λ});

$v(\lambda)$ – відносна спектральна чутливість ока людини (див п.1.2 v_{λ}).

380 нм – 780 нм – довжини хвиль видимого випромінювання;

610 нм – 780 нм – довжини хвиль червоного випромінювання.

цілий ряд напруг, пов'язаних з запалюванням і згасання розряду, струми пускового режиму та ін.

До основних геометричних параметрів ламп відносяться габаритні і приєднувальні розміри, висота світлового центру, розміри випромінюючого тіла. До конструктивних – форма колби, її оптичні властивості (прозора, матована, дзеркальна і т.д.), форма і розташування тіла розжарення, конструкція ніжки або вводів, тип цоколя, форма і розміри розрядної колби, конструкція і розміри електродів, відстань між ними та інше.

При оцінці ефективності лампи найбільш важливі:

– світлова віддача лампи, лм/Вт

$$\eta = \frac{\Phi_v}{P_{\text{л}}} = v_{\text{max}}(\lambda) \cdot \frac{\int_{\lambda=380}^{\lambda=780} \Phi_e(\lambda) v(\lambda) d\lambda}{P_{\text{л}}} = 680 \cdot \frac{\int_{\lambda=380}^{\lambda=780} \Phi_e(\lambda) v(\lambda) d\lambda}{P_{\text{л}}}, \quad (3.3)$$

де максимальне значення відносної спектральної світлової ефективності випромінювання $v_{\text{max}}(\lambda) = 680$ лм/Вт – при $\lambda = 555$ нм;

– світловий КПД відповідно

$$\eta_{\text{се}} = \frac{\int_{\lambda=380}^{\lambda=780} \Phi_e(\lambda) v(\lambda) d\lambda}{P_{\text{л}}}. \quad (3.4)$$

Основними показниками довговічності є повний і корисний терміни служби. Під **повним терміном служби** розуміють тривалість горіння ламп від початку експлуатації або випробування до моменту повної або часткової втрати ними працездатності. Наприклад, у ЛН – через перегорання нитки, в ГЛ – через втрату здатності запалюватися і т.і. **Корисним терміном служби** називають тривалість горіння ламп від початку експлуатації або випробування до моменту відходу за встановлені межі одного з параметрів, що визначають доцільність використання ламп даного типу, наприклад через зниження потоку або яскравості нижче певної межі для освітлювальних і опромінюючих ламп або неможливості експлуатації спеціаль-

них ГЛ високої яскравості в світлооптичних приладах через нестабільність положення дуги і т. п. Важливим показником надійності є також імовірність безвідмовної роботи ламп протягом заданого часу, яка часто регламентується мінімальною тривалістю горіння.

Переважа більшість сучасних ДС належить до категорії електричних. За принципом дії їх можна розділити на дві великі групи, які разом виробляють близько 98-99% всього світлового потоку. Це лампи розжарювання (ЛН) і газорозрядні лампи (ГЛ).

Головним недоліком освітлювальних ЛН є низька світлова віддача в 10-20 лм/Вт при терміні служби 1000 год.; світлова віддача галогенних ЛН дещо вище – 26 лм/Вт при терміні служби 2000 год. Низька світлова віддача ЛН пояснюється тим, що 70-76% потужності випромінювання вольфрамового тіла розжарення при його робочих температурах лежить у близькій інфрачервоній області спектра, в той час як на видиму частину доводиться тільки від 7 до 13%, тобто ЛН є по суті ефективними джерелами інфрачервоного випромінювання. Спроби істотно підвищити світлову віддачу ЛН не дали практичних результатів, хоча принципові можливості в цьому напрямку не виключені.

У сучасних освітлювальних ГЛ світлова віддача в 5-10, а термін служби в 10-20 разів перевищують світлову віддачу і термін служби ЛН. Найбільш масовими з ГЛ є люмінесцентні лампи (ЛЛ). Також використовують високоефективні ГЛ – ртутні лампи високого тиску типу ДРЛ (дугова ртутна люмінесцентна), МГЛ (металогалогенна лампа), ДНаТ (дугова натрієва трубчаста), ксенонові та ін.

Ми не будемо докладно описувати принципи дії та властивості кожного виду джерел світла (даний матеріал за потреби можна знайти у довідниках, наприклад [3], або, відповідних нормах, а наведемо їх порівняння (переваги і недоліки) та сферу застосування (табл. 3.8).

Параметри ламп, особливо показники довговічності і безвідмовності, встановлюються і контролюються, як правило, на підставі статистичної обробки результатів випробувань вибірок із партії ламп даного типу. Отримані результати поширюються потім на всю партію або сукупність ламп даного типу, тому вони є величинами

імовірнісними. Параметри окремих зразків групуються поблизу встановленого таким шляхом значення з певним розкидом (дисперсією). Чим краще конструкція лампи, досконаліші технологія і обладнання, кращий і суворіший технічний контроль і технологічна дисципліна, тим вище параметри й однорідніша продукція (менше розкид). У нормативних документах регламентуються допустимий розкид або граничні значення параметрів.

Таблиця 3.8 – Характеристики джерел світла (ДС)

Переваги	Недоліки	Сфери раціонального застосування
----------	----------	----------------------------------

Лампи розжарювання (ЛН), в тому числі галогенні (ГЛН)

- Малі габаритні розміри; - Низька вартість ламп і освітлювальних приладів (ОП) з ними; - Простота експлуатації ОП з ЛН та ГЛН; - Стійка робота при різних, в т.ч. низьких, температурах; - Великий асортимент типів і потужностей (від 5 до 2000 Вт); - Наявність електробезпечних низьковольтних ГЛН; - Простота регулювання світлового потоку; - Екологічна безпека при утилізації	- Вкрай низька світлова віддача: – 5 – 15 лм/Вт для ЛН; – 10 – 22 лм/Вт для ГЛН - Малий термін служби: – 500 – 1000 год. для ЛН – 2000– 3000 год. для ГЛН - Висока яскравість світлого тіла; - «Гаряче» світло (надлишок інфрачервоного випромінювання в світловому потоці); - Задовільна передача кольору	- Локальне освітлення фрагментів фасадів; - Освітлення квітичків і чагарників; - Експозиційне освітлення; - Люмінаційні і контурне освітлення; - Підводне декоративне освітлення
--	--	--

Люмінесцентні лампи (ЛЛ), в тому числі компактні (КЛЛ)

- висока світлова віддача (до 100 лм/Вт) - високий термін служби (6000 – 15000 год); - високий Ra = 65 - 95; - широкий асортимент ЛЛ білого світла з різною кольоровою температурою і кольорових ЛЛ - «тепле» світло (мала доля ІЧ випромінювання в світловому потоці)	- відносно великі габарити ОП із стандартними ЛЛ при незначних потужностях; - Мала осьова сила світла дзеркальних ОП з ЛЛ та КЛЛ; - Нестійке запалювання і зниження світлового потоку при температурах нижче -20°C; - Наявність баласту (ПРА); - Екологічні проблеми при утилізації (ртуть)	- Інтер'єрне освітлення за наявності засклених фасадів (світні фасади); - Освітлення пішохідних зон; - Освітлення фасадів будинків і споруд та їх фрагментів; - Висвітлення елементів ландшафту
--	---	--

Ртутні лампи високого тиску (ДРЛ)

- Високий термін служби (12000 - 24000 год) - Стійке запалення і функціонування при негативних температурах (до -40°C)	- Низький індекс передачі кольору ($R_a \leq 57$); - Невисока світлова віддача (до 55 лм/Вт); - Відсутність ОП з концентрованою КСС внаслідок великих габаритів світної колби ДРЛ; - Непридатність для динамічних ефектів; - Наявність баласту (ПРА); - «Гаряче» світло (ІЧ випромінювання у світловому потоці)	- Освітлення зелених насаджень; - Освітлення пішохідних зон; - Освітлення автостоянок, дугорядних вулиць, комунально-господарських зон
---	---	--

Металогалогенні лампи (МГЛ)

- Висока світлова віддача (до 120 лм/Вт) і термін служби (6000 -20000 год.); - Високий індекс кольоро-во-передачі ($R_a = 65 - 95$); - Малі розміри пальника (світного тіла); - Наявність «холодного», нейтрального, тепло-білого та кольорового сві-тла.	- Нестійке запалювання при температурах нижче -30°C; - Наявність баласту і запалюючого пристрою; - Необхідність високої на-пруги (до 25 кВ) для мит-тевого перезапалювання; - «Гаряче» світло (ІЧ ви-промінювання у світлово-му потоці); - висока яскравість світно-го тіла	- Загальне зали-ваюче (рівномір-не і локалізова-не) освітлення фасадів об'єктів; - Локальне осві-тлення фрагмен-тів фасадів; - Ландшафтне освітлення; - Освітлення пі-шохідних та транспортних зон
---	--	---

Натрієві лампи високого тиску (НЛВД)

- Висока світлова віддача (до 150 лм/Вт) і термін служби (8000 - 25000 год); - Надійне запалювання при низьких температурах (до -50°C); - Універсальне положення горіння;	- Низький індекс передачі кольору ($R_a \leq 25$); - Низька колірна темпера-тура ($T_{\text{кол}} = 2000\text{K}$), жовте світло; - Наявність баласту і запалюючого пристрою; - Висока яскравість світно-го тіла; - Пульсація світлового по-току; - «Гаряче» світло (ІЧ ви-промінювання у світлово-му потоці);	- Освітлення транспортних магістралей, ву-лиць, площ, транспортних розв'язок, паркін-гів, тунелів і т.д.; - Заливаюче і ло-кальне освітлен-ня будівель, спо-руд та їх фрагме-нтів;
--	---	---

Світлодіоди (СД, LED)

- Малі габаритні розміри; - Висока світлова віддача (до 30 - 100 лм/Вт); - Мале енергоспоживання; - Електробезпеки напруга живлення (5 – 36 В); - Високий термін служби (до 100000 год.); - Наявність білих і кольорових СД; - Ударо-і віброміцність; - Робота в динамічному режимі; - «Холодне» і «безпечне» світло (немає ІЧ і УФ випромінювань в світловому потоці)	- Чутливість до температурних перегрівів; - Мала одинична потужність (0,2 - 5 Вт); - Більш висока вартість ОП з СД, ніж з іншими ДС; - Великі габарити ОП прожекторного типу;	- Світлоколірна графіка на фасадах і спорудах, в ілюмінаційному освітленні; - Заливаюче і локальне архітектурне освітлення об'єктів; - Освітлення пішохідних і транспортних вулиць; - Освітлення ландшафту; - Підводне освітлення.
--	--	--

Виготовлювачем проводяться, як правило, стендові випробування ламп, передбачені нормативно-технічною документацією в строго встановлюваних і контрольованих умовах. Експлуатаційні випробування проводяться з метою виявлення впливу окремих факторів та умов експлуатації, тобто механічних і кліматичних впливів, напруги мережі, частоти включень, умов охолодження, положення горіння і т. д. на параметри ламп і їх зміну в процесі горіння.

Нормативно-технічна документація (ГОСТ, галузеві ТУ, ТУ підприємства) встановлює типи ламп, на які поширюється документ, призначення та особливості застосування, умови включення, технічні вимоги (основні параметри та характеристики), вимоги безпеки, правила приймання, методи випробувань, вимоги до маркування, пакування, транспортування і зберігання, вказівки по експлуатації і гарантії виготовлювача.

Міжнародні стандарти, яким відповідають (і є аутентичними текстами) українські норми, розробляються міжнародною електротехнічною комісією (IEC).

хнічною комісією (МЕК; англ. International Electrotechnical Commission, IEC) – міжнародною організацією із стандартизації у сфері електричних, електронних і суміжних технологій. Деякі із стандартів МЕК розробляються спільно з Міжнародною організацією із стандартизації (ISO). МЕК була заснована в 1906 році і в 2012 році в її склад входили 82 країни. Членство в МЕК відкрито тільки для визнаних організацій національних стандартів. Україна в МЕК представлена Державним комітетом України з питань технічного регулювання та споживчої політики. МЕК розробляє міжнародні стандарти загальнотехнічного і міжгалузевого характеру, а також – міжнародні стандарти на конкретні види продукції (побутова радіоелектронна апаратура, трансформатори, вироби електронної техніки).

Стандарти, що регламентують роботу джерел світла належать до IEC 60598 *Luminaire*s стандартів МЕК, наприклад:

- ДСТУ IEC 60598-1-2002 Світильники. Частина 1. Загальні вимоги й випробування (IEC 60598-1:1999);
- ДСТУ IEC 60598-2-1-2002 Світильники. Частина 2. Окремі вимоги. Розділ 1. Світильники стаціонарні загального призначення;
- ДСТУ IEC 60598-2-2:2007 Світильники. Частина 2-2. Додаткові вимоги. Світильники вмонтовані;
- ДСТУ IEC 60598-2-5-2002 Світильники. Частина 2-5. Окремі вимоги. Розділ 5. Прожектори заливного світла;
- ДСТУ IEC 60598-2-6:2007 Світильники. Частина 2-6. Додаткові вимоги. Світильники з вбудованими трансформаторами або перетворювачами для ламп розжарювання;
- ДСТУ IEC 60598-2-7:2007 Світильники. Частина 2-7. Додаткові вимоги. Світильники переносні садові;
- ДСТУ IEC 60598-2-8:2007 Світильники. Частина 2-8. Додаткові вимоги. Світильники ручні;
- ДСТУ IEC 60598-2-22:2009 Світильники. Частина 2-22. Окремі вимоги. Розділ 22. Світильники аварійного освітлювання.

3.6 Світлові прилади. Класифікація

Світловим приладом (СП) називають пристрій, що складається з джерела світла (ДС) та світлотехнічної арматури, яка перерозподіляє світло ДС в просторі або перетворює його властивості (змінює спектральний склад випромінювання або його поляризацію). Поряд з цим СП виконує функції захисту ДС від впливу навколишнього середовища, механічних ушкоджень, забезпечує кріплення СП і підключення до джерела живлення.

Класифікація СП здійснюється за головними і додатковими ознаками. До головних ознак належать: основна світлотехнічна функція, характер світлорозподілу, умови експлуатації та основне призначення.

За основною світлотехнічною функцією СП діляться на прилади для освітлення:

- освітлювальні прилади (ОП);
- світлосигнальні прилади (ССП) – прилади для світлової сигналізації;

(СП можуть поєднувати обидві ці функції);

за характером світлорозподілу усі СП принципово підрозділяються на

- світильники,
- прожектори і проєктори;

за умовами експлуатації:

- світлові прилади для приміщень;
- світлові прилади для відкритих просторів
- світлові прилади для екстремальних середовищ.

Світильник⁶ – це СП, що перерозподіляє світло лампи (ламп) всередині малих кутових кутів (до 4π) і забезпечує кутову концентрацію світлового потоку з коефіцієнтом підсилення не більше 30 для круглосиметричних і не більше 15 – для симетричних прила-

⁶ **Світильник** (згідно з міжнародним "Керівництвом зі світлотехніки") – прилад для розподілу, фільтрації і перетворення світла від лампи або ламп, що включають необхідні компоненти для їхнього захисту, кріплення і постачання електроенергією.

дів. Світильники призначені, як правило, для освітлення відносно близько розташованих об'єктів (що знаходяться на відстанях, зазвичай менших ніж 20-кратні максимальні розміри світильників) або для сигналізації на невеликих відстанях.

У світильниках можуть встановлюватися дві або більше ламп (в багатолампових люстрах, наприклад, число ламп може обчислюватися сотнями і навіть тисячами). Світлотехнічна арматура для газорозрядних ламп включає зазвичай апаратуру для запалювання та стабілізації роботи ламп. Світильники для освітлення (на відміну від сигнальних світильників), як правило, скорочено називають світильниками.

Прожектор – СП, що перерозподіляє світло лампи усередині малих тілесних кутів і забезпечує кутову концентрацію світлового потоку з коефіцієнтом підсилення понад 30 для круглосиметричних і більше 15 для симетричних приладів. Прожектори служать для освітлення віддалених об'єктів, які знаходяться на відстанях, що в десятки, сотні і навіть тисячі разів перевищують розмір прожектора, або для передачі світлових сигналів на великі дистанції. У групі прожекторів необхідно виділити прожектори загального призначення, пошукові прожектори, маяки, світлофори та фари.

Прожектори загального призначення призначені для тривалого освітлення робочих поверхонь і використовуються для освітлення відкритих просторів, фасадів будівель, архітектурних пам'яток та ін.; поширеним для цієї групи є назва **прожектори заливаючого світла**. Пошукові прожектори є прожекторами дальньої дії, призначеними для короткочасного освітлення сильно віддалених об'єктів з метою їх виявлення; вони можуть використовуватися в якості зенітних, морських та інших прожекторів. Світлові маяки (аеродромні, морські, річкові, навігаційні та ін.) здійснюють світлову сигналізацію про розташування маяка. Світлофори використовуються для передачі світлових сигналів, що регулюють рух транспорту і людей. **Фари** – СП прожекторного типу, що встановлюються на транспортних засобах для освітлення дороги.

Проектор – СП, що перерозподіляє світло лампи з концентрацією світлового потоку на поверхні малого розміру або в малому

об'ємі.

Додатковими ознаками класифікації СП є:

тип лампи:

- лампа розжарювання;
- розрядна лампа;
- лампи змішаного світла;
- радіоізотопні і електролюмінісцентні джерела світла;
- електрична дугова вугільна лампа;
- світлодіоди;

конкретна світлотехнічна функція (табл. 3.9)

Таблиця 3.9 – Класифікація освітлювальних приладів
в залежності від конкретної світлотехнічної функції

Світильники	Прожектори
Загального освітлення	Заливаючого освітлення
Місцевого освітлення	Акцентуючого освітлення
Комбінованого освітлення	Для пошуку і виявлення об'єктів
Декоративного освітлення	Для освітлення напрямку руху
Освітлення для орієнтації	транспортних засобів
Експозиційного освітлення	

форма фотометричного тіла:

- симетричні світлові прилади;
- круглосиметричні світлові прилади;
- не симетричні світлові прилади;

клас світлорозподілу; тип КСС; можливість переміщення при експлуатації (стаціонарні, переносні, пересувні); спосіб установки СП; клас захисту від ураження електричним струмом; ступінь захисту від пилу і води; спосіб живлення лампи (мережеві, з індивідуальним джерелом живлення, комбінованого живлення); можливість зміни положення оптичної системи (рухомі, нерухомі); можливість зміни світлотехнічних характеристик (регульовані, нерегульовані); спосіб охолодження (з природним охолодженням, з примусовим охолодженням).

3.7 Світлотехнічні характеристики світлових приладів

Світлорозподіл СП – найважливіша світлотехнічна характеристика СП, що визначає розподіл його світлового потоку в оточуючому просторі. Прожектори і світильники, які використовуються на відносно великих відстанях від освітлюваних об'єктів, у багато разів перевищують розміри самих приладів, характеризуються розподілом сили світла – просторовою густиною світлового потоку. Світильники ж місцевого освітлення, що встановлюються на відносно невеликих відстанях від освітлюваної поверхні, сумірних з розмірами цих приладів, характеризуються розподілом освітленості – густиною світлового потоку по поверхні.

Світлорозподіл прожекторів і світильників загального освітлення обумовлюється формою фотометричного тіла СП і описується **кривими сили світла КСС** (див. п. 1.1). Пригадаємо, під **фотометричним тілом** СП розуміють геометричне місце кінців радіусів-векторів, що виходять з світлового центра приладу, довжина яких пропорційна силі світла приладу у відповідному напрямку, а кривою сили світла називають криву залежності сили світла СП від меридіональних і екваторіальних кутів, що одержується перерізом фотометричного тіла СП площиною.

Залежно від форми фотометричного тіла СП поділяються на симетричні (рис. 3.1, а), фотометричне тіло яких має вісь або площину симетрії, і несиметричні (рис. 3.1, б), що відрізняються відсутністю симетрії фотометричного тіла. До першої групи СП відносяться круглосиметричні прожектори і світильники, фотометричне тіло яких має вісь симетрії, що концентрують світловий потік в конусі (рис. 3.2, а), а також світильники, які направляють світловий потік достатньо рівномірно в межах всього навколишнього простору (рис. 3.2, в, г). До симетричних приладів відносяться, наприклад, світильники з лінійними лампами (ЛЛ, ксеноновими, ГЛН та ін), які мають дві площини симетрії і прожектори з лінійними лампами, що концентрують світловий потік в віяла, а також світильники, що мають одну площину симетрії (рис. 3.2, б, д, ж).

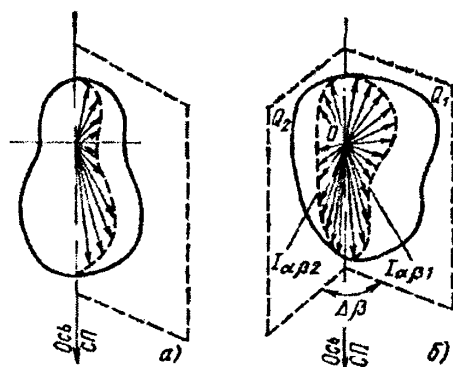
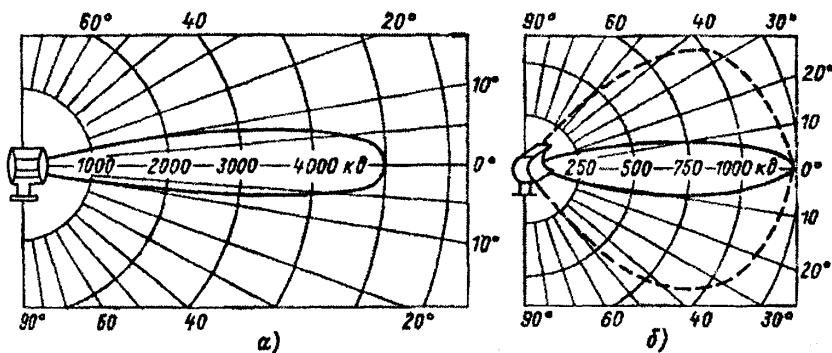


Рисунок 3.1 – Симетричні (а) та несиметричні фотометричні тіла світлових приладів

Для характеристики світлорозподілу СП, особливо світильників, що мають КСС з чітко вираженим максимумом, часто застосовують термін **коефіцієнт посилення** $K_{\text{на}}$, що характеризує посилення світильником сили світла лампи в даному напрямку. При цьому для круглосиметричних приладів $K_{\text{на}}$ визначається відношенням сили світла СП в даному напрямку до середньосферичної сили світла $I_{\text{л}}$ круглосиметричної лампи:

$$K_{\text{на}} = I_{\alpha} / I_{\text{л}} = I_{\alpha} \cdot 4\pi / \Phi_{\text{л}}. \quad (3.5)$$



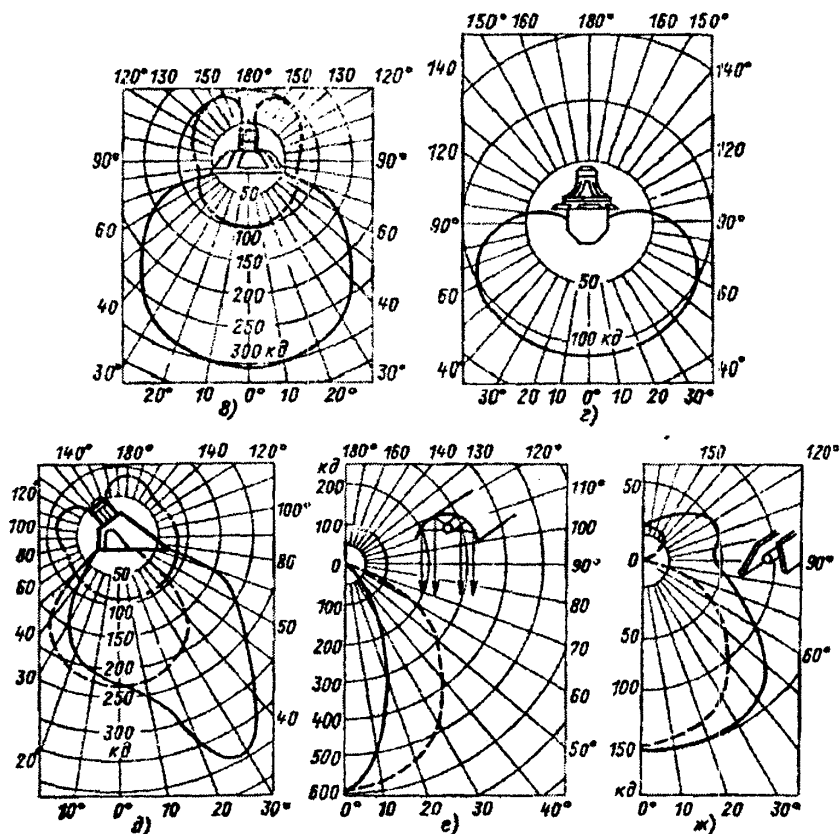


Рисунок 3.2 – Криві сили світла: а – круглосиметричних прожекторів; б – симетричних прожекторів з двома площинами симетрії з вیاєвим пучком; в – круглосиметричних світильників; г – круглосиметричних світильників, що рівномірно розсіюють світловий пучок в нижній напівсфері; д – світильників з однією площиною симетрії; е, ж – симетричних світильників з двома площинами симетрії; суцільна лінія – в головній поперечній площині (б, е, ж) і меридіональній площині рисунку (д), пунктирна – в головній повздовжній площині і меридіональній площині, перпендикулярній площині рисунку

Для симетричних СП з лінійними лампами коефіцієнт посилення визначається відношенням сили світла світильника в даному напрямку до сили світла лампи (ламп) в цьому ж напрямку:

$$K_{\alpha} = I_{\alpha} / I_{\text{л}\alpha} \quad (3.6)$$

Як правило, під коефіцієнтами посилення розуміють максимальні їх значення для СП, тобто

$$K_{\text{max}} = I_{\text{max}} / I_{\text{лmax}} \quad (3.7)$$

– для СП з двома площинами симетрії;

$$K_{\text{max}} = I_{\text{max}} \cdot 4\pi / \Phi_{\text{л}} \quad (3.8)$$

– для симетричних СП.

Для того щоб мати можливість порівнювати КСС СП, які мають різні кількість, потужність і кольоровість ламп, ці криві будують зазвичай для умовної лампи зі світловим потоком, рівним 1000 лм (для багатолампових приладів 1000 лм – сумарний потік n ламп). Значення сили світла СП з відомими лампами, що працюють в умовах даного приладу, отримують множенням значень сили світла, знайдених з КСС, на фактичний світловий потік встановлених в СП ламп.

Для опису світлорозподілу будь-якого круглосиметричного СП достатньо однієї меридіональної КСС, а для симетричних СП необхідно сімейство меридіональних КСС для різних меридіональних площин, число яких вибирається виходячи з форми фотометричного тіла. Для СП з двома площинами симетрії (насамперед для світильників і прожекторів з лінійними лампами) зазвичай обмежуються КСС тільки в двох головних площинах – поздовжньої і поперечної (рис. 3.2). Для великого числа випадків застосування СП необхідно знати їх КСС не тільки в нижній, але і у верхній півсфері простору.

Різноманіття КСС симетричних СП охоплюється світлотехнічної класифікацією цієї самої великої групи СП. В основу класифікації покладено дві незалежних ознаки світлорозподілу світильників: співвідношення світлових потоків, що направляються в різні півсфери, і форма КСС.

Таблиця 3.10 – Класи світильників за світлорозподілом

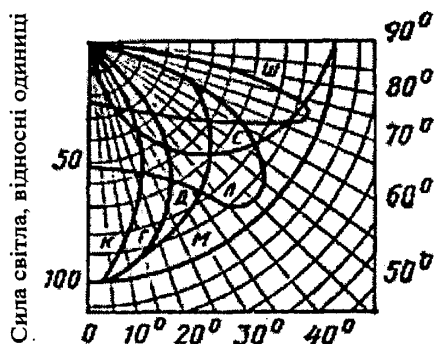
Клас світильника за світлорозподілом		Доля світлового потоку, що направляється в нижню півсферу, від загального світлового потоку світильника, $\Phi_{\text{Н}}/\Phi_{\text{ПОВ}}$, %
Позначення	Найменування	
П (I)	Прямого світла	Понад 80
Н (II)	Переважно прямого світла	від 60 до 80 включно
Р (III)	Розсіяного світла	від 40 до 60 включно
В (IV)	Переважно розсіяного світла	від 20 до 40 включно
О (V)	Відбитого світла	менше 20

За світлорозподілом СП в залежності від співвідношення світлового потоку $\Phi_{\text{Н}}$, що направляється в нижню півсферу, і повного світлового потоку світильника $\Phi_{\text{ПОВ}}$ підрозділяються на п'ять класів, зазначених в табл. 3.10. Криві сили світла СП зазначених класів (в будь-яких меридіональних площинах у верхній і нижній півсферах) в залежності від форми КСС поділяють на сім типів у відповідності до табл. 3.11 та рис. 3.3 та 3.4 а, б. Характеристика форми кривої в табл. 3.11 є незалежною характеристикою світлорозподілу, а не підкласом відповідного класу з табл. 3.10.

Під коефіцієнтом форми K_{Φ} розуміється відношення максимальної сили світла I_{max} в меридіональній площині до умовного середньоарифметичного значення сили світла I_{cp} , визначеному для тій же площини за формулою

$$I_{\text{cp}} = \frac{1}{9} \sum_5^{85} I_{\alpha} \quad \text{або} \quad I_{\text{cp}} = \frac{1}{9} \sum_{175}^{95} I_{\alpha}. \quad (3.9)$$

Значення сили світла I_α знаходиться для кутів 5, 15, 25, ..., 85° для нижньої півсфери і 175, 165, 155, ..., 95° для верхньої. Під I_0 та $I_{\min}$ розуміються відповідно значення сили світла по осі світильника



ка під кутом $\alpha = 0$ і мінімальне значення сили світла.

Відповідно до класифікації кожному СП присвоюється світлотехнічне найменування, яке утворюється з найменувань його класу по світлорозподілу і типу КСС. При цьому в найменуванні СП, як правило, вказується, для якої півсфери або меридіональної площини властива дана типова КСС. У найменуванні

не вказується, для якої півсфери властива типова крива, якщо ос-

Таблиця 3.11 – Типи кривих сили світла

Тип кривої сили світла		Зона напрямків максимальної си- ли світла	Коефіцієнт форми КСС
Позначення	Найменування		
К (а)	Концентрована	0°-15°	$K_\Phi \geq 3$
Г (б)	Глибока	0°-30°; 180°-150°	$2 \leq K_\Phi < 3$
Д (с)	Косинусна	0°-35°; 180°-145°	$1,3 \leq K_\Phi < 2$
Л (д)	Напвширока	35°-55°; 145°-125°	$1,3 \leq K_\Phi$
Ш (е)	Широка	55°-85°; 125°-95°	$1,3 \leq K_\Phi$
М (ф)	Рівномірна	0°-180°	$K_\Phi \leq 1,3$ при цьому $I_{\min} > 0,4 I_{\max}$
С (г)	Синусна	70°-90°; 110°-90°	$1,3 < K_\Phi$ при цьому $I_0 < 0,7 I_{\max}$

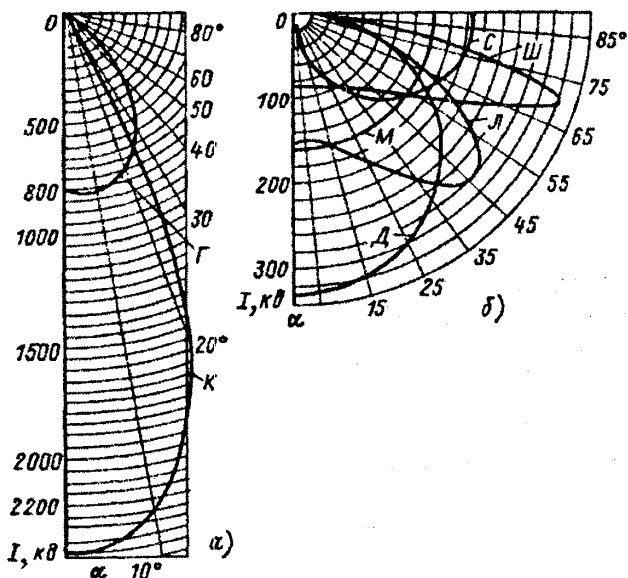


Рисунок 3.4 – Типи КСС ($\Phi_{\text{пов}} = 1000 \text{ лм}$),
а – К і Г; б – Д, Л, М, С і Ш.

новною світлотехнічною характеристикою СП є його КСС в нижній півсфері. У найменуванні СП з лінійними лампами може наводитися тільки назва типової кривої в поперечній площині без вказівки на це в тому випадку, якщо КСС в поздовжній площині є косинусною. Для СП з круглосиметричним світлорозподілом в найменуванні не вказується меридіональна площина, для якої дана КСС.

Наближено КСС можна описати математичними виразами:

$$\text{К і Г:} \quad I_{\alpha} = I_0 \cos n \alpha,$$

$$\text{Д:} \quad I_{\alpha} = I_0 \cos \alpha,$$

$$\text{Л і Ш:} \quad I_{\alpha} = I_0 \left[\frac{\cos \alpha}{\cos(\theta \sin^m C \alpha)} \right],$$

$$\text{М:} \quad I_{\alpha} = I_0,$$

$$\text{С:} \quad I_{\alpha} = I_0 \sin \alpha,$$

параметри формул наведено в табл. 3.12

Таблиця 3.12 – Значення параметрів наближених формул КСС

Параметр	Тип КСС			
	К	Г	Л	Ш
I_0 , кд	2400	800	155	90
n	2,91	1,65	—	—
θ , град	—	—	70	85
m	—	—	1,2	1,5
C	—	—	1,7	1,2

На рис. 3.5 наведені деталізована класифікація типових КСС світильників і поля допусків на значення сили світла $+20\%$ – -10% . Використання 13 типових КСС, що описують практично всі КСС симетричних СП, які лиш можна зустріти, дозволяє розрахувати допоміжні матеріали для проектування освітлювальних установок.

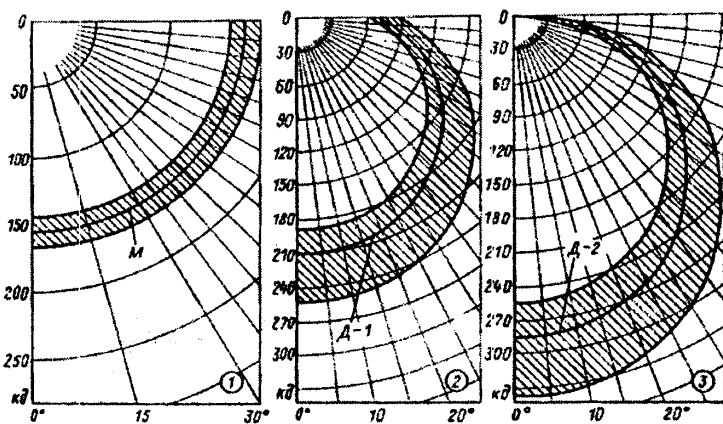
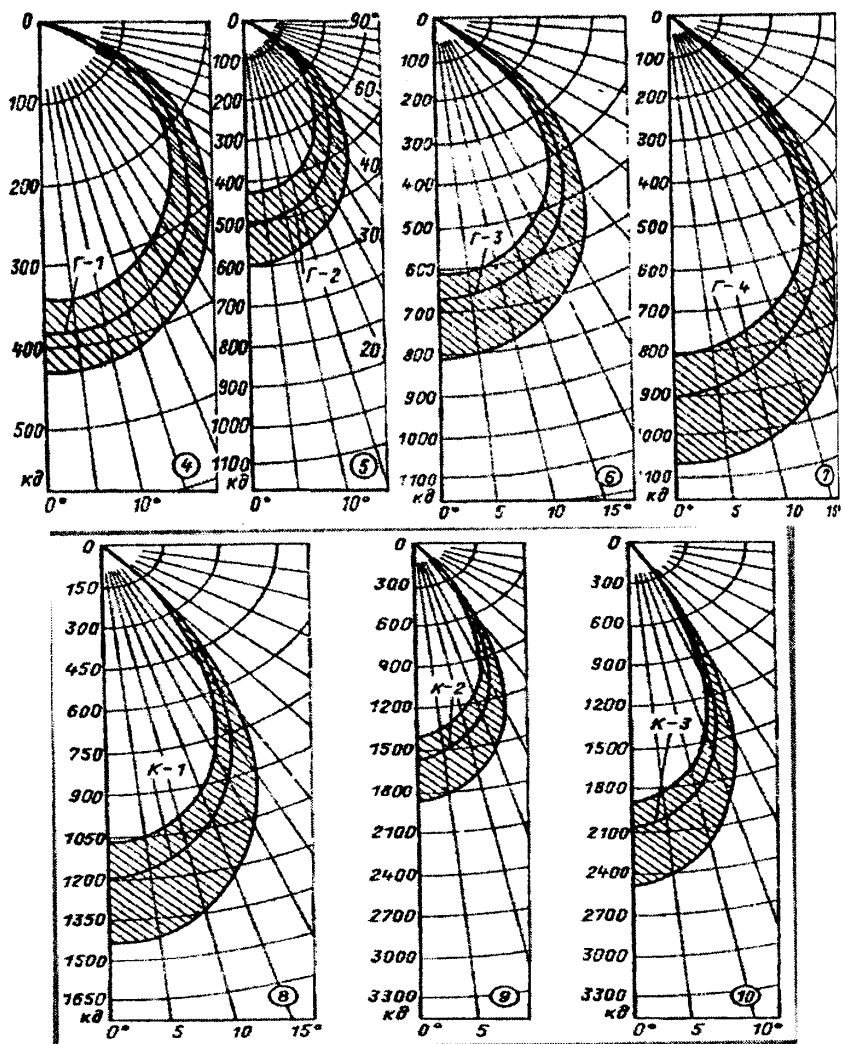


Рисунок 3.5 – Деталізовані типові КСС світильників та поля допусків на значення сили світла ($\Phi_{\text{пов}} = 1000$ лм), початок



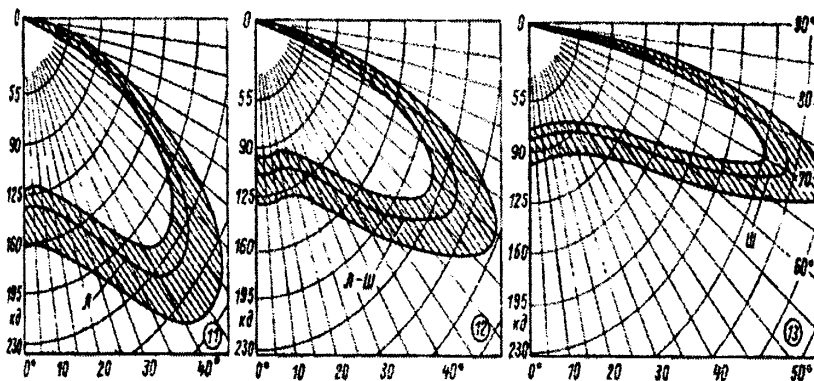


Рисунок 3.5 – Деталізовані типові КСС світильників та поля допусків на значення сили світла ($\Phi_{\text{пов}} = 1000 \text{ лм}$), кінець

Контрольні запитання

1. Що характеризує "коефіцієнт пульсації"?
2. На які типи поділяють штучне освітлення?
3. Який параметр характеризує ефективність лампи?
4. Що розуміють під "повним терміном служби" та "корисним терміном служби" лампи?
5. Поясніть, які переваги і недоліки мають різні типи джерел світла та сфери їх оптимального використання.
6. В чому відмінність між світильниками і прожекторами?
7. Перерахуйте відомі Вам типи кривих сил світла.

Розділ 4. ІНСОЛЯЦІЇ ТА СОНЦЕЗАХИСТ

4.1 Основні поняття

Інсоляція (лат. *insolatio*, від *insolo* – виставляю на сонці) - сумарне сонячне опромінення поверхонь і просторів - найважливіший фактор формування клімату.

Вплив інсоляції на людину і навколишнє середовище двобічне: воно доброякісне і економічно вигідне, тому необхідно забезпечити доступ сонячного світла в міські простори та інтер'єри будівель в будь яких географічних районах; воно ж викликає перегрівання, світловий дискомфорт, УФ-переопромінення і перевитрата електроенергії на регулювання мікроклімату в будівлях, що зумовлює необхідність захисту від нього і його раціонального використання.

Діалектична єдність позитивних і негативних ефектів, викликана інсоляцією в гігієнічному, психологічному, естетичному і технічно-економічному аспектах, представлена в таблиці 4.1.

У своїй монографії, присвяченій інсоляції в будівництві, Л.Л.Дашкевич наводить результати досліджень розсіяної сонячної радіації, яка в біологічному аспекті відіграє не меншу, якщо не більшу роль, ніж пряма радіація, оскільки завдяки їй досягається освітлення тих місць, куди безпосередньо не надходять прямі сонячні промені. Крім того, в природних умовах сонячна радіація ніколи не буває тільки пряма.

Комфортні відчуття і естетичний вплив світлоколірного середовища (позитивні емоції) можливі тільки за умови виключення таких гнітючих людину чинників, як фізіологічно і психологічно недостатні рівні освітленості, УФ- та ІЧ-опромінення або, навпаки, надмірні рівні яскравості поля адаптації та УФ- та ІЧ-переопромінення.

Ці якості світлової сфери залежать від інсоляції, ідея нормування якої в будівництві виникла в кінці XIX, коли ще не було уявлень про зв'язок цього нормування з біологічною дією сонця. На цей зв'язок вперше вказав Ф.Зрісман. Конкретнішу пропозицію по містобудівним нормам інсоляції в СРСР вперше були внесені вченими в 40-х р. (В.К. Белікова, Н.М. Данциг).

Таблиця 4.1 – Цілісність позитивних і негативних впливів інсоляції в архітектурі

Аспект впливу інсоляції	Позитивні ефекти	Негативні ефекти
Біологічний	Загальнолікувальний ефект (засмага, накопичування вітаміну D, обігрівання), поліпшення функцій зору при підвищеній освітленості і контрастності освітлення	Фотохімічна токсичність відпрацьованих газів в містах, переопромінення, перегрів (загальний і місцевий) і світловий дискомфорт, руйнівальна дія на живу клітину
Психологічний	"Сонячність" освітлення, динаміка розподілу яскравості і кольору в полі зору, зв'язок із зовнішнім простором	Зниження активності і настрою при світловому дискомфорті і перегріві
Естетичний	Вплив простору, форми, пластики, силуету і кольорових співвідношень, ритму елементів архітектури і "малювничості" композиційних рішень	Зниження сприйняття форми і відчуття насиченості кольору при надмірній яскравості, вицвітання поверхні
Економічний	Природне джерело додаткового обігріву приміщень, скорочення площі світлопроектів, підвищення рівня праці і працездатності	Підвищення витрат на вентиляцію і кондиціювання повітря, зниження продуктивності праці і працездатності при тепловому і світловому дискомфорті

Критеріями для встановлення цих норм служили два фактори - психоемоційний і біологічний впливи інсоляції.

В екстремальних кліматичних умовах доцільно висувати один з факторів на перше місце. Наприклад, на крайній півночі основне значення має позитивний психоемоційний ефект, який визначається тривалістю інсоляції, а в Середній Азії - негативний фізіологічний ефект теплового і світлового дискомфорту.

У Данії була проведена оцінка умов інсоляції в житлових будинках шляхом анкетного опитування 1000 мешканців. Було встановлено, що питання інсоляції цікавить мешканців нерідко більшою

мірою, ніж планування квартир або опалення. Більше 70% опитаних вибрали інсоляцію. Для загальної кімнати в половині випадків бажаної виявилася обідня інсоляція. У спальні більшість воліють мати інсоляцію вранці. Тривалість інсоляції менше 1 год оцінювалася як "погана", від 1,5 до 3 год – як "задовільна", а більше 3 год – як "надмірна".

Психологи Швеції та Голландії встановили, що люди далеко не завжди хочуть перебувати в інсольованих кімнатах, але їм необхідно бути впевненими, що сонце може проникати в одну з кімнат квартири.

В Англії Німан і Гобкінсон розробили шкалу психологічних функцій інсоляції в приміщенні.

Англійці прийшли до висновку про важливу роль сонця як фактора зв'язку із зовнішнім середовищем, яке не можуть замінити штучні засоби, і як фактора, що забезпечує благополучні ефекти – виразність інтер'єру, обігрів і терапевтичну дію.

Для обліку інсоляції при проектуванні в останні роки в деяких великих проектних організаціях почали застосовувати методи розрахунку інсоляції забудови за допомогою ЕВМ, однак при композиційних пошуках для архітектора більш зручні графічні можливості інсоляційного аналізу забудови та відеомакетоскопії. У цьому відношенні значними перевагами володіє метод моделювання.

На відміну від аналітичних методів, моделювання дозволяє знаходити оптимальні рішення практично без обмеження числа варіантів планування, забезпечуючи в той же час просторові і об'ємне представлення про умови інсоляції і сонячного захисту.

Практика показує, що найбільше число помилок в області сонячного захисту виникає внаслідок того, що це завдання вирішується проектувальниками односторонньо, тобто сонцезахисні засоби (СЗС) застосовуються в основному як засіб формальної виразності будівлі, без урахування його орієнтації по сторонах горизонту, природного оточення і кліматичних умов.

Багато будинків проектується без урахування інсоляції. Значною мірою це пояснюється негативним ставленням до сонцезахисту як фактору, що підвищує вартість будівництва.

Спостерігається все більше випадків, коли доводиться звертатися до сонцезахисту вже побудованих будівель, що призводить до великої конструктивної складності і значних грошових витрат.

Однією з найбільш поширених помилок в сонцезахисті є застосування масивних і теплоємних затінюючих екранів, монолітно зв'язаних з основною огорожувальною конструкцією. Такі екрани акумулюють сонячне тепло і шляхом теплообміну зі склом і стіною передають його в приміщення. Неприпустимо, коли такий типово південний елемент архітектури все більш часто зустрічається в центральних і східних містах на фасадах будь якої орієнтації, аж до північної. Нерідкі випадки застосування в будівлях систем кондиціонування повітря при відсутності сонцезахисту.

Іншу помилку допускають при застосуванні сонцезахисних виробів зі скла, пластмас і плівок, коли весь світлопройом заповнюється цими виробами. У таких випадках обмежується зв'язок із зовнішнім простором, а яскравість заповнення при інсоляції нерідко перевищує допустиму. Крім того, такі матеріали не пропускають благотворний спектр сонячної радіації ($\lambda < 400$ нм), значно знижують освітленість при похмурому небі і перешкоджають аерації приміщення.

Найменше приділяється уваги сонцезахисту міських територій та спеціальних майданчиків для відпочинку, спорту та лікуванню сонцем в санаторіях і на курортах.

В історичних архівах краєзнавчого музею в м. Чарджоу знайдені матеріали XI в. про сезон сонцезахисту цілих торгових площ, що встановлюється між будівлями і виконується з легких місцевих матеріалів. Схожі конструкції використовували в давнину американські індіанці.

Дослідження показують, що застосування СЗС раціонально не тільки в гігієнічному, функціональному, естетичному, а й в економічних відношеннях.

Одноточасні витрати на ці заходи окуповуються за рахунок зниження собівартості вентиляції і штучного охолодження повітря, підвищення продуктивності праці і зниження браку продукції.

Аналіз розподілу витрат по робочих кошторисах втілених круп-

них об'єктів дозволяє зробити висновок, що витрати на сонцезахисні пристрої займають відносно невелику частку в загальній вартості будівельних робіт (1,5-2,5%).

Для навколишнього середовища людини, тварини та рослини (природного і штучного – архітектури) найбільше значення має оптична область сонячного спектра, в якій, у свою чергу, найбільшої біологічної ефективності має ультрафіолетова частина, що підрозділяється на спектри А, В і С.

Область А + В володіє найбільшою оздоровчою ефективністю (засмага, накопичення вітаміну D в організмах і хлорофілу в рослинах), область С – найбільшою бактерицидною ефективністю (інактивація шкідливих бактерій в повітрі і на поверхнях предметів), хоча увесь УФ-спектр і частина видимого також володіють ефективністю.

Видима область (світло) – основа переважної кількості всієї інформації, яка сприймається людиною (більше 80%). Тому психологічне значення сонячного світла не менш велике. Основний фактор зв'язку людини, що знаходиться в приміщенні, з природою – сонячне світло.

Теплова область вважається джерелом підтримки нормального для життя температурного середовища обігріву приміщень.

Гігієнічний фактор – кількість ефективної сонячної радіації, що надходить в будову і приміщення і забезпечує загальнооздоровчий мінімум.

Соціолого-архітектурний фактор – астрономічно можлива тривалість інсоляції приміщень протягом доби в рівнодення, що забезпечує психоемоційний мінімум видимості сонячних променів як фактора зв'язку людини з зовнішнім середовищем та виразності архітектурних просторів і форм в межах від 1 до 3 год.

Економічний фактор – щільність забудови, що забезпечує нормативні показники житлового фонду, економію міської території, застосування житлових будинків меридіонального типу. Такий підхід до побудови багатокритеріальної системи оцінки інсоляції визначає основні вимоги, яким повинні відповідати будівельні норми інсоляції.

1. Відповідність сучасним біофізичними уявленням про загальнооздоровчу і бактерицидну дію сонця на людину і середовище.

2. Забезпечення більшої свободи у виборі композиційних рішень в масовій забудові і більшої маневреності типових будинків (особливо меридіонального типу з широким корпусом), врахування світового клімату в залежності від ресурсів сонячної радіації та географічної широти, упорядкування розривів між будівлями (особливо в північних і південних районах) з урахуванням вимог до природного освітлення приміщень.

3. Необхідність стандартизованого методу розрахунку нормативної тривалості інсоляції, заснованого на звичних і зручних для проектувальників і санітарних лікарів графічних операціях.

При нормуванні, розрахунках і проектуванні інсоляції повинні бути враховані вимоги до світлоколірного середовища в залежності від призначення будівель, приміщень і територій забудови.

4.2 Нормування інсоляції забудови

Норми поширюються на проектування нової та реконструйованої забудови міст, селищ і сільських населених пунктів. Вимоги до інсоляції не поширюються на проектування забудови промислових зон і виробничих зон сільськогосподарських підприємств.

Приміщення житлових і громадських будівель і ділянки територій внутрішньоквартальних просторів поділяються за вимогами інсоляції на групи, вказані в табл. 4.2.

Норми інсоляції прописані в декількох документах (наприклад, ДБН 360-92** "Планування і забудова міських і сільських поселень" [4] але найбільш повно наведені в СанПиН 2605-82 "Санитарные нормы и правила обеспечения инсоляцией жилых и общественных зданий и территорий жилой застройки" [5], згідно яких інсоляція повинна бути використана в усіх житлових і громадських будівлях і на території житлової забудови. Оптимальна ефективність інсоляції – її загальнооздоровчої, психофізіологічної, бактерицидної і теплової дії досягається при забезпеченні щоденного безперервного 3-4-годинного опромінення прямими сонячними

променями приміщень⁷ і територій. Нормування проводиться на весняно-осінній період року, з урахуванням світокліматичних особливостей різних районів країни і характеру забудови. Вимоги норм досягаються відповідним розміщенням, орієнтацією і плануванням будинків.

Таблиця 4.2 – Вимоги до умов інсоляції приміщень.

Призначення приміщення	Забезпечення нормованої інсоляції	Обмеження в гарячий період	Обмеження в робочий період	Інсоляція протипоказана
Житлові кімнати, класи в школах	+	+	-	-
Кухні	-	+	-	-
Літні приміщення	-	+	-	-
Дитячі спортивні майданчики і басейни	+	+	-	-
Рекреації	+	+	-	-
Лікувальні приміщення	+	+	-	-
Адміністративні	-	-	+	-
Операційні, музеї, бібліотеки	-	-	-	+
Цехи з I-IV розрядами зорових робіт	-	-	+	-
Навчальні приміщення	-	-	+	-

Розміщення і орієнтація основних функціональних приміщень дитячих дошкільних установ, загальноосвітніх шкіл, шкіл-

⁷ Окремі приміщення громадських будівель не повинні інсолюватися. До таких приміщень належать: операційні, реанімаційні зали лікарень, виставкові зали музеїв, хімічні лабораторії ВНЗ та НДІ, книгосховища, архіви і т.п.

інтернатів, лікувально-профілактичних установ, санаторно-курортних та інших оздоровчих закладів повинні забезпечувати тривалість безперервної інсоляції приміщень в нормовані періоди не менше 3 годин на день.

Нормована тривалість інсоляції повинна бути забезпечена⁸:

а) не менше, ніж в одній житловій кімнаті 1-, 2-, 3- кімнатних квартир і не менше, ніж в двох житлових кімнатах 4-5- кімнатних квартир, в спальнях гуртожитків (не менше, ніж в 60%);

б) в наступних приміщеннях громадських будівель: гральних і групових дошкільних установ; в класах початкових загальноосвітніх шкіл, шкіл-інтернатів та спальнях шкіл-інтернатів;

в) на територіях дитячих ігрових майданчиків та ігрових пристроїв спортивних майданчиків житлових будинків; групових майданчиків дошкільних установ; спортивної зони, зони відпочинку та навчально-дослідної зони загальноосвітніх шкіл та шкіл-інтернатів.

Розміщення і орієнтація житлових та громадських будівель (за винятком перелічених вище з мінімальною 3-х год. інсоляцією) повинні забезпечувати наступну тривалість безперервної інсоляції приміщень і територій:

для зони в діапазоні географічних широт 58° - 48° пн.ш. — не менше 2,5 години на день на період з 22 березня по 22 вересня;

для зони менше 48° пн.ш. — не менше 2 годин в день на період з 22 лютого по 22 вересня.

Вимоги щодо обмеження надмірної теплової дії інсоляції на лю-

⁸Примітки: 1. В умовах багатоповерхової забудови (9 і більше поверхів) допускається одноразова переривчастість інсоляції житлових і громадських будівель (за винятком перелічених вище з мінімальною 3-х год. інсоляцією) за умови збільшення сумарної тривалості інсоляції протягом дня на 0,5 години відповідно для кожної зони.

2. У житлових будинках меридіонального типу, де інсолюються всі кімнати квартири, а також при реконструкції житлової забудови або при розміщенні нового будівництва в особливо складних містобудівних умовах (історично цінне міське середовище, дорога підготовка території, зона загально-міського та районного центрів) допускається скорочення тривалості інсоляції на 0,5 год. відповідно для кожної зони.

дину і навколишнє його середовище поширюються на:

а) житлові кімнати і кухні квартир, спальні кімнати гуртожитків, приміщення громадських будинків, дитячих дошкільних установ, навчальні приміщення загальноосвітніх шкіл, шкіл-інтернатів, ПТУ та інших середніх спеціальних навчальних закладів, лікувально-профілактичних та оздоровчих закладів тощо, в яких потрібно це обмеження згідно з відповідними СНиП;

б) на території житлової забудови, розташованої в III і IV кліматичних районах⁹, захист від перегріву повинен бути передбачений не менше, ніж для половини гральних майданчиків, місць розміщення гральних пристроїв, спортснарядів і лав для відпочинку та не менше, ніж для двох третин тротуарів і пішохідних доріжок.

У житлових будинках, розташованих в III і IV кліматичних районах, не допускається орієнтація квартир, в яких всі вікна житлових кімнат виходять на одну сторону будинку, в межах сектора горизонту 200°-290°. Зазначена орієнтація допускається в III і IV кліматичних районах в одно- і двоповерхових будинках, всі вікна і балконні двері яких обладнані зовнішніми регульованими сонцезахисними пристроями. В одноповерхових будинках сонцезахист допускається забезпечувати засобами озеленення.

У громадських будівлях, що розміщуються в IV кліматичному районі, повинні бути передбачені сонцезахисні пристрої в отворах вікон, балконних дверей, лоджій і веранд, звернених на сектор горизонту в межах 200°-290°. У громадських будинках з підвищеним відсотком скління зовнішніх стін сонцезахисні пристрої повинні передбачатися для приміщень з орієнтацією на 200°-290° у всіх кліматичних районах, розташованих південніше 58° пн.ш.

Проектами громадських будівель, призначених для IV клімати-

⁹ Кліматичне районування було введено згідно СНиП 2.01.01-82 "Строительная климатология и геофизика" [6]. Із введенням ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 "Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія" [1] дію СНиП 2.01.01-82 в Україні скасовано. Проте ще багато діючих нормативних документів, наприклад ДБН В.2.6-31:2006 "Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель" [7], у своїй роботі використовують кліматичне районування.

чного району, при орієнтації вікон в межах 70° - 200° і для III кліматичного району – в межах 70° - 290° , повинні передбачатися пристрої, що забезпечують можливість установки в подальшому сонцезахисних засобів.

Обмеження надмірної теплової дії інсоляції приміщень і територій в жарку пору року має забезпечуватися відповідним плануванням та орієнтацією будівель, благоустроєм територій, застосуванням сонцезахисних пристроїв, а при необхідності – пристроїв кондиціонування та внутрішніх систем охолодження. Обмеження теплової дії інсоляції територій повинно забезпечуватися затіненням від будівель, спеціальними затінюють пристроями і раціональним озелененням.

Заходи щодо обмеження надмірної теплової дії інсоляції не повинні призводити до порушення норм природного освітлення приміщень.

Цілорічне затінення фасадів будівель і територій житлової забудови не допускається. Піврічні тіні (з 22 вересня по 22 березня) не повинні перевищувати по загальній площі 10% вільних від забудови територій житлових масивів, комплексів лікувально-профілактичних та оздоровчих установ в районах, розташованих південніше 58° пн.ш.

У складі типових проектів житлових будинків і блок-секцій повинні міститися характеристики допустимої орієнтації будівель.

Забезпечення в проектах планування і забудови міст (ГДП житлового району, проектах мікрорайонів, проекти забудови сільських населених місць та інших селищ) необхідних умов інсоляції повинно бути викладено в спеціальному підрозділі пояснювальної записки, розділу охорони навколишнього середовища.

Умови цілорічного затінення розраховуються на день літнього сонцестояння (22 червня), а піврічного – по днях весняного і осіннього рівнодення (22 березня і 22 вересня).

Тривалість інсоляції приміщення розраховується по нижньому поверху будівлі через центральну точку світлоотворів, розміри яких відповідають вимогам норм природного освітлення приміщень. При цьому необхідно враховувати розташування і розміри елемен-

тів будівлі, які затінюють світлоотвори (навісів, балконів, лоджій, портиків, жалюзі і т. д.).

В розрахунках тривалості інсоляції¹⁰ для районів на південь від 58° пн.ш. не враховується першу годину після сходу сонця і останню годину після заходу сонця.

Для виконання всіх інсоляційних розрахунків необхідно знати положення Сонця на небозводі, яке описують за допомогою координат Сонця.

4.3 Рух Землі та координати Сонця

Земля обертається навколо Сонця еліптичною орбітою із середньою відстанню між центрами Землі і Сонця в одну астрономічну одиницю. Площина земної орбіти навколо Сонця називається **площиною екліптики**. Слід від перетину небесної сфери¹¹ із площиною земної орбіти називається **екліптикою**. Протягом року Земля наближається до Сонця двічі на мінімальну відстань (**перигелій**) і двічі віддаляється від нього на максимальну відстань (**афелій**). Швидкість руху Землі змінна: при проходженні перигелію вона максимальна, при проходженні афелію – мінімальна¹². Повний оберт Земля скоює за 365,26 середніх сонячних діб. Земля обертається навколо осі, що називають **віссю світу**. З деяким наближенням можна казати, що вісь світу зорієнтована в точку всесвіту, що збіга-

¹⁰ Порядок та методи розрахунку тривалості інсоляції встановлюється згідно ДСТУ-Н Б В.2.2-27:2010 "Настанова з розрахунку інсоляції об'єктів цивільного призначення" [8].

¹¹ **Небесна сфера** – уявна сфера, що оточує Землю, на якій, як здається, лежать небесні тіла. Розташування небесних тіл, таких як зірки, планети і галактики визначається за їх координатами на небесній сфері. Небесні полюси лежать строго над полюсами Землі, а небесний екватор знаходиться над земним екватором. Для земного спостерігача вважається, що небесна сфера обертається навколо Землі. Насправді є результатом обертання Землі навколо своєї осі.

¹² Нерівномірність руху пояснюється другим законом Кеплера: кожна планета рухається в площині, що проходить через центр Сонця, причому за рівні проміжки часу радіус-вектор, що з'єднує Сонце і планету, описує рівні площі.

ється з полярною зіркою (у нашу епоху полярна зірка перебуває на відстані менше 1° від північного полюсу, і тому майже нерухома при добовому обертанні Землі. Вона дуже зручна для орієнтування – напрямком на неї практично збігається з напрямком на північ). Земля протягом року переміщується паралельно самій собі (рис. 4.1). Вісь обертання Землі відхилена від перпендикуляра до площини Земля-Сонце (площини екліптики) на $23,45^\circ$.

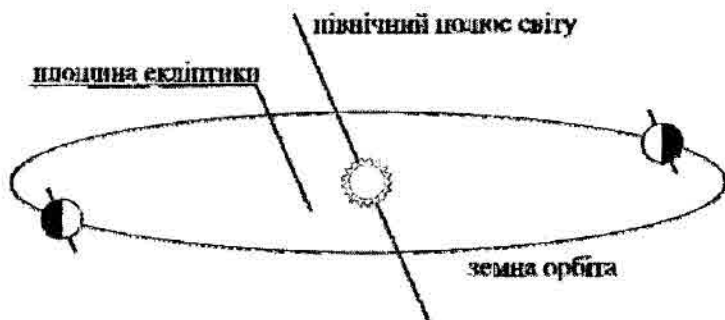


Рисунок 4.1 – Рух Землі навколо Сонця

Через нахил осі Землі (рис. 4.2), висота Сонця над горизонтом протягом року змінюється. Для спостерігача в північних широтах, коли Північний полюс нахилений до Сонця, світлий час доби триває довше і Сонце в небі знаходиться вище. Це призводить до більш високих середніх температур повітря. Коли Північний полюс відхиляється в протилежну від Сонця сторону, все стає навпаки і клімат робиться холодніше.

Ці зміни клімату (обумовлені нахилом земної осі) призводять до зміни пір року. Чотири сезони визначаються сонцестояннями: моменти, коли земна вісь максимально нахилена у напрямку до Сонця або від Сонця і рівноденнями. Зимове сонцестояння відбувається приблизно 21 грудня, літнє – приблизно 21 червня, весняне рівнодення – приблизно 20 березня, а осіннє – 22 вересня.

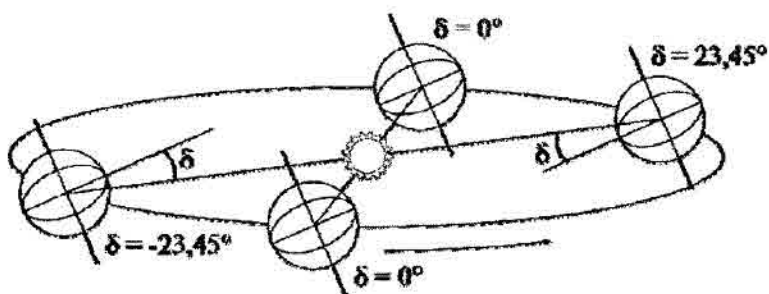


Рисунок 4.2 – Схема до пояснення зміни висоти Сонця над горизонтом

Розглянемо рух Сонця по небозводу відносно точки Землі – для міста Київ (рис. 4.3).

На рис. 4.4 наведена схема руху Сонця як ми його бачимо з різних точок поверхні Земної кулі.

Небозвід – видима з Землі частина неба. Небозвід – півсфера, що спирається на горизонтальну площину, в центрі якої розташована досліджувана точка. Через цю точку проходить полуденна лінія Південь-Північ (Пд-Пн) і лінія Схід-Захід (Сх-Зх), що визначають орієнтацію в даній точці.

Сонце, зійшовши на Сході, рухається по колу, займаючи на небосхилі в даний момент певне положення, яке характеризується двома координатами – **висотою стояння** і **азимутом**, які залежать від географічної широти місцевості, сезону й часу доби (рис. 4.5).

Висота стояння Сонця h_0 – кут у вертикальній площині між сонячним променем та його проекцією на горизонтальну площину. Якщо Сонце знаходиться над горизонтом, його висота додатна і може бути в межах від 0° до 90° , інакше – від'ємна в межах від 0° до -90° .

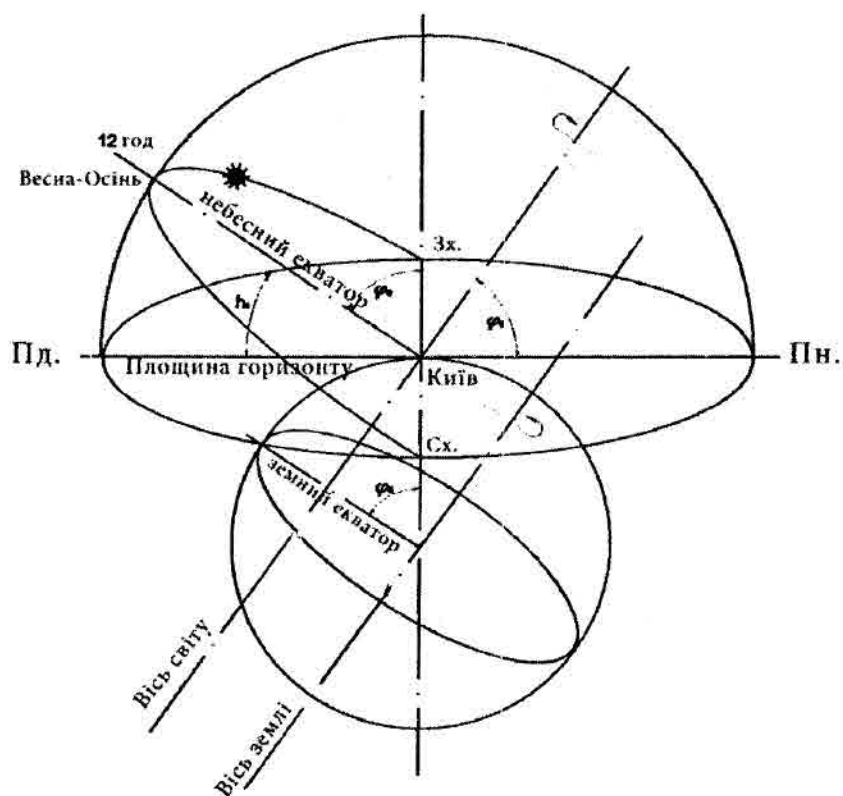


Рисунок 4.3 – Схема, що пояснює рух Сонця відносно точки поверхні Землі (за точку вибрано м.Київ)

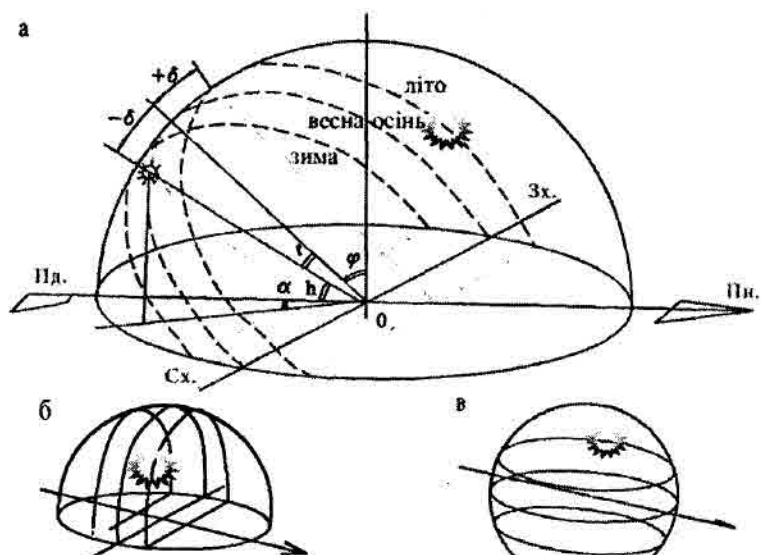


Рисунок 4.4 – Видима траєкторія Сонця на небозводі
а – в широтах північної півкулі; б – на екваторі; в – на полюсі.

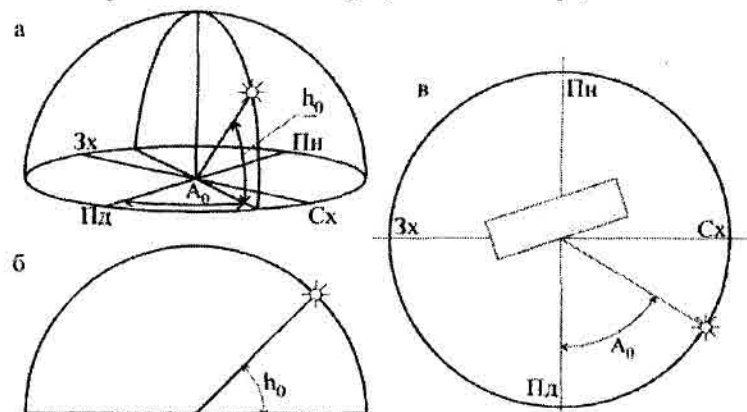


Рисунок 4.5 – Схема до визначення координат Сонця h_0 – висота стояння Сонця, A_0 – азимут Сонця

Азимут A_0 – кут в горизонтальній площині, що утворюється горизонтальною проекцією сонячного променя і напрямком меридіану. У астрономії азимуті відраховують в бік добового обертання небесної сфери, тобто за захід від точки півдня в межах від 0° до 360° ; в географії азимут відлічується за годинниковою стрілкою від точки півночі.

Розглянемо траєкторію видимого руху Сонця і опишемо важливі властивості цього руху.

Після сходу на Сході Сонце протягом дня описує дугу кола. На наступний день Сонце опише теж дугу, але вона вже не співпадає з дугою попереднього дня, а пройде вище або нижче її, відрізняючись на деяку кутову величину δ , яка називається **схиленням**¹³. Протягом року величина схилення змінюється від $-23,45^\circ$ до $+23,45^\circ$, двічі проходячи через нуль. Схилення рівне нулю в ті дні, коли Сонце сходить точно на сході. В цей день воно опише дугу на небосхилі, рівну половині кола і тривалість дня буде рівна ночі. Це – дні рівнодення. В період рівнодення Сонце проходить по великому колу небесної сфери, площина якого збігається з площиною небесного екватора. Після весняного рівнодення схилення набуває позитивних значень, так як Сонце за день описує дугу, яка є більшою половини кола і яка розташована вище дуги, що відповідає рівноденню. Максимального значення ($+23,45^\circ$) схилення досягає в день літнього сонцестояння. Після цього схилення зменшується, в момент осіннього рівнодення знову стає рівним нулю, після чого

¹³ Схилення Сонця δ – це кут між екватором і уявною лінією, що з'єднує центри Землі і Сонця (див. рис. 4.2). Схилення зазнає сезонних змін. Це відбувається через те, що Земля рухається еліптичною орбітою навколо Сонця, а так само через нахил її власної осі обертання. Якби вісь обертання Землі не була нахилена, схилення було б постійно рівним 0° (вісь обертання Землі нахилена на $23,45^\circ$).

Схилення можна розрахувати згідно формули [9]

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left[\frac{360}{365} (d - 81) \right],$$

де d – день року (1 січня $d = 1$).

починає набувати від'ємних значень. Сонце за день описує на небосхилі дугу, меншу половини кола. В цей період день стає коротшим ночі. Мінімального значення ($-23,45^\circ$) схилення досягає в день зимового сонцестояння. Після цього схилання починає зростати, досягаючи нульового значення в момент весняного рівнодення і т.д.

Проходячи по небосхилу, при певному схиленні Сонце займає щогодини певне положення. За 24 години воно опише повне коло в 360° (за 24 години Земля робить повний оберт навколо власної осі), тобто одна година відповідає куту в $360^\circ/24 = 15^\circ$. Інсоляційні розрахунки як правило проводять з інтервалом в годину.

Важливо зазначити те, що для географічного пункту, звідки проводиться спостереження, Сонце на небосхилі рухається по площині, нахилений під кутом до вертикалі. Це відхилення характеризується **географічною широтою** φ місцевості. На екваторі, де географічна широта дорівнює нулю, площини, в яких лежить видимий шлях руху Сонця, вертикальні (рис.4.4б), на полюсах, де географічна широта дорівнює 90° , – горизонтальні (рис.4.4в).

Розглянувши особливості видимого руху Сонця на небосхилі, можна зробити висновок про те, що координати Сонця на небі залежать від відхилення, часу доби і географічної широти. Функціональна зв'язок між цими величинами виражається формулами координат Сонця:

$$\sin h_0 = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t, \quad (4.1)$$

$$\sin A_0 = \cos \delta \cdot \sin t / \cos h_0, \quad (4.2)$$

де t – час, виражений в градусах (1 год. = 15°).

В дні рівнодення $\delta = 0$ і формули (4.1), (4.2) істотно спрощуються

$$\sin h_0 = \cos \varphi \cdot \cos t, \quad (4.3)$$

$$\sin A_0 = \sin t / \cos h_0, \quad (4.4)$$

Провівши перетворення отримаємо залежність координат сонця в дні рівнодення від широти спостерігача: з (4.3) $\cos t = \frac{\sin h_0}{\cos \varphi}$, з (4.4) $\sin t = \sin A_0 \cdot \cos h_0$. Згідно основної тригонометричної тотожності

$\cos^2 t + \sin^2 t = \frac{\sin^2 h_0}{\cos^2 \varphi} + \sin^2 A_0 \cdot \cos^2 h_0 = 1$. Використавши формулу

$$\frac{1}{\cos^2 \varphi} = \operatorname{tg}^2 \varphi + 1, \quad \text{отримаємо} \quad \sin^2 h_0 (\operatorname{tg}^2 \varphi + 1) + \sin^2 A_0 \cdot \cos^2 h_0 = 1.$$

Поділивши рівняння на $\sin^2 h_0$ і використавши формулу

$$\frac{1}{\sin^2 h_0} = \frac{1}{\operatorname{tg}^2 h_0} + 1 \quad \text{побачимо} \quad \operatorname{tg}^2 \varphi + 1 + \frac{\sin^2 A_0 \cdot \cos^2 h_0}{\sin^2 h_0} = \operatorname{tg}^2 \varphi + 1 +$$

$$+ \frac{\sin^2 A_0}{\operatorname{tg}^2 h_0} = \frac{1}{\sin^2 h_0} = \frac{1}{\operatorname{tg}^2 h_0} + 1, \quad \text{звідки} \quad \operatorname{tg}^2 \varphi \cdot \operatorname{tg}^2 h_0 + \sin^2 A_0 = 1 =$$

$\sin^2 A_0 + \cos^2 A_0$ і нарешті

$$\cos A_0 = \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} h_0. \quad (4.5)$$

В дні рівнодення висота стояння Сонця опівдні рівна

$$h_0 = 90^\circ - \varphi \quad (4.6)$$

і залежить лиш від широти спостерігача.

4.4 Сонячний час

Координати Сонця залежать від географічної широти місцевості, схилення і часу доби.

Координати Сонця визначаються аналітично, за допомогою формул сферичної тригонометрії або за спеціальними таблицями.

Всі розрахунки по визначенню координат Сонця проводяться для місцевого часу.

Місцевий істинний сонячний час визначається в місці знаходження спостерігача видимим положенням сонця на небесній сфері. Наприклад, справжній полудень в деякій точці Землі настає в момент верхньої кульмінації Сонця (момент, коли Сонце перетинає небесний меридіан місця спостерігача, і відповідно, знаходиться строго над точкою півдня).

Внаслідок нерівномірності видимого річного руху Сонця по екліптиці і нахилу екліптики до екватора істинний сонячний час змінюється не рівномірно, внаслідок чого не зручний для практичного життя. Для усунення цього недоліку використовують так зване се-

редне Сонце – фіктивна точка, що протягом року рухається рівномірно по екватору і здійснююча відносно точки весняного сонцестояння одне обернення за той же час, що і істинне Сонце, яке рухається нерівномірно по екліптиці.

Система відліку часу, основана на середньому Сонці називається **середнім сонячним часом**, різниця між істинним і середнім сонячним часом називається **рівнянням часу**.

Ця різниця в кожен конкретний момент часу однакова для спостерігача в будь-якій точці Землі. Рівняння часу можна дізнатися зі спеціалізованих астрономічних видань, астрономічних програм або обчислити за апроксимуючими формулами:

$$E = 9,87 \cdot \sin(2B) - 7,53 \cdot \cos(B) - 1,5 \cdot \sin(B),$$

де $B = 360^\circ(N - 81) / 365$, якщо кути виражаються в градусах,

$B = 2\pi \cdot (N - 81) / 365$, якщо кути виражаються в радіанах,

N – кількість днів (1 січня $N = 1$, 2 січня $N = 2$ і т.д.)

Залежність рівняння часу E від доби N року наведена на рис.4.6.

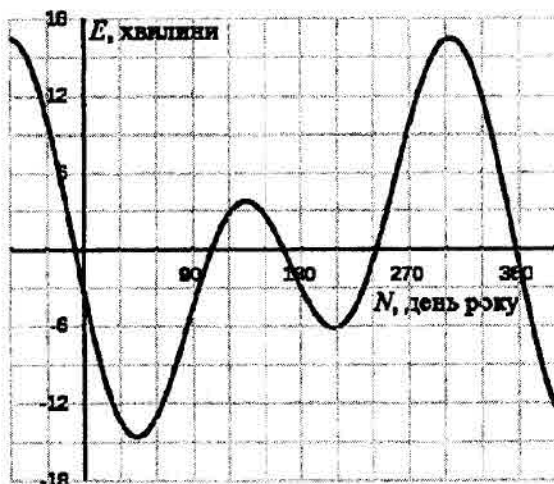


Рисунок 4.6 – Рівняння часу.

Місцевий час пов'язаний із географічною довготою. Знаючи різницю географічних довгот двох пунктів на земній поверхні, можна знайти різницю місцевого часу, і навпаки. Оскільки за 24 години Земля робить повний оберт, то за одну годину кут повороту становитиме 15° ($360^\circ/24$ год). Звідси можна встановити, що на 1° Земля повертається за 4 хвилини ($60 \text{ хв} / 15^\circ$).

Користуватись місцевим часом у повсякденному житті незручно. Тому був запроваджений поясний час.

Поняття часовий пояс має два основних значення:

1) Географічний часовий пояс – умовна смуга на земній поверхні шириною рівно 15° ($\pm 7,5^\circ$ відносно середнього меридіана), на якій прийнятий один стандартний час.

2) Адміністративний часовий пояс (або часова зона) – ділянка земної поверхні, на якому відповідно до деякого закону встановлено певний поясний час.

У більшості випадків повсякденного життя, якщо не вказується, яке саме значення часового поясу мається на увазі, мова йде про адміністративний часовий пояс.

Формування адміністративних часових поясів (часових зон) пов'язане з прагненням, з одного боку, враховувати обертання Землі навколо своєї осі, а з другого боку, визначити території (часові зони) з приблизно однаковим місцевим часом таким чином, щоб відмінності в часі між ними були кратні одній годині. У результаті було досягнуто рішення, що повинно бути 24 часових пояси і кожен з них повинен більш-менш співпадати з географічним часовим поясом. Точкою відліку прийнятий гринвіцький меридіан – нульовий меридіан – середній меридіан нульового часового поясу.

Зараз час встановлюється за допомогою всесвітнього координатного часу (UTC), який введений замість часу за Гринвічем (GMT). Шкала UTC базується на рівномірній шкалі атомного часу (TAI) і є зручнішою для цивільного використання. Часові пояси навколо земної кулі описуються як додатне або від'ємне зміщення від UTC: негативні зміщення у часових поясах на захід від нульового меридіана, позитивні – на схід. Слід пам'ятати, що час по UTC не змінюється ні взимку, ні влітку. Тому для тих місць, де є перехід на

літній час, зміщення відносно UTC змінюється.

Теоретично 24 годинні пояси земної кулі повинні обмежуватися меридіанами, що проходять на $7^{\circ}30'$ схід і на захід середнього меридіана кожного пояса, причому навколо гринвіцького меридіана діє всесвітній час UTC. Проте в реальності для збереження єдиного часу на території однієї адміністративної одиниці їх межі часто зміщені відносно меридіанів; місцями деякі годинні пояси навіть «пропадають», гублячись між сусідніми.

На суходолі кордони часових поясів встановлені не за меридіанами, а за близькими до них державних кордонах різних країн. Для великих за розмірами країн, які потрапляють до декількох часових поясів, кордон між цими поясами проходить, зазвичай, по кордонах внутрішнього адміністративно-територіального поділу цих країн.

Територія України розташовується в часовій зоні східноєвропейського часу (Eastern European Time, EET) (взимку - UTC+2, літом - UTC+3) з однаковим часом в межах всієї території країни. Час встановлюється як поясний час, крім того, має місце додаткове щорічне переведення годинникової стрілки в останню неділю березня о 3:00 на 1 год. вперед і в останню неділю жовтня в 4:00 на 1 год. назад.

Територія України по довготі має протяжність $17^{\circ}57'$ або приблизно 1,2 години, але приблизно 95% її території лежить в межах від $22^{\circ}30'$ до $37^{\circ}30'$ східної довготи, тобто географічно у **другому часовому поясі**. При цьому незначна частина Закарпатської області географічно розташовується в першому часовому поясі (на захід $22^{\circ}30'$ східної довготи), Луганська область, а також частково Донецька і Харківська області знаходяться фактично в третьому часовому поясі (на схід $37^{\circ}30'$ східної довготи). Але для зручності на практиці межі часових поясів на суші проводяться не строго вздовж меридіанів, а беручи до уваги державні кордони, тому вся територія країни адміністративно віднесена до одного часового поясу.

Поясному часові в Україні відповідає час середнього меридіана другого поясу – 30° , який географічно проходить поблизу столиці України – Києва.

Час, що застосовується на практиці (взимку – UTC+2, літом –

UTC+3), в Україні називають **київським**.

Останнім часом в Україні відбуваються зміни обчислення часу. 23 листопада 2011 року на сайті Кабінету міністрів опубліковано Проект закону України «Про порядок обчислення часу на території України», згідно з яким встановлюється час другого поясу UTC+2 протягом цілого року. Наприкінці січня 2012р. Кабмін прийняв рішення рекомендувати ще раз перейти на літній час – щоб не створювати незручностей під час проведення в Україні фінальної частини Чемпіонату Європи з футболу влітку 2012 року. Таким чином, останню зміну часу в Україні заплановано на 28 жовтня 2012 року, адже з 2013 року літній час може бути скасований узагалі.

Проект відповідного Закону 27 лютого 2012 року було внесено на розгляд парламентом. У разі схвалення його Верховною Радою Закон «Про порядок обчислення часу на території України» набуде чинності з 1 листопада 2012.

У ніч з 24 на 25 березня 2012 року годинники в Україні було переведено на годину вперед, чим досягнуто збереження попередньої різниці в 1 годину з суміжними країнами Євросоюзу та скорочено різницю з московським часом (з двох годин до однієї години).

Наведемо алгоритм розрахунку - переводу адміністративного (або громадського часу, за яким живуть мешканці довільної території) до місцевого сонячного часу:

1). переводимо адміністративний поясний час в географічний поясний час;

2) визначаємо різницю у градусах між довготою пункту й середнім меридіаном часового поясу, в якому цей пункт розташовано;

Часовий пояс	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Довгота середнього меридіана, град	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180

3) визначаємо різницю між поясним і місцевим сонячним часом у хвилинах, для чого множимо різницю між довготою заданого пункту й довготою середнього меридіана годинного поясу на 4 хвилини, бо зміщення на 1 градус довготи відповідає зміщенню сонячного часу на 4 хвилини;

4) визначаємо місцевий сонячний час заданого пункту, для чого різницю в часі додаємо (віднімаємо) до поясного часу, якщо довгота цього пункту більша (менша) ніж довгота середнього меридіана (таким чином пункт розташовано східніше (західніше) середнього меридіана часового поясу).

Таким чином ми визначимо середній сонячний час.

Приклад. Переведемо київський час 12 год. до місцевого середнього сонячного часу для м. Івано-Франківська. Географічні координати м. Івано-Франківська $48^{\circ}55'$ північної широти та $24^{\circ}42'$ східної довготи.

1) м. Івано-Франківськ розташовано у II географічному часовому поясі. Зимово часовий пояс UTC+2 збігається з географічним, тобто поясний час дорівнює 12 год., літом – часовий пояс UTC+3 на годину випереджає географічний, тобто поясний час дорівнює 11 год.

2) Різниця довгот Івано-Франківська і середнього меридіана II годинного поясу складає $30^{\circ}-24^{\circ}42'=5^{\circ}18' \approx 5,3^{\circ}$.

3) Різниця між місцевим сонячним і поясним часом $5,3 \cdot 4 \approx 21$ хв.

4) Оскільки $24^{\circ}42' < 30^{\circ}$ (Івано-Франківськ розташований західніше середнього меридіана), різницю між місцевим і поясним часом треба відняти (сонце на довготі Івано-Франківська встає пізніше ніж на довготі середнього меридіана і година буде менша). Місцевий середній сонячний час відповідний 12 годинам київського часу, зимою дорівнюватиме 11 год. 39 хв., а влітку – 10 год. 39 хв.

Для знаходження істинного сонячного часу (тобто для розрахунку положення сонця) треба врахувати (додати) значення рівняння часу.

Наприклад, 1 серпня – 214 день року, отже $N = 214$,
рівняння часу $E = -5.95 \approx -6$ хв.,
істинний сонячний час, що відповідає 12 год. київського часу у
м.Івано-Франківську 1 серпня, рівний 10 год. 33 хв.

4.5 Розрахунок інсоляції

Порядок розрахунку тривалості інсоляції при проектуванні нового будівництва та реконструкції будинків встановлюється настановою з розрахунку інсоляції об'єктів цивільного призначення [8].

Настанова встановлює правила розрахунку тривалості інсоляції приміщень житлових і громадських будинків при аналізі дотримання в них санітарно-гігієнічних норм з інсоляції та склад і зміст розділу проектної документації з інсоляційних розрахунків, настанова є розвитком положень санітарних норм [5] щодо методики оцінки інсоляційного режиму приміщень та територій.

Положення, що встановлюються настановою, дозволяють визначати величину розрахункової тривалості інсоляції приміщень і територій та складати розділ проектної документації, який стосується реалізації вимог до інсоляції [5] з урахуванням впливу тривалості інсоляції на енергозбереження. Крім того, положення настанови дають можливість визначати максимально можливі розміри нового будинку за умов непорушення інсоляційних вимог в існуючих будинках та на території забудови ще на стадії передпроектних розробок.

Наведемо терміни та визначення вжиті у настанові.

Терміни та визначення понять

У стандарті використано терміни, установлені в ДБН В.2.2-15: балкон, житлове приміщення, квартира, літні приміщення, лоджія, одноквартирний житловий будинок; у ДБН В.2.6-31: світлопрозора конструкція; у ДБН В.2.5-28: природне освітлення; у ДБН А.2.2-3: передпроектні роботи, проектна документація, ескізний проект (ЕП), проект (П), робочий проект (РП).

Альмукантарат

Будь-яке паралельне горизонту мале коло небесної сфери

Вертикальний кут затінення за напрямом

При розрахунку за методом розрахункової точки (РТ) - збігається з вертикальним кутом затінення у площині даного напрямку.

При розрахунку за методом граничної поверхні (ГП) - мінімальний вертикальний кут затінення у площинах даного напрямку

Вертикальний кут затінення у площині

При розрахунку за методом РТ - кут у вертикальній площині, яка розглядається і проходить через РТ, між лінією горизонту та променем, проведеним з РТ, дотичним до контуру верхівки протилежного будинку або поверхні рельєфу.

При розрахунку за методом ГП - кут у вертикальній площині, яка розглядається, між лінією горизонту та променем, дотичним до контурів верхівки протилежного будинку або поверхні рельєфу і верхнього екрануючого елемента світлопрорізу

Вертикальний кут інсоляції за напрямом

При розрахунку за методом РТ-збігається з вертикальним кутом інсоляції у площині даного напрямку.

При розрахунку за методом ГП - максимальний вертикальний кут інсоляції у площинах даного напрямку.

Вертикальний кут інсоляції у площині

Максимальний кут між променями, що надходять від неба у вертикальній площині, що розглядається:

при розрахунку за методом РТ - у розрахункову точку;

при розрахунку за методом ГП - на граничну поверхню.

Визначається з урахуванням екрануючих елементів світлопрорізу, але без урахування протилежних будинків та рельєфу

Горизонтальний кут затінення

При розрахунку за методом РТ - кут між променями, що проходять через РТ і дотикаються до контуру протилежного будинку у плані чи горизонталі поверхні рельєфу, що має позначку РТ.

При розрахунку за методом ГП - кут між променями, дотичними у плані до контуру протилежного будинку, у межах яких ГП повністю затінюється цим контуром і екрануючими елементами світлопрорізу. У випадку затінення поверхнею рельєфу - контуром горизонталі, що має позначку центра світлопрорізу

Горизонтальний кут інсоляції

Максимальний кут між горизонтальними проекціями променів, що надходять від небесної півсфери:

при розрахунку за методом РТ - у розрахункову точку;

при розрахунку за методом ГП - на граничну поверхню.

Визначається з урахуванням екрануючих елементів світлопрорізу, але без урахування протилежних будинків та рельєфу

Гранична поверхня інсоляції

Умовна світлопрозора поверхня, що є продовженням внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції в межах світлопрорізу

Добова траєкторія Сонця; сонячна траєкторія

Крива на небесній сфері, по якій умовно рухається Сонце протягом однієї доби на фіксованій географічній широті. У цій настанові прийнято допущення, що добова траєкторія руху Сонця - це коло

Екрануючі елементи світлопрорізу

Відкоси світлопрорізів, а також елементи фасаду, що розташовані навколо них (козирки, плити лоджій та балконів, стінки лоджій, вертикальні сонцезахисні екрани тощо), які затіняють світлопрозору конструкцію

Ізоплети температур

Криві, що з'єднують однакові значення температури

Інсоляційна лінійка

Інструмент для визначення інсоляції, виконаний на світлопрозорому матеріалі, на який нанесено проекції на горизонтальну площину променів у час сходу та заходу Сонця та в інші години певного дня року, а також лінії перетину конуса сонячних променів з горизонтальними площинами, проведеними через заданий крок по висоті; викреслюється у масштабі. Будується для конкретної географічної широти. У цьому стандарті використовуються інсоляційні лінійки для 22 березня та 22 вересня, виконані у масштабі М 1:2000 та М1:500 для кожного градуса широти в межах від 45° до 52° пн. ш.

Інсоляція

Пряме сонячне опромінення поверхонь чи просторів

Інсоляція приміщення

При розрахунку за методом РТ-надходження сонячних променів у розрахункову точку будь-якого світлопрорізу приміщення.

При розрахунку за методом ГП-надходження сонячних променів на граничну поверхню будь-якого світлопрорізу приміщення

Інсоляція території

Опромінення території прямою сонячною радіацією

Координати Сонця

Кути, за допомогою яких фіксується миттєве положення Сонця на небесній сфері

Азимут Сонця

Кут, що відрховується за годинниковою стрілкою від напрямку на північ до сонячної площини. Змінюється в межах від 0° до 360°

Висота Сонця

Кут у сонячній площині між сонячним променем та горизонталлю. Якщо Сонце знаходиться над горизонтом, його висота додатна і може бути в межах від 0° до 90° , інакше - від'ємна в межах від 0° до -90°

Конус сонячних променів

Поверхня, що утворюється сонячними променями, які проходять через фіксовану точку протягом доби

Максимальна тіньова маска

Максимальна тіньова маска нового будинку відповідає максимально можливій висоті будинку, що проектується, або поєднанню максимальних висот кожної окремої секції, за яких інсоляційний режим у приміщенні існуючого будинку чи на прилеглий території відповідає нормативним вимогам або не погіршується у нормований період інсоляції.

Максимальна тіньова маска проектного простору відповідає максимально можливим позначкам висот умовної топографічної поверхні, за яких інсоляційний режим у приміщенні існуючого будинку чи на прилеглий території відповідає нормативним вимогам або не погіршується у нормований період інсоляції

Небесна сфера

Уявна сфера довільного радіуса, на яку проектується небесні

світила (Сонце). Центром сфери зазвичай є розрахункова точка

Небесна півсфера, небозвід, небо

Частина небесної сфери, що розташована вище лінії горизонту

Нормований період інсоляції

Період року з 22 березня до 22 вересня, протягом якого нормується тривалість інсоляції згідно з ДСП 173, СанПиН 2605, ДБН 360

Пасивне сонячне опалення

Комплекс заходів із використання теплової енергії прямої сонячної радіації для опалення будинків без використання додаткових інженерних систем

Розрахункова висота об'єкта

При розрахунку за методом РТ- перевищення об'єкта над розрахунковою точкою.

При розрахунку за методом ГП:

для екрануючих елементів світлопрорізу - перевищення об'єкта над найнижчою точкою ГП;

для оточення - перевищення об'єкта над найвищою точкою ГП.

Розрахункова точка інсоляції

Точка, у якій розраховується тривалість інсоляції приміщення через окремий світлопроріз або його частину

Смуга інсоляції у напрямку

Смуга у плані, у межах якої можливе надходження на ГП променів від неба у вертикальних площинах даного напрямку

Сонцезахист

Комплекс заходів зі зменшення шкідливого впливу прямої сонячної радіації у приміщеннях, зокрема, перегрівання

Сонячна карта

Інструмент для інсоляційних розрахунків, що являє собою проєкцію на горизонтальну площину денної небесної півсфери, на якій відображені сонячні траєкторії, годинні лінії та координатна сітка, що складається з азимутальних ліній та альмукантаратів, і може бути ортогональною, стереографічною тощо. Будується для конкретної географічної широти. У цьому стандарті використовуються стереографічні сонячні карти, що отримані проєктуванням небес-

ної півсфери на площину її основи з точки надира (найнижчої точки небесної сфери) для кожного градуса широти в межах від 45° до 52° пн. ш.; відображені траєкторії Сонця для 22 числа кожного місяця, годинні лінії через 10 хв, координатна сітка має розмір $5^\circ \times 5^\circ$.

Сонячна площина

Вертикальна площина, що проходить через фіксовану точку паралельно сонячним променям

Сонячний час

Час, що пройшов з моменту, коли Сонце знаходилося у найнижчій точці сонячної траєкторії до моменту, що розглядається. У північній півкулі Сонце о 12⁰⁰ за сонячним часом має азимут 180° (знаходиться на півдні)

Годинна лінія

Крива на небесній сфері, що з'єднує положення Сонця з однаковим значенням сонячного часу всіх діб року

Тіньова маска

Графічне відображення на сонячній карті чи інсоляційній лінійці зони екранування небозводу певним об'єктом

Тіньова маска оточення

Графічне відображення на сонячній карті чи інсоляційній лінійці зони екранування небозводу протилежними будинками та рельєфом

Тіньова маска світлопрорізу

Графічне відображення на сонячній карті чи інсоляційній лінійці зони екранування небозводу екрануючими елементами світлопрорізу

Суміщена тіньова маска світлопрорізу

Графічне відображення на сонячній карті чи інсоляційній лінійці зони екранування небозводу екрануючими елементами світлопрорізу, протилежними будинками та рельєфом

Суміщена тіньова маска приміщення

Графічне відображення на сонячній карті чи інсоляційній лінійці зони небозводу, що не спостерігається ні через жоден світ-

лопроріз приміщення

Носій тіньової маски

Калька, на якій будується тіньова маска. При використанні комп'ютерних графічних систем -окремий шар

Тривалість інсоляції приміщення

Інтервал часу доби, протягом якого інсолюється приміщення.

Примітка. Тривалість інсоляції визначається за умов ясного неба та без урахування зелених насаджень (згідно з [5])

Безперервна тривалість інсоляції приміщення

Інтервал часу доби, протягом якого ні екрануючі елементи світлопрорізу, ні протилежні будинки, ні рельєф місцевості ні на мить не перешкоджають інсоляції приміщення

Гігієнічний норматив інсоляції, нормативна тривалість інсоляції

Тривалість інсоляції, яка забезпечує санітарно-гігієнічні якості приміщень згідно з СанПіН 2605, ДСП 172, ДСП 173, ДСанПіН 5.5.2008, ДБН 360, ДБН В.2.2-3, ДБН В.2.2-4, ДБН В.2.2-9, ДБН В.2.2-10, ДБН В.2.2-15

Повна тривалість інсоляції приміщення

Тривалість інсоляції приміщення за методом ГП

Розрахункова тривалість інсоляції

Тривалість інсоляції приміщення за період з початку другої години після сходу Сонця до початку останньої години перед його заходом.

Примітка. Якщо інсоляція переривається більше ніж один раз, то за розрахункову тривалість інсоляції беруть суму тривалості двох найбільших періодів інсоляції.

Позначки та скорочення

РТ - розрахункова точка інсоляції.

ГП - гранична поверхня інсоляції.

МТМ - максимальна тіньова маска.

$\alpha, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \dots$ - горизонтальні кути інсоляції чи певного його сектора.

$\beta, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$ - вертикальні кути інсоляції у певній площині чи

певному напрямі.

$\gamma, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots$ - вертикальні кути затінення у певній площині чи певному напрямі.

о - початок і кінець розрахункових періодів діб на сонячних картах.

4.6 Геометрична сутність методів розрахунку тривалості інсоляції та межі їх використання

Розрахунок тривалості інсоляції виконується з наступними допущеннями:

- у кожен момент часу сонячні промені навколо земної поверхні є паралельними;

- земна орбіта (екліптика) є колом;

- Земля рухається по орбіті стрибками: протягом доби Земля знаходиться в одній точці орбіти. У кожен наступну добу вона миттєво переходить у точку, що відповідає повороту навколо Сонця в площині екліптики на кут $360^\circ/365$. Тут ми не враховуємо добову зміну схилення.

- нахил осі Землі до площини екліптики дорівнює $66,55^\circ$ (кут між екватором і площиною екліптики рівний $90^\circ - 66,55^\circ = 23,45^\circ$).

- сонячні промені досягають поверхні Землі миттєво та не зазнають заломлення в атмосфері Землі;

- обчислення часу ведеться за **середнім сонячним часом**, що відповідає умовам рівномірного руху Землі по коловій орбіті.

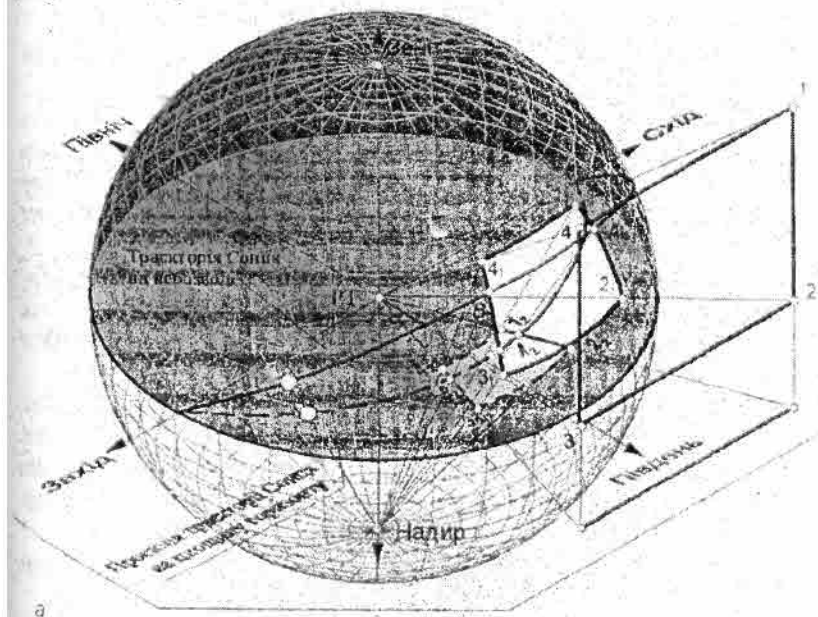
За таких допущень множина променів, що утворюється протягом року, розпадається на множини променів, що утворюються під час руху Сонця щодоби. Складний спіралеподібний напрямний конус розпадається при цьому на 365 напрямних колових конусів - добових конусів сонячних променів.

Сутність методу розрахунку тривалості інсоляції за допомогою сонячних карт пояснюється на рисунку 4.7.

На небозвіді, центр якого знаходиться у розрахунковій точці приміщення, проектується видимий з неї контур світлопрорізу 1234 (центр проектування - розрахункова точка). При цьому всі відрізки

прямих навколишнього простору проєктуються у дуги великих кіл. Проекція $I_1 2_1 3_1 4_1$ визначає тіньову маску світлопрорізу на небозводі. Тривалість інсоляції розрахункової точки (РТ) визначається відрізком $A_1 B_1$ траєкторії Сонця на небозводі, що знаходиться всередині проєкції $I_1 2_1 3_1 4_1$.

Якщо спроектувати з точки надир¹⁴ цю картину на площину горизонту (основу небозводу), то тривалість інсоляції можна визначити за відрізком $A_2 B_2$ горизонтальної проєкції траєкторії Сонця (рисунок 4.7, а).



¹⁴ Пряма, що проходить через центр небесної сфери і збігається з напрямом вертикалі в місці спостереження називається **прямовисною** (або **вертикальною**) **лінією**. Для спостерігача, що знаходиться на поверхні Землі, прямовисна лінія проходить через центр Землі та точку спостереження. Прямовисна лінія перетинається з поверхнею небесної сфери в двох точках – **зеніті**, над головою спостерігача, і **надирі** – діаметрально протилежній точці.

У зв'язку з тим, що сонячна карта, по суті, є проекцією небесної півсфери на площину горизонту, то аналогічні побудови можна зробити безпосередньо на сонячній карті. У цьому випадку режим інсоляції буде визначатися точками перетину контуру тіньової маски $1_2 2_2 3_2 4_2$ з проекцією сонячної траєкторії (рисунк 4.7, б).

При розв'язанні реальних задач крім побудови тіньової маски світлопрорізу, необхідно побудувати ще тіньову маску оточуючої забудови. Тривалість інсоляції буде визначатися за сумарною тіньовою маскою світлопрорізу та забудови.

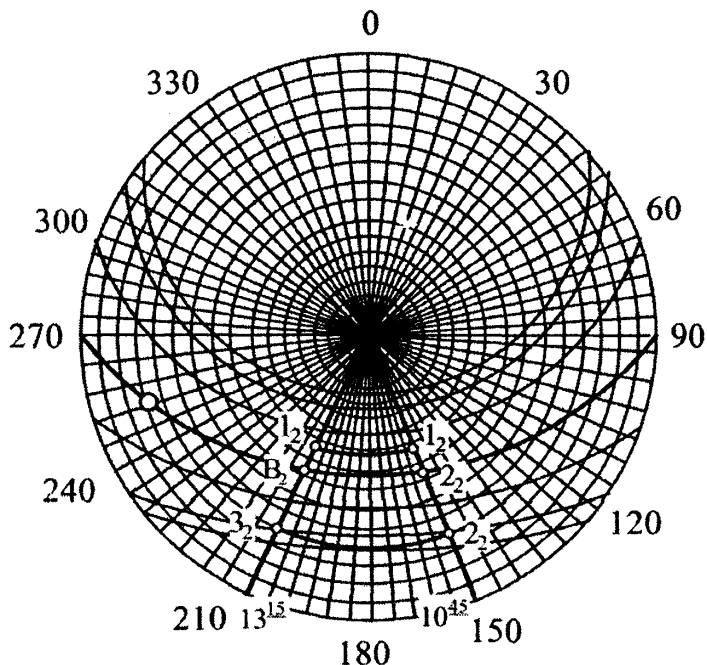


Рисунок 4.7 – Схема, що пояснює метод розрахунку тривалості інсоляції за допомогою сонячних карт: а – геометричний апарат побудови тіньової маски світлопрорізу на небесній сфері та сонячній карті; б – визначення часу інсоляції на сонячній карті

Фактична тривалість інсоляції приміщення може бути більшою ніж тривалість інсоляції РТ, оскільки у певних випадках сонячні промені можуть надходити у приміщення, але не опромінювати РТ. Тому за необхідності розрахунку повної тривалості інсоляції приміщень у загальному випадку використовується метод граничної поверхні інсоляції (ГП), за якого встановлюється час, коли хоча б один промінь перетинає умовну світлопрозору поверхню, яка обмежує внутрішній простір приміщення. Геометрична сутність цього методу розглядається нижче.

Сутність методу розрахунку тривалості інсоляції за допомогою інсоляційних лінійок пояснюється на рисунку 4.8.

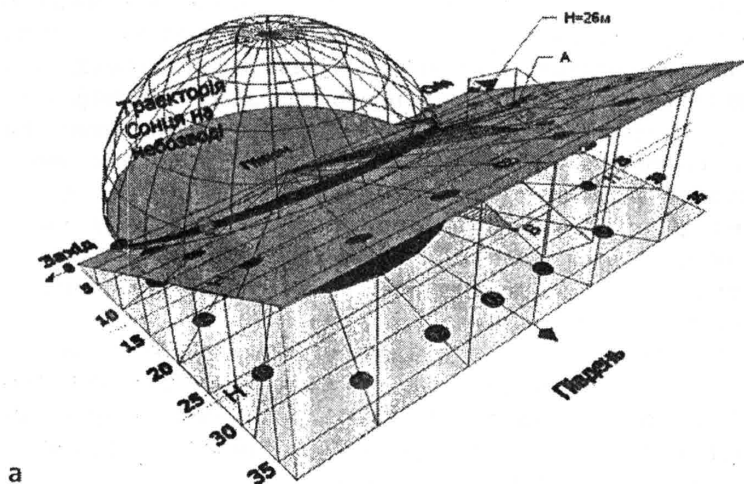
Оскільки конус сонячних променів у дні рівнодення вироджується у площину, що проходить через сонячну траєкторію 22 березня та 22 вересня, то затінювати РТ буде лише частина будинку, яка знаходиться вище цієї площини (рис. 4.8, а). У ці дні Сонце сходить точно на сході та заходить точно на заході.

У площині сонячних променів побудовані промені для кожної цілої години дня (6,7,8, ... 18 год.) та горизонталі з однаковим кроком по висоті (0, 5, 10, ... м). Ці лінії ортогонально спроектовані на площину горизонту.

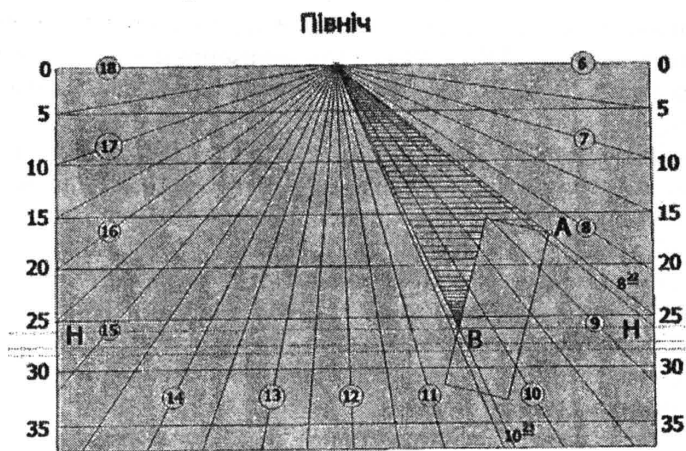
У зв'язку з тим, що ця проекція і є, по суті, інсоляційною лінійкою, то визначення часу затінення РТ протилежним будинком можна проводити безпосередньо за допомогою лінійки, виконаної у масштабі креслення плану (рисунок 4.8, б). У цьому випадку частина будинку, що затінює РТ, знаходиться між горизонталлю з відміткою Н (Н - висота будинку над РТ) і РТ, а горизонтальний кут затінення знаходиться між променями, що проходять через точки А і В.

При визначенні часу інсоляції приміщень необхідно враховувати горизонтальний кут інсоляції.

Найбільш універсальним методом розрахунку тривалості інсоляції приміщень є метод сонячної карти з використанням ГП. Однак він є і найбільш трудомістким. Тому в залежності від складності задачі рекомендується використовувати різні методи розрахунку тривалості інсоляції приміщень (рис. 4.9), виходячи з наступного.



а



б

Рисунок 4.8 – Схема, що пояснює метод розрахунку тривалості інсоляції за допомогою інсоляційних лінійок: а – геометричний апарат побудови тіньової маски протилежного будинку ні інсоляційній лінійці; б – визначення часу інсоляції на інсоляційній лінійці

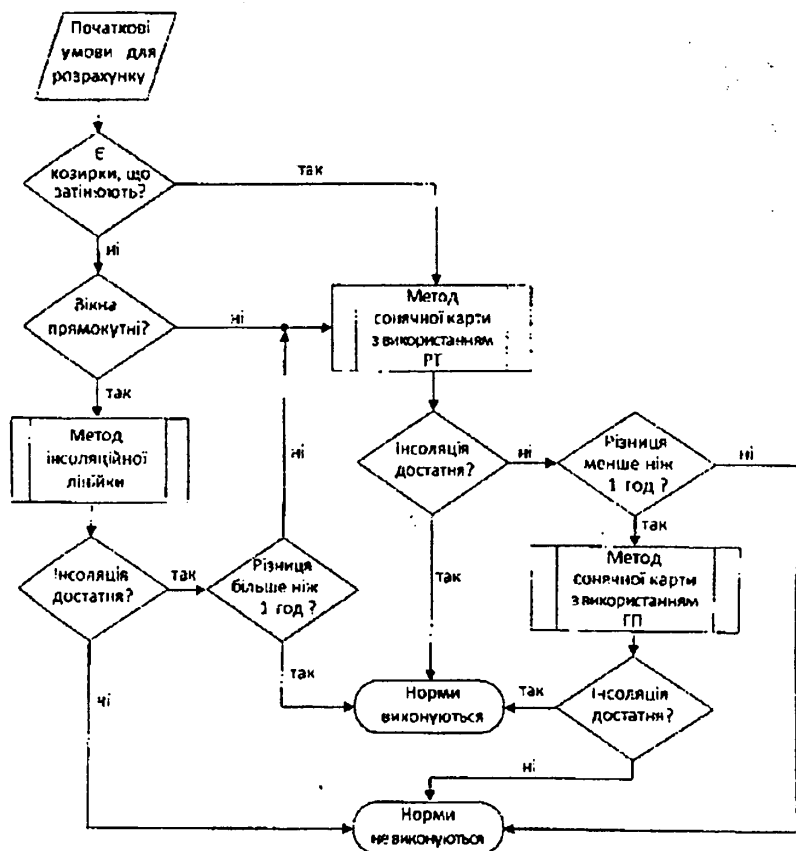


Рисунок 4.9 – Рекомендований алгоритм використання різних методів розрахунку тривалості інсоляції приміщень при аналізі виконання санітарних норм

Для кімнат із прямокутними вікнами висотою, більшою за товщину стіни, які не затінюються козирками, розрахунок тривалості інсоляції достатньо проводити з використанням інсультційної лінійки для першого та останнього дня розрахункового періоду. Виконання

нання нормативних вимог у ці дні в більшості випадків гарантує їх виконання протягом усього розрахункового періоду на всій території України.

Винятком із цього положення є випадок, коли приміщення інсолюється з ділянки неба, розташованої між двома чи більше висотними будинками. У цьому випадку виконання норм інсоляції 22 березня і 22 вересня не гарантує їх виконання в інші дні нормативного періоду інсоляції (рис. 4.10). Інсоляційний режим такого приміщення можна вважати задовільним у випадку, коли тривалість інсоляції, яка розрахована за допомогою інсоляційної лінійки, перевищує нормативну більш ніж на 1 год.

Для всіх інших випадків розрахунок слід проводити із використанням сонячної карти. При цьому метод РТ оцінює достатні умови, а метод ГП – необхідні умови, тобто незначне невиконання нормативних вимог за методом РТ не завжди означає незадовільний інсоляційний режим приміщення. У цьому випадку остаточне визначення тривалості інсоляції приміщення може бути проведено за допомогою методу ГП.

4.7 Вибір приміщень та світлопрорізів для розрахунку тривалості інсоляції приміщень

Розрахунок тривалості інсоляції виконується для приміщень, у яких вона нормується відповідно до СанПиН 2605.

При аналізі виконання інсоляційних норм у житлових багатопверхових будинках, якщо квартири, що розташовані одна під одною, мають однакове розпланування на всіх поверхах, розрахункові квартири беруть на найнижчому житловому поверсі. На всіх інших поверхах тривалість інсоляції відповідних приміщень буде не меншою.

Якщо на найнижчому житловому поверсі є квартири, однакові за розплануванням та орієнтацією, то розрахунок тривалості інсоляції цих квартир доцільно починати з квартири, що найбільш затінюється протилежними будинками та рельєфом місцевості. За умов виконання норм у цій квартирі усі інші аналогічні квартири будуть

мати задовільний інсоляційний режим¹⁵.

У багатокімнатних квартирах розрахунок тривалості інсоляції доцільно починати з житлової кімнати, що має найкращі умови інсоляції за наступними ознаками:

- сприятлива орієнтація;
- відсутність літніх приміщень;
- найбільші геометричні розміри вікна;
- найбільша відстань від сусідніх будинків.

Якщо в цій кімнаті норми інсоляції виконуються, а квартира складається не більш ніж із трьох житлових кімнат, то норми інсоляції виконуються і в цілому по квартирі. Для 4-, 5-кімнатних квартир необхідно перевірити також інсоляцію наступної за ймовірністю виконання норм кімнати, а для квартир, що складаються з шести та більше кімнат, – двох кімнат¹⁶.

У гуртожитках, де норми інсоляції повинні виконуватися не менш ніж у 60% спальних кімнат, аналіз інсоляційного режиму доцільно починати з найбільш сприятливих приміщень з урахуванням попередніх рекомендацій.

У дитячих дошкільних установах, школах, школах-інтернатах, лікувально-профілактичних установах, санаторно-курортних та інших оздоровчих закладах необхідно перевірити виконання норм інсоляції у всіх основних функціональних приміщеннях відповідно до ДСанПіН 5.5.2008; ДСП 172; ДБН В.2.2-3; ДБН В.2.2-4.

У приміщеннях, які мають декілька світлопрорізів, розрахунок інсоляції доцільно починати з світлопрорізу, який має найкращі умови інсоляції. Якщо для нього норми забезпечуються, то це свідчить, що приміщення має задовільний інсоляційний режим. Якщо

¹⁵ Це положення розповсюджується на випадок, коли перед будинком, що розраховується, розташовані будинки, які мають вертикальні стіни і призматичну чи циліндричну форму. А для будинків більш складної форми (наприклад, кулеподібної чи розширеної догори) необхідно дослідити інсоляцію всіх приміщень, вікна яких частково затінюються проєктованою будівлею.

¹⁶ Ступінь сприятливості орієнтації вікон за умовами інсоляції визначається згідно з рисунком 4.11 залежно від вимог до інсоляційного режиму приміщень.

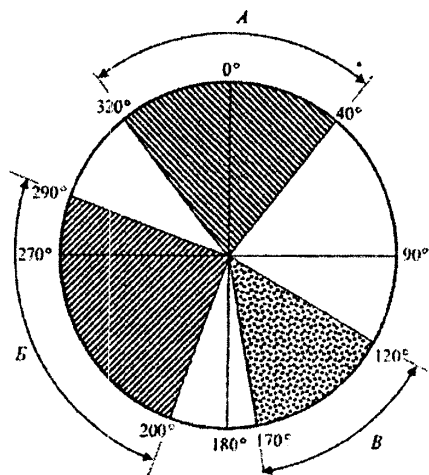
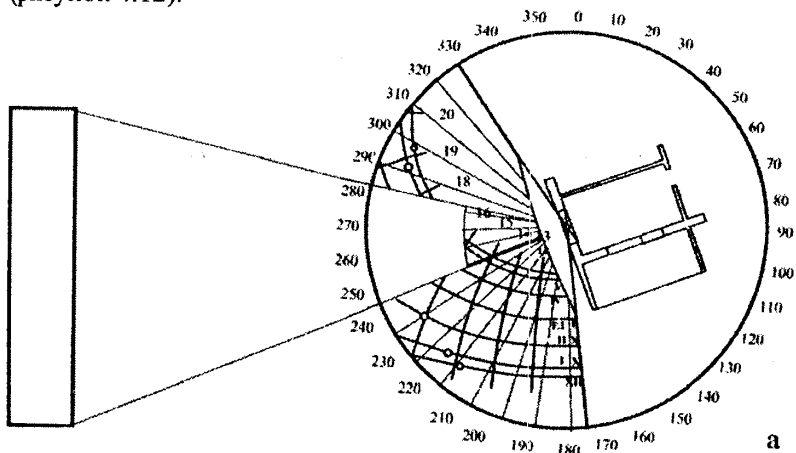


Рисунок 4.11 –
 Інсоляційні характеристики
 секторів горизонту на тери-
 торії України:
 А – сектор дефіциту інсоля-
 ції; Б – сектор перегрівання
 (для III та IV будівельно-
 кліматичних районів); В – се-
 сектор максимального ефекту
 ультрафіолетової радіації

для цього вікна норми не забезпечуються, то будується суміщена тіньова маска приміщення, яка утворюється шляхом накладання суміщених тіньових масок всіх розрахункових світлопрорізів та виявлення зони небозводу, що затінюється на всіх тіньових масках (рисунок 4.12).



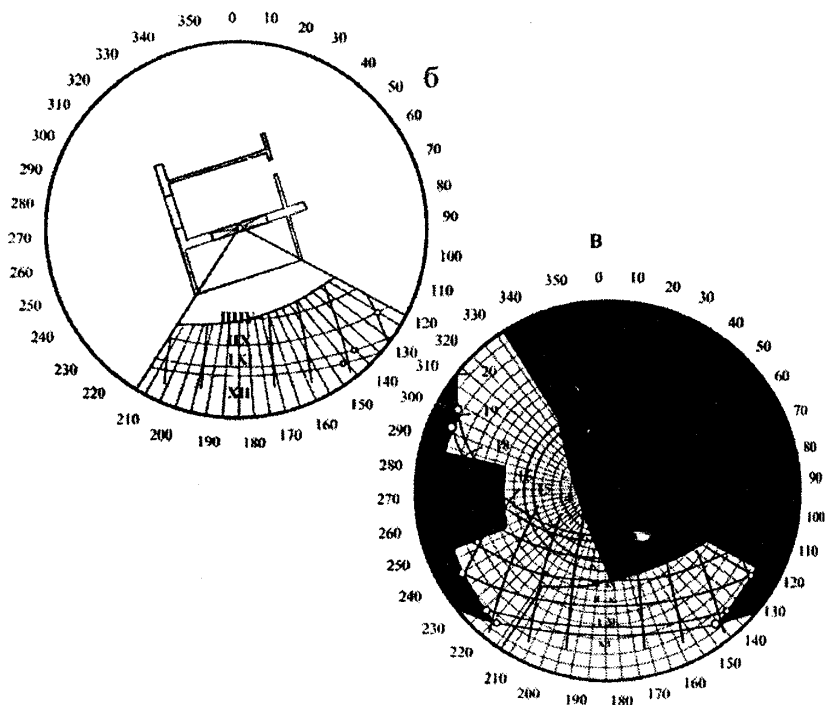


Рисунок 4.12 – Приклад утворення суміщеної тіньової маски приміщення: а - суміщена тіньова маска світлопрорізу № 1; б - суміщена тіньова маска світлопрорізу 2; в - суміщена тіньова маска приміщення для розрахунку тривалості інсоляції

4.8 Розрахунок тривалості інсоляції з застосуванням інсоляційної лінійки

Даний метод можна використовувати як для розрахунку тривалості інсоляції приміщень так і територій житлової забудови.

Цей розрахунок визначає час інсоляції лише для двох днів року - 22 березня та 22 вересня.

В Україні використовуються інсоляційні лінійки, побудовані

для кожного цілого градуса від 45° до 52° пн. ш. (додаток А [8]). Для конкретного місця розрахунку беруть найближчу інсоляційну лінійку залежно від географічної широти. Масштаб інсоляційної лінійки повинен збігатися з масштабом генплану.

Розрахунок тривалості інсоляції виконується у РТ¹⁷:

- у центрі вікна приміщення, яке розраховується;
- у вузлах сітки, яка наноситься на ділянку території житлової забудови, що розраховується.

Розрахунок тривалості інсоляції за допомогою інсоляційної лінійки виконується в такій послідовності:

- визначається горизонтальний кут інсоляції: при розрахунку тривалості інсоляції приміщення - на плані приміщення з урахуванням вертикальних екрануючих елементів світлопрорізу (рис. 4.13), при розрахунку тривалості інсоляції території $\alpha = 180^\circ$;
- інсоляційна лінійка орієнтується за сторонами горизонту відповідно до орієнтації генплану і суміщається з генпланом так, щоб полюс графіка (точка, де збігаються сонячні промені), збігався з РТ;
- у межах горизонтального кута інсоляції визначаються сектори затінення протилежними будинками та поверхнею рельєфу (див. рис. 4.8);
- розрахункова тривалість інсоляції визначається з 7^{00} до 17^{00} як різниця між тривалістю інсоляції у

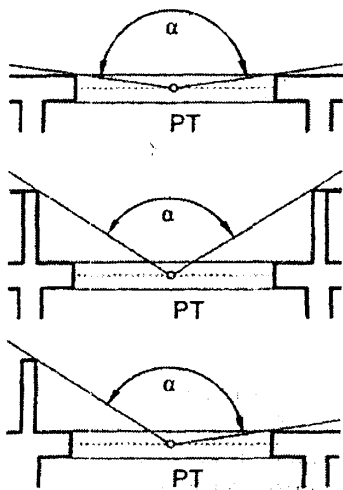


Рисунок 4.13 – Визначення горизонтального кута інсоляції у прямокутних вікнах

¹⁷ Кількість РТ при розрахунку тривалості інсоляції ділянки території повинна бути достатньою для визначення виконання норм інсоляції на всій території.

межах горизонтального кута інсоляції та тривалістю затінення протилежними будинками та рельєфом.

Гігієнічний норматив інсоляції вважається виконаним, якщо тривалість інсоляції будь-якого окремого періоду інсоляції не менше нормативної тривалості безперервної інсоляції, або розрахункова тривалість переривчастої інсоляції не менше ніж на 0,5 год. перевищує нормативну тривалість безперервної інсоляції.

Приклад. Вікно прямокутної форми у вертикальній стіні затінюється трьома будинками: А, Б, В висотою $H = 67$ м (рисунк 4.14, а).

При визначенні тривалості інсоляції приміщення встановлено, що:

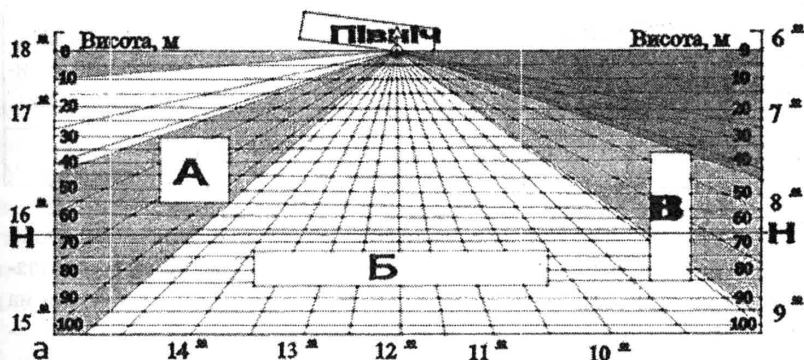
- будинок А розташований ближче від горизонталі Н на інсоляційній лінійці, тому затінює РТ у межах усього кута видимості;

- будинок Б розташований далі від РТ ніж горизонталь, тому не затінює РТ;

- будинок В перетинається горизонтальною площиною з відміткою Н, тому затінювати РТ буде лише частина будинку, що розташована між горизонталлю Н та РТ у межах горизонтального кута інсоляції.

Приклад. Вікно прямокутної форми у вертикальній стіні затінюється фрагментом рельєфу, представленим горизонталями (рисунк 4.14, б).

Затінюючими елементами є ділянки горизонталей, що розташовані ближче за відповідні горизонталі на інсоляційній лінійці. На рисунку ці ділянки позначені точками, причому білі точки визначають сектори затінення РТ рельєфом місцевості, чорні ж точки знаходяться в межах цих секторів і до уваги не беруться.



Характеристики розрахункової інсоляції, год.						Гігієнічний норматив інсоляції, год.
Початок	Кінець	Перерва	Тривалість			
			загаль- на	розрахун- кова	найбільша безперервна	
8 ⁵⁰	17 ⁰⁰	$\frac{14^{45}-16^{25}}{1^{40}}$	6 ³⁰	6 ³⁰	5 ⁵⁵	2 ³⁰

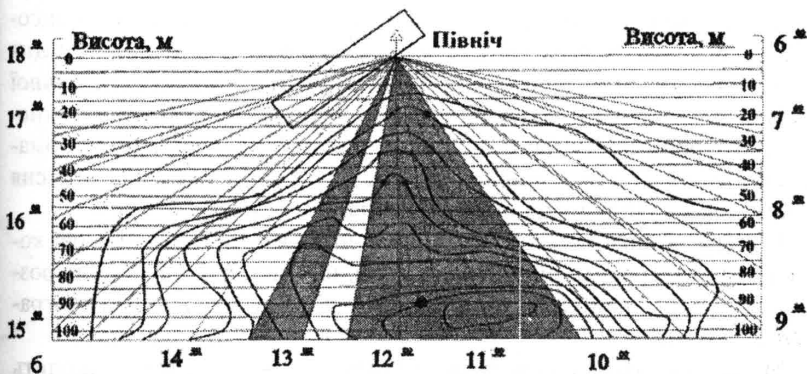


Рисунок 4.14 – Приклади розрахунку тривалості інсоляції приміщень із застосуванням інсоляційної лінійки

Характеристики розрахункової інсоляції, год.							Гігієнічний норматив ін- соляції, год.
Поча ток	Кі- нець	Перерви		Тривалість			
		перша	друга	загаль- на	розраху- нкова	найбільша безперервна	
7 ⁰⁰	14 ³⁰	$\frac{10^{15}-12^{32}}{2^{17}}$	$\frac{13^{00}-13^{30}}{0^{30}}$	4 ⁴³	4 ¹⁵	3 ¹⁵	2 ³⁰

При аналізі інсоляції об'єкта цивільного призначення, що складається з кількох приміщень, у яких нормується тривалість інсоляції, висновок про виконання норм у цілому по об'єкту робиться на основі зіставлення кількості кімнат, у яких гігієнічний норматив інсоляції виконується з мінімально достатньою кількістю таких кімнат згідно з СанПиН 2605 та іншими відповідними нормативними документами.

4.9 Розрахунок тривалості інсоляції з застосуванням сонячної карти за методом розрахункової точки

Розрахунок тривалості інсоляції із застосуванням сонячної карти за методом розрахункової точки дозволяє проаналізувати інсоляційний режим приміщень та територій протягом будь-якого дня року з урахуванням будь-яких затінюючих РТ елементів довільної форми світлопрорізу, балконних плит, козирків, інших сонцезахисних пристроїв, оточуючих будинків та рельєфу. Виконання нормативних вимог кожного дня періоду року з 22 березня до 22 вересня є достатньою умовою виконання інсоляційних норм.

В Україні використовуються сонячні карти, побудовані для кожного цілого градуса від 45° до 52° пн. ш. (додаток Б [8]). Для розрахунку беруть найближчу інсоляційну лінійку залежно від географічної широти.

За цим методом у кожній вертикальній площині, що проходить через РТ у межах горизонтального кута інсоляції, визначається вертикальний кут інсоляції та вертикальний кут затінення сусідніми будинками та рельєфом, які і застосовуються для побудови суміщеної тіньової маски світлопрорізу.

РТ у світлопрорізах загального положення приймається у верти-

сальній січній площині, перпендикулярній до серединної поверхні світлопрорізу в його центральній точці, як точка перетину серединної поверхні і променя, що обмежує вертикальний кут інсоляції нижньої внутрішньої точки перетину світлопрорізу його екрануючими елементами (рисунок 4.15, а).

У горизонтальних світлопрорізах – зенітних ліхтарях РТ приймається в центрі отвору в плиті покриття (рисунок 4.15, б),

Приклади розташування РТ для деяких типів світлопрорізів у вертикальних стінах наведено на рисунку 4.15, в г, у нахилених стінах та скатних дахах - на рисунку 4.15, д.

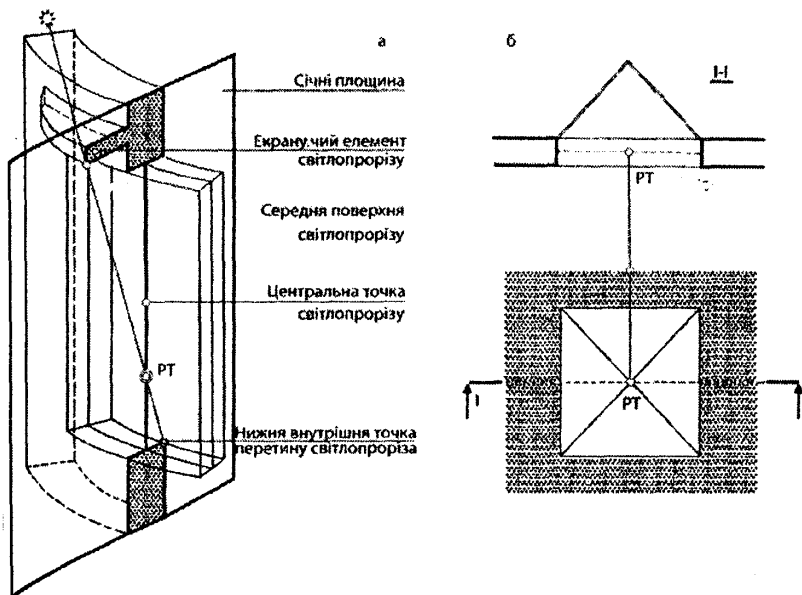


Рисунок 4.15 – Місцезнаходження розрахункових точок для різних типів світлопрорізів: а – у світлопрорізах загального положення; б – у горизонтальних світлопрорізах; в – на плані у вертикальних стінах; г – на розрізі у вертикальних стінах; д – у світлопрорізах у нахилених стінах та похилих дахах; початок

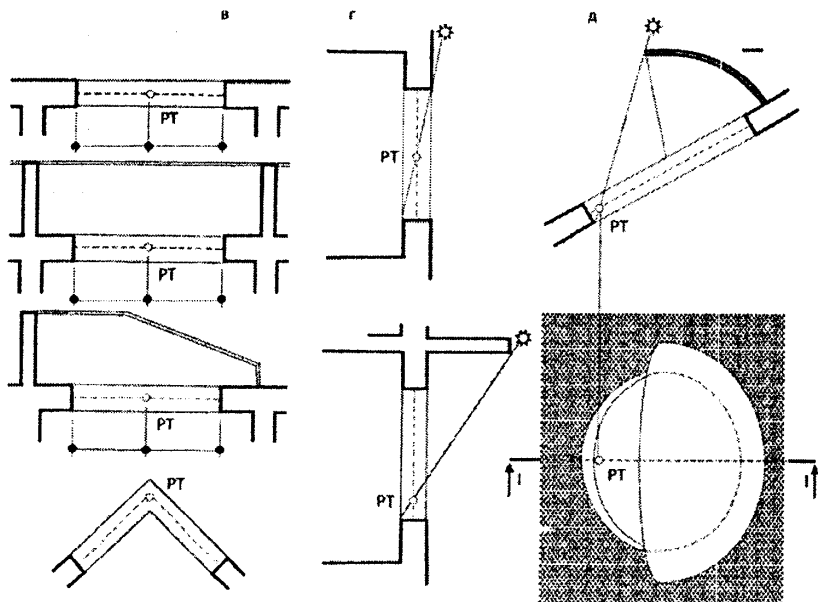


Рисунок 4.15 – Місцезнаходження розрахункових точок для різних типів світлопрорізів: а – у світлопрорізах загального положення; б – у горизонтальних світлопрорізах; в – на плані у вертикальних стінах; г – на розрізі у вертикальних стінах; д – у світлопрорізах у нахилених стінах та похилих дахах

Горизонтальний кут інсоляції у світлопрорізах, розташованих у вертикальних стінах, визначається з урахуванням розташованих із боків світлопрорізів вертикальних екранів (стілки лоджій, пілони, вертикальні сонцезахисні пристрої тощо), що обмежують їх.

У світлопрорізах, розташованих у нахилених стінах та дахах, а також у зенітних та шахтних ліхтарях, горизонтальний кут інсоляції приймають 360° .

При побудові тіньової маски затінення сусідніми будинками напрями проводяться через роги будинків, які видно з розрахункової точки. Ці напрями будуть визначати кути затінення та точки зламу тіньових масок сусідніх будинків.

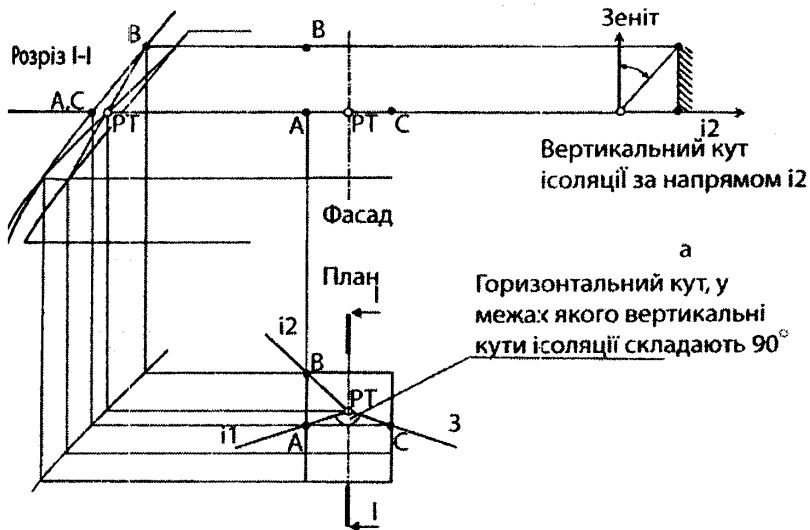


Рисунок 4.16 – Визначення вертикальних кутів інсоляції (початок)

Між точками зламу форми затінюючих елементів необхідно взяти додаткові точки для уточнення форми тіньової маски:

- на прямолінійних ділянках елементів необхідно взяти лише по одній додатковій точці, оскільки прямолінійним відрізкам на стереографічній тіньовій масці відповідають дуги кола (вертикальним прямолінійним відрізкам відповідають відрізки прямих);

- на криволінійних ділянках елементів достатньо взяти три додаткові точки для побудови на тіньовій масці плавної дуги.

Через додаткові точки також проводяться напрями з РТ. Так утворюються дві множини напрямів. А, В, С,... призначені для визначення форми тіньової маски світлопрорізу і 1, 2, 3, призначені для визначення тіньової маски оточення;

Вертикальний кут інсоляції світлопрорізу у довільному напрямі і визначається таким чином (рисунок 4.16):

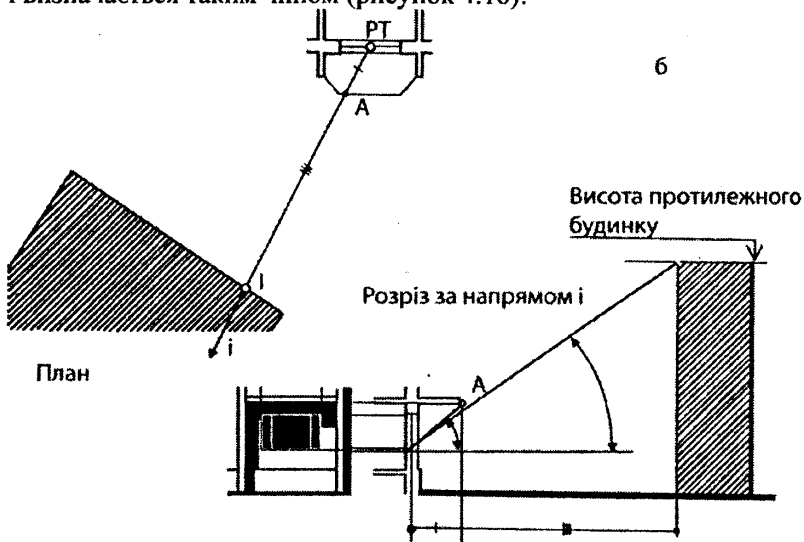


Рисунок 4.16 – Визначення вертикальних кутів інсоляції та затінення за методом РТ: а - визначення вертикальних кутів інсоляції у нахиленому світлопрорізі; б - визначення вертикальних кутів інсоляції та затінення у вертикальному світлопрорізі

- через напрям i проводиться вертикальна півплощина;
- будується схематичний переріз цією півплощиною світлопрорізу та екрануючих елементів, що розташовані біля нього та його затінюють;
- на перерізі проводиться дотична з РТ до контуру затінення світлопрорізу;
- якщо з розрахункової точки зеніт спостерігається, то вертикальний кут інсоляції β_i – це кут між вертикаллю та дотичною (рисунк 4.16, а – кут β_2), якщо не спостерігається, то β_i – кут між горизонталлю та дотичною (рисунк 4.16, б).

Примітка 1. При світлопрорізах, розташованих у нахилених стінах чи похилих дахах, для певних напрямів вертикальний кут інсоляції може складати 90° (рисунк 4.16, а).

Примітка 2. На напрямках, у яких у вертикальних півплощинах спостерігається зеніт, замість кутів інсоляції β_i , для побудови тіньової маски використовуються відповідні кути затінення $\gamma_i = 90^\circ - \beta_i$.

Примітка 3. При світлопрорізах складної форми на перерізах у певних напрямках i з РТ може не спостерігатися ні зеніт, ні горизонт. У цьому випадку вертикальний кут інсоляції світлопрорізу буде обмежений дотичними до екрануючих елементів світлопрорізу.

Вертикальний кут затінення оточення для довільного напрямку i визначається таким чином (рисунк 4.16, б):

- через відповідний напрям i проводиться вертикальна півплощина;
- будується схематичний переріз цією півплощиною затінюючого об'єкта;
- на перерізі проводиться з РТ дотична до контуру затінення;
- вертикальний кут затінення γ_i – це кут між горизонталлю та дотичною.

Примітка. При затінюючих будинках складної форми (кулеподібної чи розширеної догори) у певних напрямках i вертикальний кут затінення може бути обмежений знизу не лінією горизонту, а

нижньою дотичною до перерізу будинку січною півплощиною.

Тіньова маска світлопрорізу за методом РТ будується у такій послідовності:

- на плані визначається положення РТ (див. рис. 4.15);
- визначається горизонтальний кут інсоляції;
- на плані визначаються розрахункові напрями інсоляції $A, B, C, \dots$;
- ці напрями відносно півночі наносяться на носій тіньової маски так, щоб вони пройшли через полюс сонячної карти;
- за кожним напрямом $A, B, C, \dots$ визначаються вертикальні кути інсоляції $\beta_A, \beta_B, \beta_C, \dots$ (див. рис. 4.16);
- значення цих кутів відкладаються на відповідних напрямках на носії тіньової маски за допомогою шкали альмукантаратів сонячної карти;
- отримані точки з'єднуються кривою з урахуванням точок злам;
- заштриховується частина небозводу, що не спостерігається з розрахункової точки.

Тіньова маска окремого протилежного будинку за методом РТ будується у такій послідовності:

- на генплані визначається горизонтальний кут затінення РТ будинком та напрямом 1, 2, 3, ..., у яких буде мати місце злам контуру тіньової маски;
- ці напрями відносно півночі наносяться на носій тіньової маски так, щоб вони пройшли через полюс сонячної карти;
- за кожним напрямом 1, 2, 3, ... визначаються вертикальні кути затінення $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots$ (див. рис. 4.16, б);
- значення цих кутів відкладаються на відповідних напрямках на носії тіньової маски за допомогою шкали альмукантаратів сонячної карти;
- отримані точки з'єднуються кривою з урахуванням точок злам;
- заштриховується частина небозводу, що затінюється будинком.

Тіньова маска затінення від рельєфу будується аналогічно.

Суміщена тіньова маска утворюється накладенням тіньових масок світлопрорізу та оточення.

Розрахунковий час інсоляції визначається незатіненими ділян-

ками сонячних траєкторій за розрахунковий період доби з початку другої години після сходу Сонця до початку останньої години перед його заходом.

Приклад. Світлопроріз прямокутної форми у вертикальній стіні загінюється вищерозташованою балконною плитою складної форми. Навпроти світлопрорізу є протилежний будинок (рис. 4.17). Район будівництва - м. Київ ($\varphi = 50,4^\circ$ пн. ш.).

Суміщена тіньова маска світлопрорізу побудована у такій послідовності:

- на генплані з розрахункової точки проводяться напрями на роги сусіднього будинку, які видно з розрахункової точки, – напрями на точки 1, 2, 3 (рис. 4.17, а). Таким чином визначається горизонтальний кут загінення сусіднім будинком. Такі ж напрями відносно півночі проводяться з центра сонячної карти (рис. 4.17, д);

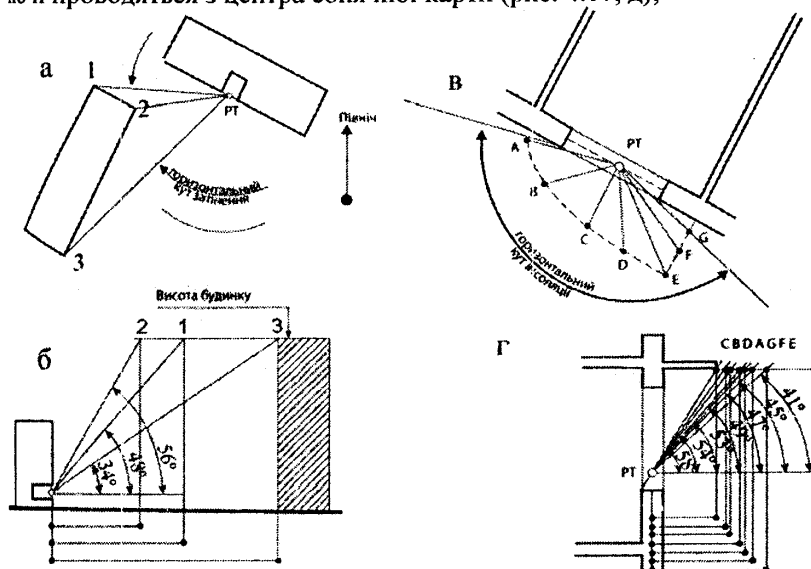


Рисунок 4.17 – Приклад розрахунку тривалості інсоляції приміщення за методом РТ (початок)

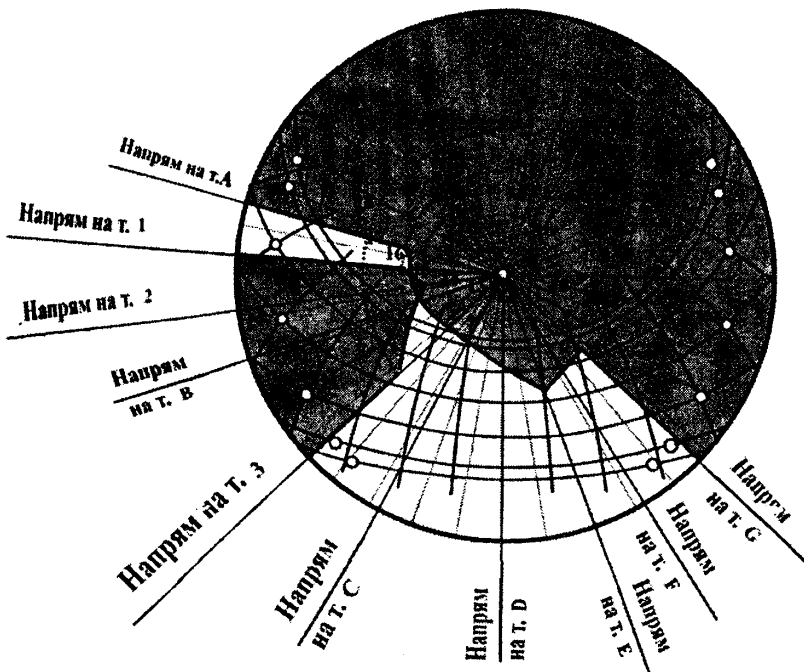


Рисунок 4.17 – Приклад розрахунку тривалості інсоляції приміщення за методом РТ: а – визначення горизонтального кута затінення сусіднім будинком та напрямів для побудови тіньової маски забудови; б – визначення вертикальних кутів затінення сусіднім будинком; в – визначення горизонтального кута інсоляції та напрямів для побудови тіньової маски світлопрорізу; г - визначення вертикальних кутів інсоляції; д - побудова тіньової маски для розрахунку тривалості інсоляції приміщення

- за кожним напрямом визначаються натуральні величини вертикальних кутів затінення (рис. 4.17, б). Значення цих кутів відкладаються на відповідних напрямках на сонячній карті за допомогою шкали альмукантаратів (рисунок 4.17, д);
- за отриманими точками будується тіньова маска забудови. Для

уточнення контуру тіньової маски сусіднього будинку необхідно взяти додаткові точки на ребрах 12 та 23, тому що на сонячній карті прямолінійним ребрам відповідають дуги кіл;

- на плані приміщення з РТ проводяться промені до зовнішніх ребер бокових укосів вікна - напрямки на точки А та G (рис. 4.17, в). Таким чином визначається горизонтальний кут інсоляції. У межах горизонтального кута інсоляції проводяться додаткові напрямки - напрямки на точки В, С, D, E, F. При цьому обов'язково треба провести напрям на точку E, де наявний злам козирка. Такі ж напрямки відносно півночі проводяться з центра сонячної карти (рис. 4.17, д);

- на розрізі приміщення для кожного напрямку визначається вертикальний кут інсоляції (рис. 4.17, г). Значення цих кутів відкладаються на відповідних напрямках на сонячній карті за допомогою альмукантаратів (рис. 4.17, д). За отриманими точками будується тіньова маска світлопрорізу. При цьому слід мати на увазі, що точкам зламу контуру козирка будуть відповідати злами на контурі тіньової маски;

- суміщена тіньова маска отримана накладанням тіньових масок світлопрорізу та сусіднього будинку.

Розрахункова тривалість інсоляції визначена у таблиці 4.3 за часом, що відповідає точкам перетину відповідних проекцій траєкторій Сонця з контуром суміщеної тіньової маски.

Для побудови тіньових масок від сусідніх будинків, що мають форму прямокутних паралелепіпедів (чи складаються з них), можна застосовувати тіньовий кутомір (додаток В [8]). Тіньовий кутомір являє собою систему кривих – тіньових масок від прямолінійних будинків нескінченної довжини, що мають кутові висоти відносно РТ 0, 5, 10, ..., 80, 85, 90°, та систему радіальних ліній. Тіньовий кутомір та сонячна карта повинні мати однаковий масштаб.

Для побудови тіньової маски від будинку, що має однакову відмітку карниза, достатньо визначити вертикальний кут затінення від будь-якої його стіни, яка спостерігається з РТ, оскільки початок дуги, що обмежує тіньову маску кожної наступної стіни, буде збігатися з кінцем відповідної дуги попередньої стіни.

Таблиця 4.3 – Визначення розрахункової тривалості інсоляції приміщення

Місяць	Характеристики розрахункової інсоляції, год.						Нормативна тривалість інсоляції, год.
	Початок	Кінець	Перерви	Тривалість			
			початок-кінець тривалість	загальна	розрахункова	найбільша безперервна	
XII	9 ⁰³	14 ⁵⁷	—	5 ⁵⁴	5 ⁵⁴	5 ⁵⁴	—
I, XI	8 ⁴²	15 ¹⁸	—	6 ³⁶	6 ³⁶	6 ³⁶	—
II, X	8 ⁵⁵	15 ⁰⁰	—	6 ⁰⁵	6 ⁰⁵	6 ⁰⁵	—
III, IX	9 ²¹	14 ³⁵	—	5 ¹⁴	5 ¹⁴	5 ¹⁴	2 ³⁰
IV, VIII	9 ⁴³	17 ⁵⁶	$\frac{10^{25}-11^{48}}{1^{23}}$ $\frac{14^{35}-17^{40}}{3^{05}}$	3 ⁴⁵	3 ²⁹	2 ⁴⁷	2 ³⁰
V, VII	12 ⁵⁵	18 ⁰⁷	$\frac{14^{40}-17^{08}}{2^{28}}$	2 ⁴⁴	2 ⁴⁴	1 ⁴⁵	3 ⁰⁰
VI	13 ²⁵	17 ⁵⁶	$\frac{14^{45}-16^{55}}{2^{10}}$	2 ²¹	2 ²¹	1 ²⁰	3 ⁰⁰

Послідовність побудови тіньової маски за допомогою тіньового кутоміра ілюструється на наступному прикладі.

Приклад. Затінюючий будинок має прямокутну форму плану. З РТ спостерігаються дві стіни цього будинку -12 і 23 (рис. 4.18, а).

Тіньова маска від будинку будується у такій послідовності:

- визначається вертикальний кут затінення стіною 12 (або її продовженням) у площині, перпендикулярній до неї, - кут $\gamma_{12} = 72^\circ$ (рис. 4.18, б);

- тіньовий кутомір накладається на генплан так, щоб полюс кутоміра збігся з розрахунковою точкою, а його основа була паралельна стіні 12 (рис. 4.18, в);

- за допомогою тіньового кутоміра будується крива, що відповідає куту γ_{12} ;

- відрізок цієї кривої 1'2' у межах горизонтального кута затінення стіни 12 обмежує тінь від цієї стіни на тіньовій масці;

- тіньовий кутомір повертається навколо РТ так, щоб він став паралельним стіні 23 (рис. 4.18, г);

- за допомогою тінювого кутоміра будується крива, що проходить через точку 2';
- відрізок цієї кривої 2'3' в межах горизонтального кута затінення стіною 23 обмежує тінь від цієї стіни на тінювій масці;
- сума тінювих масок від стін 12 і 23 являє собою тінюву маску від будинку.

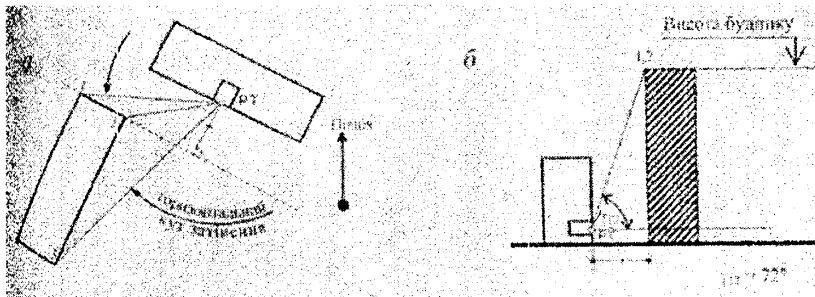


Рисунок 4.18 – Приклад побудови тінювої маски забудови за допомогою тінювого кутоміра за методом РТ:

- визначення горизонтального кута затінення сусіднім будинком та напрямів для побудови тінювої маски забудови;
- визначення вертикального кута затінення стіною 12 сусіднього будинку

Тінювий кутомір може бути використаний також для побудови тінювих масок від затінюючих елементів світлопрорізу (верхньої грані прорізу, балконних плит, плит лоджій, козирків тощо), якщо ці елементи обмежені горизонтальними ребрами. Продемонструємо побудову тінювої маски на прикладі

Приклад. Над світлопрорізом розташована балконна плита, що в межах відрізків прямих АВ і ВС затінює вікно (рис. 4.19, а).

Тінюва маска від балконної плити побудована у такій послідовності:

- визначається вертикальний кут інсоляції в площині, перпендикулярній до ребра АВ, - кут $\beta_{AB} = 58^\circ$ (рисунок 4.19, б);

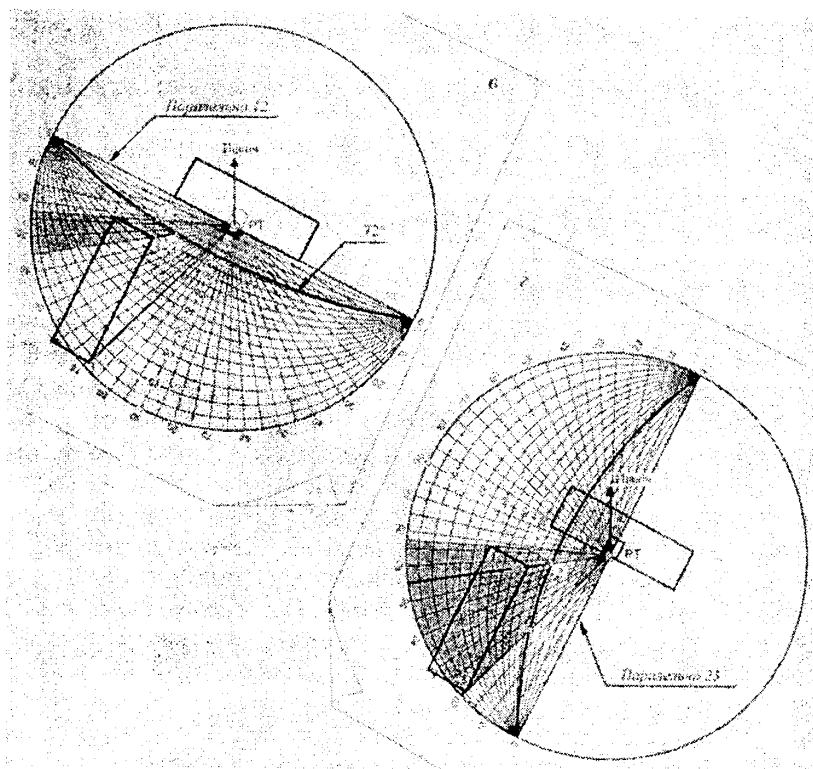


Рисунок 4.18 – Приклад побудови тіньової маски забудови за допомогою тіньового кутоміра за методом РТ:

в - побудова тіньової маски від стіни 12;

г - побудова тіньової маски від стіни 23 (продовження)

- тіньовий кутомір накладається на план так, щоб полюс кутоміра збігся з розрахунковою точкою, а його основа була паралельна грані АВ (рисунок 4.19, в);

- за допомогою тіньового кутоміра будується крива, що відповідає куту β_{AB} ;

- відрізок цієї кривої A'B' у межах горизонтального кута затінення грані АВ обмежує тінь від цієї грані на тіньовій масці;
- тіньовий кутомір повертається навколо РТ так, щоб він став паралельним грані ВС (рис. 4.19, г);

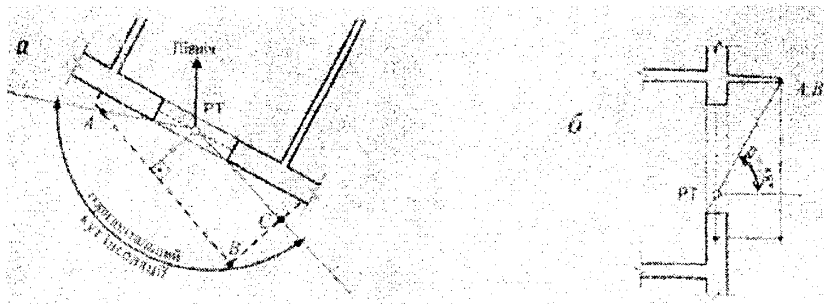


Рисунок 4.19 – Приклад побудови тіньової маски світлопрорізу за допомогою тіньового кутоміра за методом РТ: а - визначення горизонтального кута інсоляції; б - визначення вертикального кута інсоляції для ребра балконної плити АВ;

- за допомогою тіньового кутоміра будується крива, що проходить через точку В';
- відрізок цієї кривої В'С' у межах горизонтального кута затінення грані ВС обмежує тінь від цієї грані на тіньовій масці;
- сума тіньових масок від граней АВ і ВС являє собою тіньову маску від балконної плити.

Примітка. Побудову тіньової маски балконної плити можна починати з будь-якого ребра, що спостерігається з РТ. При цьому достатньо визначити лише значення кута інсоляції для одного ребра, оскільки початок тіньової маски кожного наступного ребра буде збігатися з кінцем тіньової маски попереднього ребра.

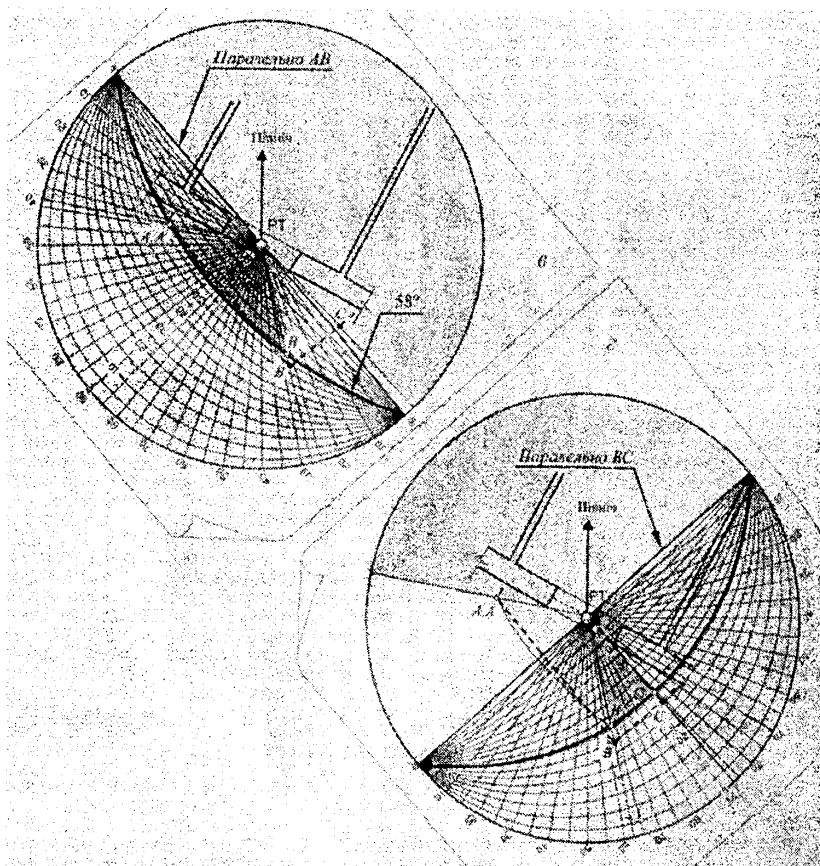


Рисунок 4.19 – Приклад побудови тіньової маски світлопрорізу за допомогою тіньового кутоміра за методом РТ: а - визначення горизонтального кута інсоляції; б - визначення вертикального кута інсоляції для ребра балконної плити АВ; в - побудова тіньової маски від частини балконної плити АВ; г - побудова тіньової маски від частини балконної плити ВС (продовження)

4.10 Розрахунок тривалості інсоляції з застосуванням сонячної карти за методом граничної поверхні інсоляції

Метод граничної поверхні інсоляції дозволяє визначити повну тривалість інсоляції приміщень. Він може бути застосований як уточнюючий розрахунок у випадку, коли тривалість інсоляції, що визначена розрахунком за методом розрахункової точки, не відповідає нормативним вимогам.

При використанні цього методу для кожного розрахункового напрямку в межах горизонтального кута інсоляції визначається максимальний вертикальний кут інсоляції та мінімальний вертикальний кут затінення сусідніми будинками та рельєфом ГП, які і застосовуються для побудови суміщеної тіньової маски світлопрорізу.

Горизонтальний кут інсоляції α визначається залежно від типу світлопрорізу (рис. 4.20).

У вертикальних плоских світлопрорізах із вертикальною віссю симетрії α дорівнює куту інсоляції ГП у горизонтальній площині, що перетинає світлопроріз у найбільш широкому місці (рис. 4.20, а).

У вертикальних плоских світлопрорізах, що не мають вертикальної осі симетрії α визначається умовною шириною світлопрорізу, яка дорівнює горизонтальній відстані між крайньою лівою та крайньою правою точками світлопрорізу (рис. 4.20, б, в).

У вертикальних опуклих призматичних та циліндричних світлопрорізах α визначається проекціями вертикальних площин, що проходять через бокові відкоси вікон і дотикаються до ГП (рис. 4.20, г, д).

За наявності з боків світлопрорізів вертикальних екранів (стінки лоджій, пілони, вертикальні сонцезахисні пристрої тощо) горизонтальний кут інсоляції визначається з урахуванням цих екранів.

У світлопрорізах, розташованих у нахипених стінах та дахах, а також у зенітних та шахтних ліхтарях, горизонтальний кут інсоляції приймають 360° .

У межах горизонтального кута інсоляції кількість розрахункових напрямів беруть залежно від форми світлопрорізу, затінюючих елементів та протилежних будинків. Їх повинно бути достатньо для

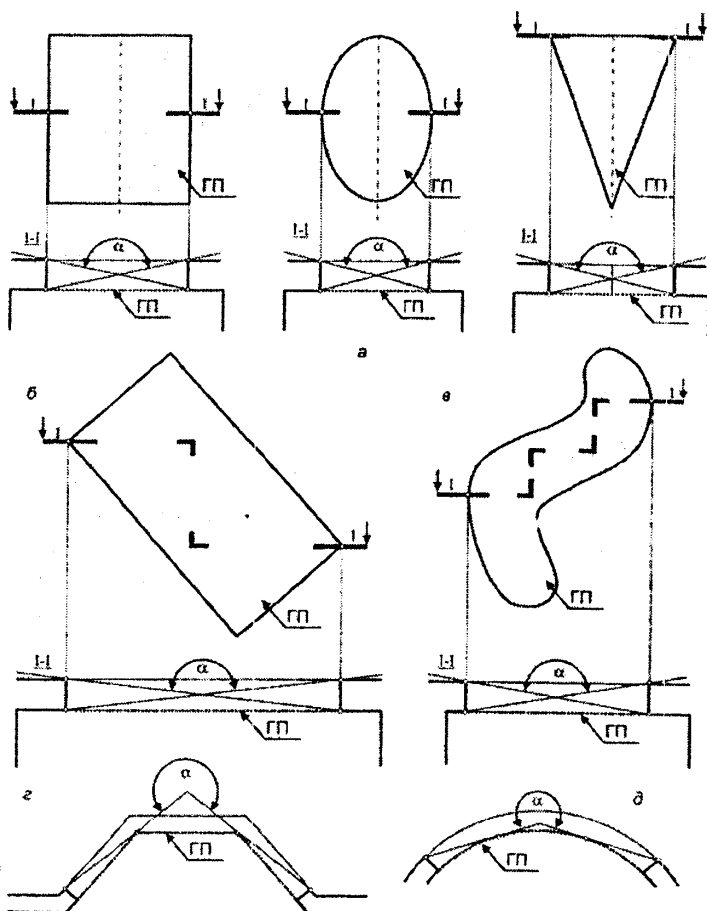


Рисунок 4.20 – Визначення горизонтальних кутів інсоляції для різних типів вертикальних світлопрорізів для розрахунку повної тривалості інсоляції: а - у світлопрорізах з вертикальною віссю симетрії; б - у несиметричних світлопрорізах простої форми; в - у світлопрорізах довільної форми; г - у призматичних випуклих світлопрорізах; д - у циліндричних опуклих світлопрорізах

коректної побудови тіньової маски.

Серед узятих напрямів повинні бути напрями, у яких має місце злам контуру тіньової маски. Ці напрями збігаються з межами кутів, що розділяють горизонтальний кут інсоляції на сектори, у межах кожного з яких характер затінення світлопрорізу однаковий. Вони зазвичай відповідають точкам зламу форми затінюючих елементів і визначаються шляхом геометричного аналізу форми затінюючих елементів фасаду та забудови.

При звичайній прямокутній формі світлопрорізу, що не затінюється ні елементами фасаду, ні протилежними будинками, тіньова маска в межах горизонтального кута інсоляції α не буде мати зламу, оскільки у смузі інсоляції у довільному напрямі $i \in \alpha$ характер затінення світлопрорізу не змінюється – вертикальний кут інсоляції у будь-якій вертикальній площині, паралельній напрямку i , однаковий і визначається положенням верхньої кромки АВ світлопрорізу відносно нижньої грані CD граничної поверхні (рис. 4.21, а).

За наявності балконної прямокутної плити над таким світлопрорізом кут α має три сектори α_1 , α_2 і α_3 , у межах кожного з яких характер затінення світлопрорізу однаковий (рисунк 4.21, б):

- у межах сектора α_1 , у довільному напрямі i_1 максимальний вертикальний кут інсоляції належить площині, що проходить через точку А;

- у межах сектора α_2 у довільному напрямі i_2 вертикальні кути інсоляції однакові й визначаються винесенням грані EF балконної плити;

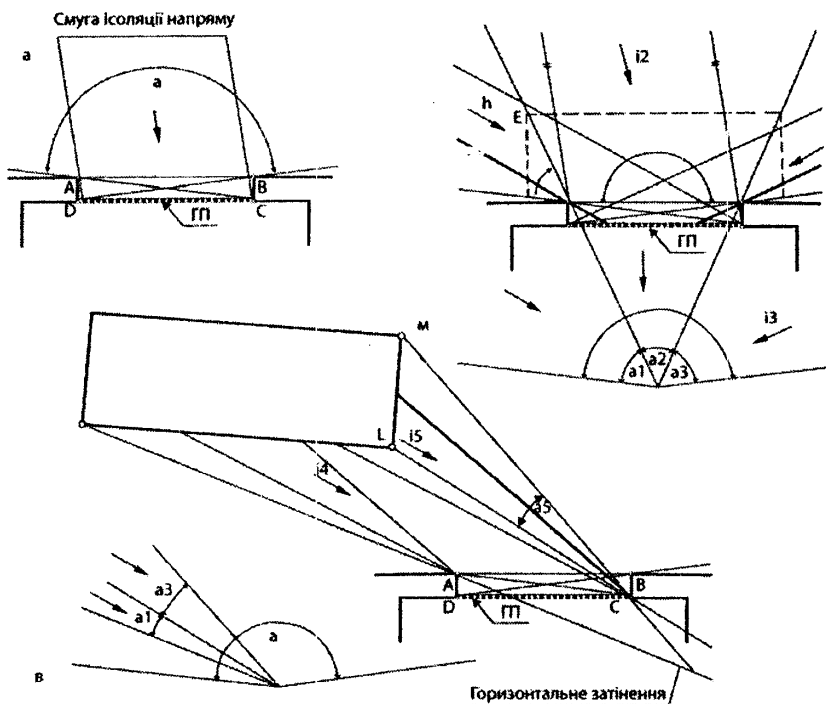
- у межах сектора α_3 у довільному напрямі i_3 максимальний вертикальний кут інсоляції належить площині, що проходить через точку В.

Таким чином, контур тіньової маски матиме дві точки зламу - на напрямках, паралельних векторам $\overline{AE}$ та $\overline{BF}$.

За наявності перед світлопрорізом затінюючого будинку, карниз якого спостерігається зі світлопрорізу, можлива незалежна побудова тіньової маски світлопрорізу без урахування затінюючого будинку та наступна побудова тіньової маски затінюючого будинку.

У межах кута α визначається горизонтальний кут затінення, що, у свою чергу, складається із секторів, які мають різні умови затінення.

Приклад. На рисунку 4.21, в у межах сектора α_4 мінімальний вертикальний кут затінення у довільному напрямі i_4 належить площині, що проходить через точку А, а в межах сектора α_5 мінімальний вертикальний кут затінення у довільному напрямі i_5 належить площині, що проходить через точку С. Таким чином, контур тіньової маски карниза будинку буде мати точку зламу на напрямі, паралельному вектору $\overline{BL}$.



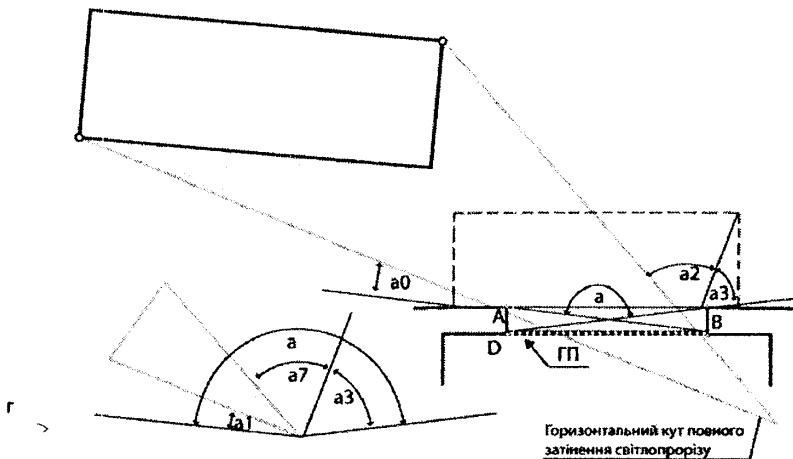


Рисунок 4.21 – Визначення напрямів, на яких має місце злам контуру тіньової маски прямокутного світлопрорізу при розрахунку повної тривалості інсоляції: а - світлопроріз без затінення; б - світлопроріз, що затінюється балконною плитою; в - затінення світлопрорізу невисоким будинком; г - затінення світлопрорізу високим будинком

За наявності перед світлопрорізом затінюючого будинку, карниз якого не спостерігається зі світлопрорізу, тіньова маска світлопрорізу повинна будуватися одночасно з тіньовою маскою будинку. При цьому точки зламу тіньової маски визначаються з урахуванням сектора повного затінення світлопрорізу протилежним будинком.

Приклад. На рисунку 4.21, г горизонтальний кут інсоляції буде мати сектор повного затінення світлопрорізу та сектора α_6 , α_7 та α_8 , які мають різні умови екранування світлопрорізу. У напрямі, паралельному вектору $\overline{BF}$, контур тіньової маски буде мати злам.

Вертикальний кут інсоляції β_i у довільному напрямі і визначається так (рисунок 4.22, а - визначення смуги інсоляції та горизонтальних відстаней до затінюючих елементів - плити лоджії та протилежного будинку - у вертикальних площинах, паралельних напрямку інсоляції і; б - визначення вертикальних кутів інсоляції (β_1 ,

$\beta_2, \beta_3, \dots$) і вертикальних кутів затінення ($\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots$) у вертикальних площинах; β_i – розрахунковий кут інсоляції у напрямі i ; γ_3 – розрахунковий кут затінення у напрямі i)

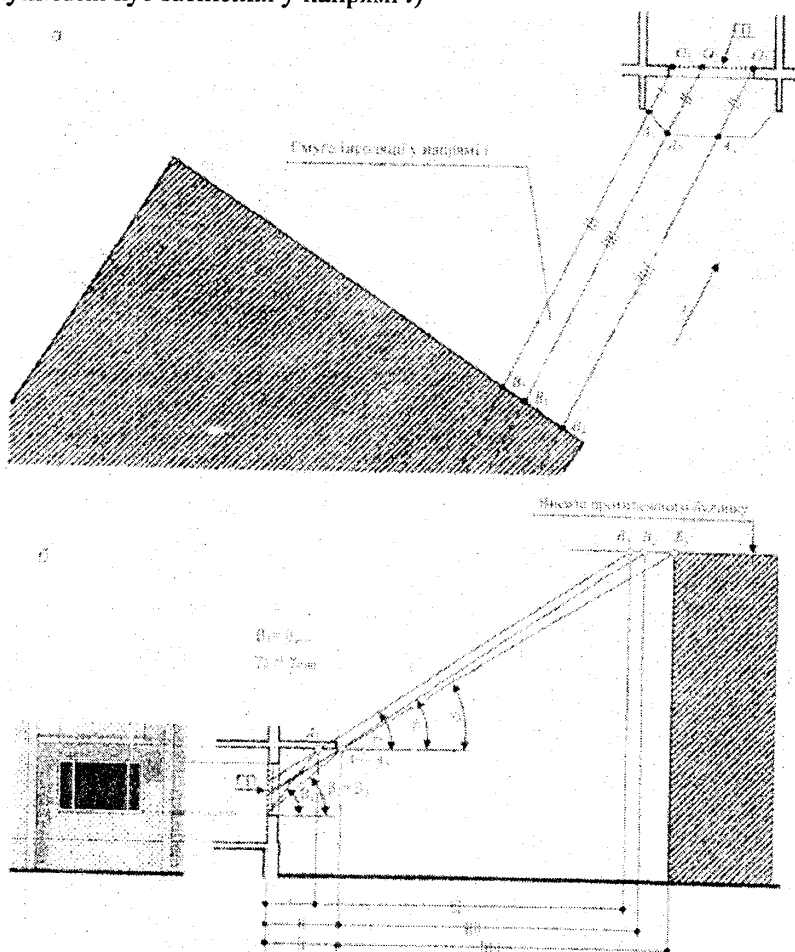


Рисунок 4.22 – Визначення розрахункових вертикальних кутів інсоляції та затінення у довільному напрямі i за методом ГП

- на плані знаходиться смуга інсоляції у напрямі i ;
- серед в'язки вертикальних площин, паралельних i , знаходиться та, у якій вертикальний кут інсоляції буде максимальним. На рис. 4.22, а - це площина, що проходить через точку A_1 , оскільки у цій площині плита лоджії має найменше винесення відносно граничної поверхні інсоляції;

- будується схематичний переріз цією площиною світлопрорізу i (за наявності) протилежного будинку і визначаються кут інсоляції та кут затінення у цій площині. На рис. 4.22, б кут інсоляції – кут β_1 , кут затінення – кут γ_1 ;

- якщо кут інсоляції β_1 виявився більшим за кут затінення γ_1 чи дорівнює йому, то $\beta_i = \beta_1$;

- якщо кут інсоляції β_1 виявився меншим за кут затінення γ_1 то із в'язки площин вилучаються площини, у яких кут затінення більший за кут інсоляції, а розрахунковий кут інсоляції знаходиться серед площин, що залишились;

- якщо в усіх площинах в'язки кути інсоляції менші за кути затінення, то світлопроріз не інсолюється у напрямі i .

Вертикальний кут затінення протилежним будинком γ_i , у довільному напрямі i визначається наступним чином (рис. 4.22):

- на плані знаходиться смуга інсоляції у напрямі i ;

- якщо протилежний будинок не перетинає смугу інсоляції чи перетинає її частково, то $\gamma_i = 0$, інакше:

- серед в'язки вертикальних площин, паралельних i , знаходиться та, у якій вертикальний кут затінення буде мінімальним. На рис. 4.22, а - це площина, що проходить через точку A_3 , оскільки у цій площині відстань від точки інсоляції O_3 до протилежного будинку найбільша;

- будується схематичний переріз цією площиною світлопрорізу та протилежного будинку, і визначаються кут інсоляції та кут затінення у цій площині. На рис. 4.22, б кут інсоляції - β_3 , кут затінення - γ_3 ;

- якщо кут інсоляції β_3 виявився більшим за кут затінення γ_3 чи дорівнює йому, то $\gamma_i = \gamma_3$;

- якщо кут інсоляції β_3 виявився меншим за кут затінення γ_3 , то із в'язки площин вилучаються площини, у яких кут затінення більший за кут інсоляції, і розрахунковий кут затінення знаходиться серед площин, що залишилися;

- якщо в усіх площинах в'язки кути інсоляції менші за кути затінення, то світлопроріз не інсолується у напрямі i .

Визначення вертикальних кутів затінення від поверхні рельєфу місцевості у довільному напрямі i проводиться аналогічно.

Ураховуючи те, що розміри протилежного будинку та відстань від нього до світлопрорізу зазвичай значно перевищують розміри окремого світлопрорізу, а явище дифракції сонячних променів призводить до значної розмитості межі тіні від віддалених об'єктів, дозволяється при визначенні кутів затінення ГП протилежним будинком брати їх рівними кутам затінення РТ світлопрорізу для відповідних напрямів. Це ж попоження діє і для поверхонь рельєфу.

Суміщена тіньова маска світлопрорізу за методом ГП будується у такій послідовності:

- на плані визначається горизонтальний кут інсоляції α (див. рис. 4.20);

- на плані та генплані визначаються розрахункові напрями інсоляції $i_1, i_2, i_3, \dots$ (див. рис. 4.21);

- ці напрями відносно півночі наносяться на носій тіньової маски так, щоб вони пройшли через полюс сонячної карти;

- за кожним напрямом визначаються вертикальні кути інсоляції $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$ та вертикальні кути затінення інсоляції $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots$ (див. рис. 4.22);

- значення цих кутів відкладаються на відповідних напрямках на носії тіньової маски за допомогою шкали альмукантаратів сонячної карти;

- отримані точки з'єднуються кривою з урахуванням точок зламу.

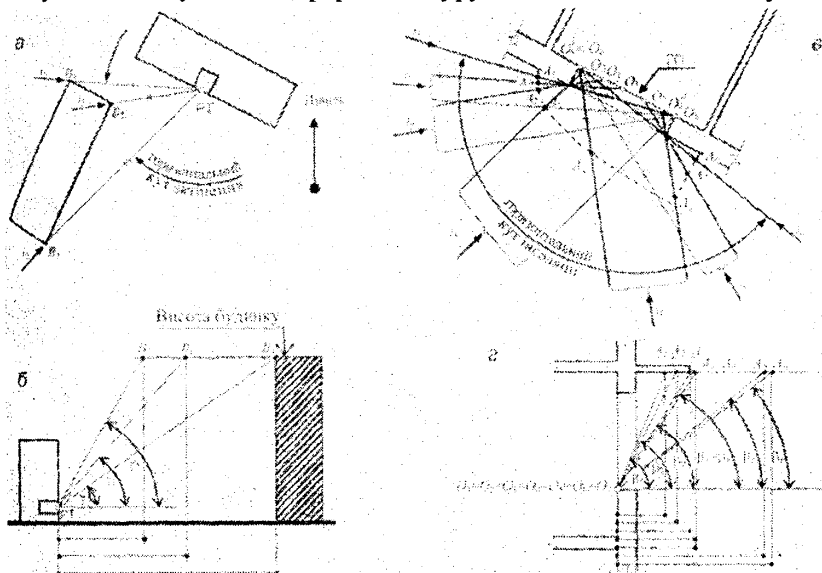
Примітка. Якщо вертикальні кути затінення від протилежних будинків та рельєфу свідомо менші за кути інсоляції за всіма напрямками в межах горизонтального кута інсоляції, то доцільно бу-

дувати тіньові маски світлопрорізу та оточення на окремих носіях тіньових масок з наступним їх суміщенням.

Приклад. Для ситуації, розглянутої у прикладі на рисунку 4.17, розрахувати повну тривалість інсоляції приміщення за методом ГП (рис. 4.23).

Суміщена тіньова маска світлопрорізу побудована у такій послідовності:

- горизонтальний кут інсоляції визначений на плані приміщення (рисунок 4.23, в). Він дорівнює куту $\angle i_5 i_6$;
- розрахункові напрями інсоляції i_1 , i_2 та i_3 визначені на генплані забудови як напрями на точки B_1 , B_2 та B_3 , що визначають контур затінення РТ протилежним будинком, узятій згідно з рис. 4.15 у центрі світлопрорізу (рис. 4.23, а). Напрямок i_4 визначає точку зламу тіньової маски балконної плити, оскільки у плані $O'_4 A'_4 = O''_4 A''_4$ і тому в межах кута $\angle i_5 i_4$ форма контуру тіньової маски плити буде



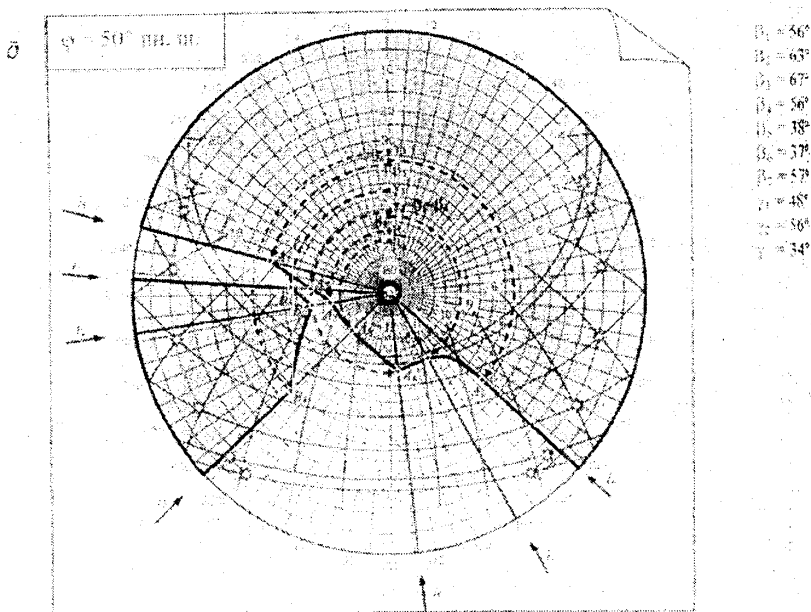


Рисунок 4.23 – Приклад побудови суміщеної тіньової маски світлопрорізу за методом ГП: а - визначення горизонтального кута затінення сусіднім будинком та напрямів для побудови тіньової маски забудови; б - визначення вертикальних кутів затінення сусіднім будинком; в - визначення горизонтального кута інсоляції та напрямів для побудови тіньової маски світлопрорізу; г - визначення вертикальних кутів інсоляції; д - побудова суміщеної тіньової маски

визначатися відрізком дуги A_5A_4 , а в межах кута $\angle i_4i_6$ – відрізком прямої A_4A_6 (рис. 4.23, в). Напрямок A_7 узятий як додатковий для уточнення форми контуру тіньової маски в межах кута $\angle i_4i_6$;

- ці напрями відносно півночі нанесені на носій тіньової маски так, щоб вони пройшли через центр сонячної карти (рис. 4.23, д);

- на рис. 4.23, б визначені вертикальні кути затінення $\gamma_1 - \gamma_3$, а на рис. 4.23, г – вертикальні кути інсоляції $\beta_1 - \beta_7$;

- значення кутів $\beta_1 - \beta_7$ та $\gamma_1 - \gamma_3$ відкладені на відповідних напрямках $i_1 - i_7$ на носії тіншової маски за допомогою шкали альмукантаратів сонячної карти (рис. 4.23, д). У такий спосіб на носії тіншової маски отримані точки $A_1 - A_7$, що належать контуру балконної плити, та точки $B_1 - B_3$, що належать контуру карниза протилежного будинку;

- отримані точки з'єднані кривою з урахуванням точок зламу. Оскільки кути інсоляції всюди більші за кути затінення, суміщена тіншова маска складається з двох окремих масок – тіншової маски світлопрорізу та протилежного будинку.

Розрахункова тривалість інсоляції визначена у таблиці 4.4 за часом, що відповідає точкам перетину відповідних проекцій траєкторій Сонця з контуром суміщеної тіншової маски.

Таблиця 4.4 – Визначення розрахункової тривалості інсоляції приміщення

Місяць	Характеристики розрахункової інсоляції, год.						Нормативна тривалість інсоляції, год.
	Початок	Кінець	Перерви	Тривалість			
			початок-кінець тривалість	загальна	розрахункова	найбільша безперервна	
XII	9 ⁰³	14 ⁵⁷	—	5 ⁵⁴	5 ⁵⁴	5 ⁵⁴	—
I, XI	8 ⁴²	15 ¹⁸	—	6 ³⁶	6 ³⁶	6 ³⁶	—
II, X	8 ⁵⁵	15 ⁰⁰	—	6 ⁰⁵	6 ⁰⁵	6 ⁰⁵	—
III, IX	9 ²¹	14 ³⁵	—	5 ¹⁴	5 ¹⁴	5 ¹⁴	2 ³⁰
IV, VIII	9 ²¹	17 ⁵⁶	$\frac{14^{35}-17^{48}}{3^{05}}$	5 ⁰⁸	5 ⁰⁸	4 ⁵²	2 ³⁰
V, VII	12 ⁰⁰	18 ⁰⁷	$\frac{14^{40}-17^{08}}{2^{28}}$	3 ³⁹	3 ³⁹	2 ⁴⁰	2 ³⁰
VI	12 ²⁷	17 ⁵⁶	$\frac{14^{45}-16^{55}}{2^{10}}$	3 ¹⁹	3 ¹⁹	2 ¹⁸	3 ⁰⁰

Примітка. Порівняння результатів розрахунку тривалості інсоляції приміщення за методом РТ (порівняння прикладів) і методом ГП показує:

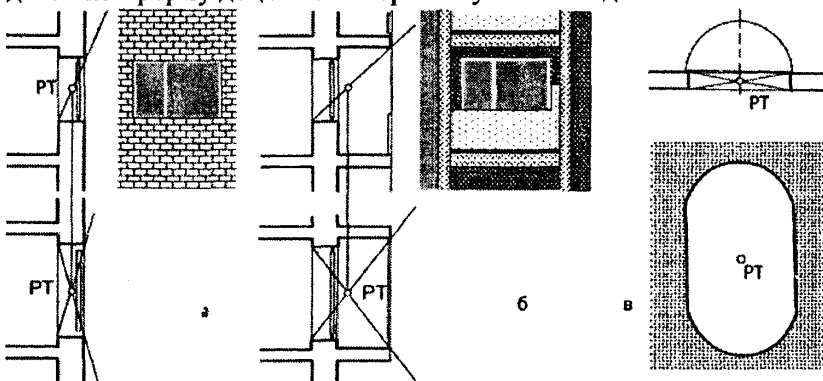
- результати розрахунку за методом РТ не відповідають норма-

тивним вимогам, оскільки розрахункова тривалість інсоляції у V—VII місяцях не задовольняє гігієнічні нормативи як із безперервної, так і з переривчастої інсоляції;

- результати розрахунку за методом ГП відповідають нормативним вимогам, оскільки розрахункова тривалість інсоляції у III—V і VII—XI місяцях задовольняє гігієнічні нормативи як із безперервної, так і з переривчастої інсоляції, а у VI місяці виконується гігієнічний норматив переривчастої інсоляції;

- таким чином, хоча розрахункова точка у приміщенні не отримує нормативної тривалості інсоляції (достатні умови інсоляції приміщення – розрахунок за методом РТ), однак повна тривалість інсоляції приміщення (необхідні умови інсоляції приміщення – розрахунок за методом ГП) задовольняє гігієнічний норматив інсоляції протягом всього нормованого періоду інсоляції, що свідчить про виконання нормативних вимог щодо інсоляції приміщення.

Для вікон у вертикальних стінах звичайної прямокутної форми, що не затінюються ніякими сонцезахисними пристроями чи знаходяться у лоджіях звичайної форми, а також для zenітних та шахтних ліхтарів, які мають опуклу форму отвору в покритті та вертикальну вісь симетрії, тіньова маска світлопрорізу, побудована за методом ГП, збігається з тіньовою маскою, побудованою за методом РТ. Положення РТ при цьому беруть згідно з рис. 4.24, а-в. Для цих видів світлопрорізу доцільно використовувати метод РТ.



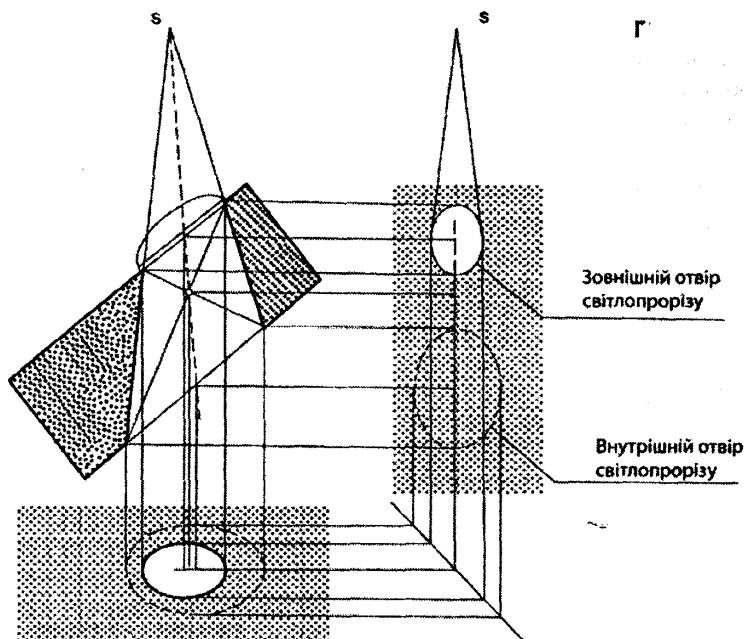


Рисунок 4.24 – Визначення положення РТ при розрахунку повної тривалості інсоляції приміщень для окремих видів світлопрорізів: а - прямокутне вікно у вертикальній стіні; б - прямокутний світлопроріз у лоджії звичайної форми; в - зенітні та шахтні ліхтарі опуклої форми у плані з вертикальною віссю симетрії; г - світлопроріз із однаковими чи подібними плоскими опуклими центрально-симетричними контурами зовнішнього та внутрішнього отворів

У загальному випадку метод РТ слід використовувати для розрахунку тривалості повної інсоляції приміщень при світлопрорізах із однаковими чи подібними опуклими центрально-симетричними контурами зовнішнього та внутрішнього отворів, які знаходяться у паралельних площинах, і можуть бути взаємно перетворені один в одного центральним проєціюванням з деякої точки С, що знаходиться між ними (рис. 4.24, г). При цьому РТ беруть у точці С.

Примітка. Такі отвори будуть являти собою плоскі перерізи де-

якої кінчної поверхні з вершиною у точці S , що знаходиться за площиною меншого перерізу. Точки C і S належать осі цієї поверхні. Якщо перерізи однакові, то кінчна поверхня перетворюється на циліндричну.

Приклад. Приміщення у м. Києві ($\varphi = 50,4^\circ$ пн.ш.) освітлюється через світлопроріз прямокутної форми, розміщений у нахилений стіні. Протилежних будинків немає (рис. 4.25).

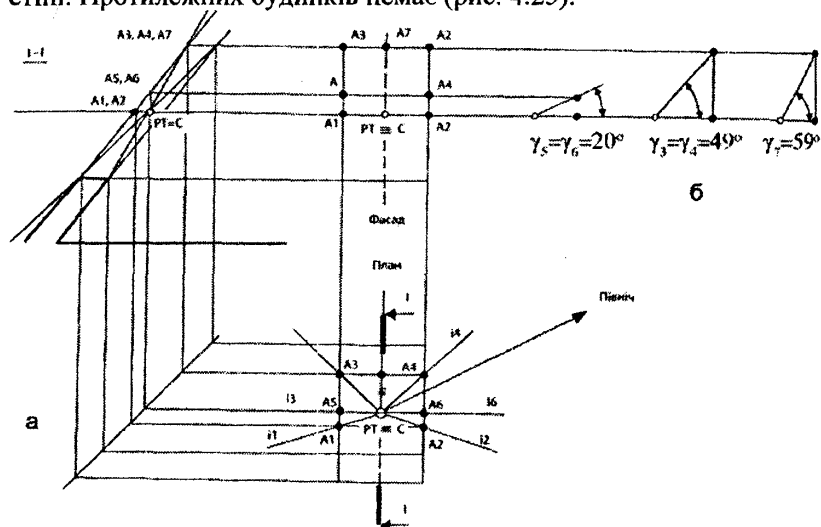


Рисунок 4.25 – Приклад побудови тіньової маски світлопрорізу для розрахунку повної тривалості інсоляції приміщення з використанням методу РТ: а - задання положення РТ та напрямів для побудови тіньової маски на кресленнях світлопрорізу; б - визначення вертикальних кутів затінення РТ за напрямками

Світлопроріз має однакові плоскі опуклі центрально-симетричні контури зовнішнього та внутрішнього отворів, які розташовані у паралельних площинах. Вони можуть бути взаємно перетворені один в одного центральним проєціюванням з деякої точки C . Тому для побудови тіньової маски для розрахунку повної тривалості ін-

соляції використано метод РТ.

Тіньова маска світлопрорізу побудована у такій послідовності:

- РТ взята у центрі частини світлопрорізу (рис. 4.25, а);
- горизонтальний кут інсоляції α дорівнює 360° ;
- розрахункові напрями інсоляції i_1, i_2, i_3 та i_4 визначаються точками, у яких буде мати місце злам контуру тіньової маски. Напрями i_5, i_6 та i_7 узяті як додаткові для уточнення контуру тіньової маски. При визначенні розрахункових напрямів ураховано симетричність світлопрорізу відносно площини I-I;

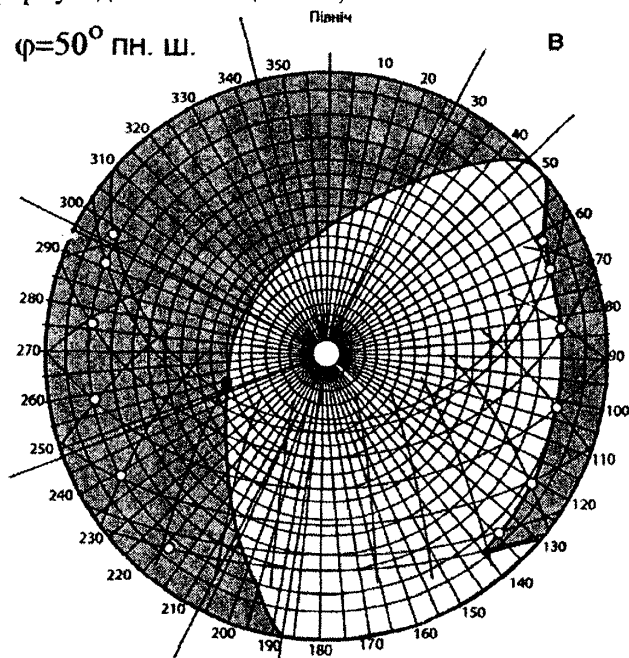


Рисунок 4.25 – Приклад побудови тіньової маски світлопрорізу для розрахунку повної тривалості інсоляції приміщення з використанням методу РТ: в - побудова тіньової маски

- оскільки у вертикальних площинах у напрямках $i_3 - i_6$ зовнішній контур світлопрорізу затінює лінію горизонту, замість кутів інсоляції у цих площинах на рис. 4.25, б визначені кути затінення $\gamma_3 - \gamma_6$. Вертикальні кути затінення у напрямках i_1 та i_2 дорівнюють нулю;

- значення кутів $\gamma_1 - \gamma_7$ відкладені на відповідних напрямках $i_1 - i_7$ на носії тіньової маски за допомогою шкали альмукантаратів сонячної карти (рис. 4.25, д). У такий спосіб на носії тіньової маски отримані точки $A_1 - A_7$, що належать контуру зовнішнього отвору світлопрорізу;

- отримані точки з'єднані кривою з урахуванням точок зламу.

Розрахункова тривалість інсоляції визначена у таблиці 4.5 за часом, що відповідає точкам перетину відповідних проекцій траєкторій Сонця з контуром суміщеної тіньової маски.

Таблиця 4.5 – Визначення розрахункової тривалості інсоляції приміщення

Місяць	Характеристики розрахункової інсоляції, год.			Нормативна тривалість інсоляції, год.
	початок	кінець	тривалість	
ХІІ	9 ⁰³	13 ²⁵	4 ²²	—
І, ХІ	8 ⁴²	13 ³³	4 ⁵¹	—
ІІ, X	7 ⁵⁴	13 ⁵⁰	5 ⁵⁶	—
ІІІ, ІХ	7 ⁰⁰	14 ¹⁰	7 ¹⁰	2 ³⁰
ІV, VІІІ	6 ⁰⁴	14 ²⁷	8 ²³	2 ³⁰
V, VІІ	6 ¹⁷	14 ⁴¹	9 ²⁴	2 ³⁰
VІ	4 ⁵⁷	14 ⁴⁸	9 ⁵¹	2 ³⁰

При вікнах звичайної прямокутної форми у вертикальних стінах, що затінюються балконною плитою чи горизонтальним козирком прямокутної форми, для побудови тіньової маски світлопрорізу доцільно використовувати тіньові кутоміри. Тіньові кутоміри для розрахунку повної тривалості інсоляції побудовані для різних співвідношень висоти низу козирка над рівнем підвіконня H до товщини зовнішньої стіни B . Ці кутоміри наведено у додатку Г [8].

Інсоляційні лінійки та сонячні карти наводяться у додатках [8],

але їх можна і побудувати самому (наприклад, за формулами (4.1), (4.2)). Також побудову інфляційної лінійки для днів рівнодення і ф пн.ш. можна проводити методом, заснованим на графічній моделі небосхилу (див. рис. 4.4):

1. Побудувати розріз небозводу по меридіану Пн.-Пд. як пів-сферу радіусом $R = 1$ (ЛГ - лінія горизонту) (рис. 4.26, а).

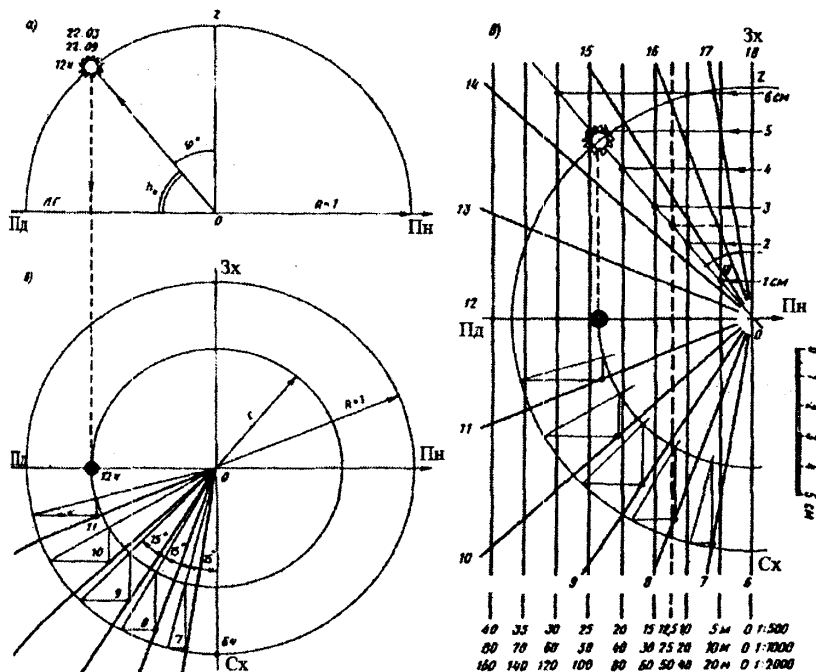


Рисунок 4.26 – Побудова інсоляційної лінійки для широти ϕ :
а – розріз небозвода; б – план небозвода; в – інсолграфік

2. Від вертикалі, що проходить через центр півкулі O і зеніт Z в сторону півдня, відкласти кут ϕ , що позначає географічну широту місця. На перетині проведеної з точки O нахиленої лінії з півколом

знаходиться положення Сонця в 12 год. в дні рівнодення. Лінія нахилу є вертикальною проекцією полуденного сонячного променя, що лежить в площині сонячної траєкторії, а кут між нею і лінією горизонту показує висоту стояння Сонця h_0 в цей момент.

3. Побудувати план небосхилу як коло з $R=1$ з центром О. Вказати сторони горизонту - Сх, Пд, Зх, Пн. Спроекувати на південний меридіан з розрізу на план становище полуденного Сонця і через цю точку провести коло радіусом r (рис. 4.26, б).

4. Розділити сектор ПдСх горизонтальної проекції небозводу на 6 рівних частин по 15° (кутова швидкість руху Сонця - 15° на годину, час від сходу до полудня - 6 год.) і провести радіальні лінії (для великомасштабного графіка ПдСх-сектор можна розділити на 12, 15 або 24 частини відповідно через 30, 20 або 15 хв.).

5. З точок перетину цими радіусами зовнішньої і внутрішньої окружностей провести лінії, паралельні лініям Пн-Пд і Зх-Сх, побудувавши таким чином невеликі прямокутні трикутники. Вершини прямих кутів є горизонтальними проекціями Сонця через кожен годину.

6. Через отримані точки проекцій Сонця і центр О провести лінії, які вважаються горизонтальними погодинними проекціями сонячних променів, необхідних для побудови графіка. Для спрощення побудов розріз і план небосхилу можна поєднати (рис. 4.26, в).

7. На лінії ОЗ розмістити розділення через 1 см (для докладного графіка - через 1 чи 2 мм) і провести горизонтальні лінії до перетину з проекцією полуденного променя. Через точки перетину провести лінії, паралельні напрямку Сх-Зх на плані небозводу. Ці паралелі є метричною шкалою перевищень допоміжних горизонталей похилої площини сонячної траєкторії над досліджуваною точкою на цій широті і служать для визначення довжини тіней. Ціна відстаней між паралелями призначається відповідно до масштабу архітектурного креслення.

8. Горизонтальні проекції дополудених сонячних променів (з 6 до 12 год) дзеркально перенести в післяполудену область (сектор ПдЗх плану небозводу) і позначити години дня (з 12 до 18 год).

Графік виконується тушшю на кальці або прозорій плівці, допоміжні лінії побудови стираються.

Приклад. Визначення тривалості інсоляції точки на горизонтальній поверхні (рис. 4.27). Точка O графіка поєднується із заданою точкою, а сам графік орієнтується у напрямку північ-південь (напрямок на північ на інсоляційній лінійці співпадає з напрямом на північ генплану). Висота затінюючої будівлі $H_{\text{буд}}$, тобто перевищення його карниза над заданою точкою, становить 25 м.

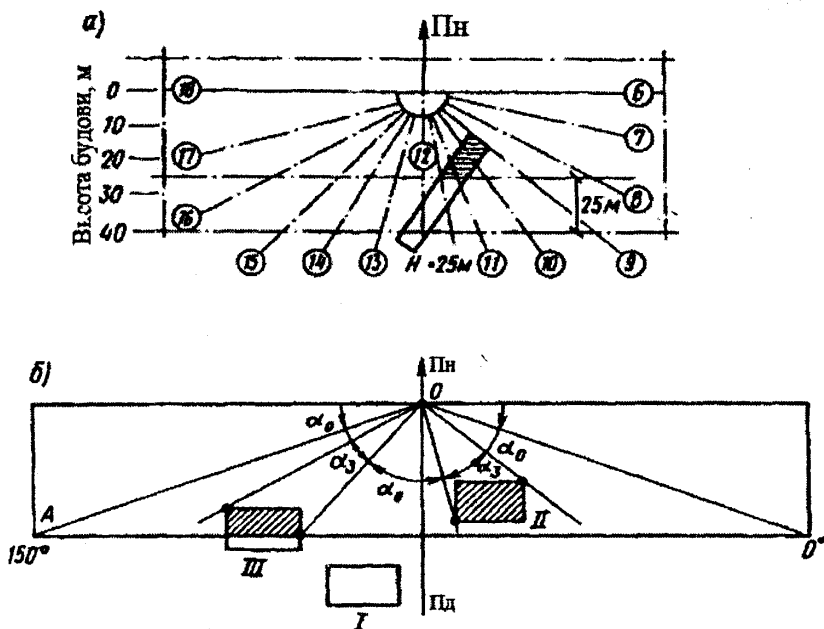


Рисунок 4.27 – Схема використання інсоляційної лінійки: а - одна затінююча будова; б – основні випадки розташування будівель відносно досліджуваної точки (будова I не затінює точку, будови II і III затінюють)

На графіку зазначається горизонталь, що відповідає висоті цієї будівлі, тобто горизонталь 25 м у вибраному масштабі креслення і графіка.

Затемнення заданої точки О завжди відбувається тільки від тієї частини будівлі, яка знаходиться між горизонталлю і цієїю точкою (на схемі заштрихована). В цьому випадку точка О буде затінена з 9 до 11 год 30 хв. Отже, задана точка в дні рівнодення буде інсолюватися двічі (рис. 4.27, а): з 7 до 9 год та з 11 год 30 хв до 17 год (за нормами інсоляції першу годину після сходу сонця і останню годину перед його заходом в розрахунок не беруться).

На рис. 4.27, б інсоляція точки О здійснювалася тричі протягом дня в межах кутів α_0 , так як будинки II і III затінюють її (в межах кутів α_3).

Приклад. Побудова тіней від об'єкта на горизонтальній поверхні (рис. 4.28).

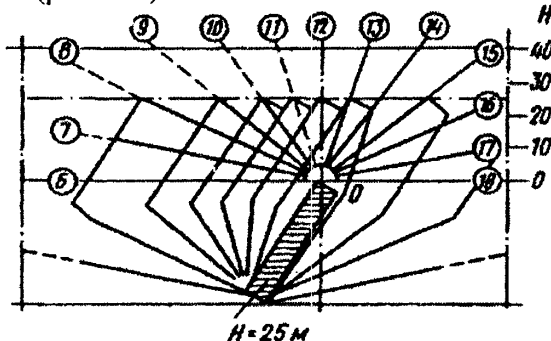


Рисунок 4.28 – Побудова контура тіней від будови

При побудові тіней графік розташовується з розворотом на 180° по відношенню до його положення на рис. 4.27 (тобто пів-

ніч інсоляційної лінійки розташовується у напрямку півдня плану).

На плані вибирається який-небудь зовнішній кут об'єкта, який співставляється з точкою О графіка. Азимутальні лінії показують напрямок тіней від цього кута будівлі у відповідних годинах дня.

Горизонталь, що відповідає висоті будівлі 25 м, показує довжину тіней в різні години дня (в дні рівнодення тінь переміщається на горизонтальній площині по прямій лінії з заходу на схід).

4.11 Сонцезахист і світлорегулювання в містах і будівлях

Архітектор-професіонал завжди прагне до досягнення комфортних умов життя та праці в приміщеннях і виразності об'ємно-планувальних і конструктивних рішень. Одним з головних факторів, що сприяють цьому- сонцезахисні засоби (СЗЗ). Найбільш розповсюджені СЗЗ конструктивних сонцезахисних пристроїв (СЗП).

Однак стаціонарні СЗП далеко не завжди оптимальні, незважаючи на великі переваги в пластичній виразності. Недостатньо продумані рішення стаціонарних СЗП призводить до негативного ефекту. Екрани або лоджії, монолітно зв'язані з фасадом, перетворюються з затінюючого пристрою в додаткове джерело перегріву приміщень. На жаль, ці помилки вельми поширені в практиці.

Якщо архітектор застосовує СЗП, не рахуючись з кліматичними умовами та орієнтацією будівель, то такі рішення підлягають різкій критиці.

Але найбільш негативна тенденція останніх років - поширене у всіх кліматичних районах захоплення великими площами скління, що є справжнім лихом сучасного будівництва, яке прагне до зменшення тепловитрат і економії енергетичних ресурсів. Модне суцільне скління будівель призводить взимку до величезних перевитрат опалення в них, а влітку – до виснажливого перегріву і засліпленості.

Захоплення великими площами скління пояснюється наступними основними причинами. Перша полягає в недоскональності норм природного освітлення, що встановлюють межі значення КПО при бічному освітленні незалежно від глибини приміщень. Це призводить до того, що за сучасної стандартної висоти поверху архітектор, сподіваючись забезпечити нормований КПО, застосовує суцільне скління (якого при великих глибинах приміщень все одно недостатньо). Не випадково в Англії висовують пропозиції обмежити розміри світлопрорізів лише вимогами психологічного зв'язку із зовнішнім середовищем і при будь-якій глибині приміщень нормувати відсоток скління фасадної частини огорож. Цей прогресивний шлях вже використовується при застосуванні суміщеного освітлення.

Спроба ж встановити межу скління нормативними допусками +10%-ного відхилення від КПО виявилася безрезультатною.

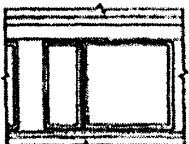
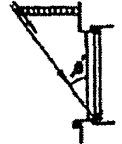
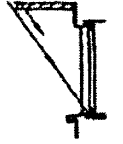
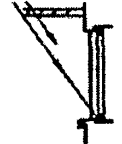
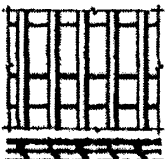
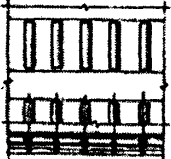
Інша причина пояснюється модою якої нерідко захоплюється архітектор слідуючи за західними зразками. В літературі поширився вираз "будівлі з великими площами скління". Це породжує складну і дорогу проблему сонцезахисту.

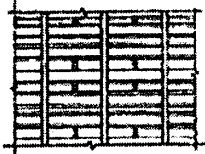
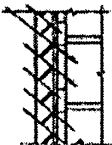
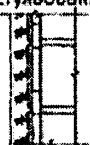
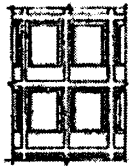
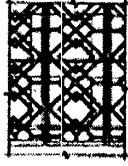
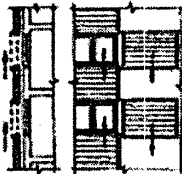
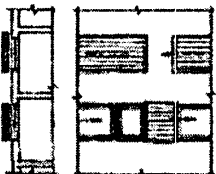
Якщо за кордоном "засклені хмарочоси" витягуються із застосуванням сонцезахисного скління в комплексі з діючою системою штучного регулювання мікроклімату, то при цьому застосовуються високоякісні регулюючі СЗП, оскільки навіть найефективніші сонцезахисні скла не вирішують проблеми засліплення від прямих сонячних променів.

Архітектору необхідно знати класифікацію всіх СЗЗ, комплексні вимоги до них і методику їх оптимізації з урахуванням особистих критеріїв оцінки їх ефективності. Класифікація СЗЗ сприяє раціональному їх вибору при проектуванні і застосуванні. Вибір СЗЗ повинен проводитися у певній послідовності. Спочатку потрібно встановити можливість обмежитися тільки архітектурно-планувальними засобами (орієнтацією будівель за сторонами горизонту, озелененням і т.п.); якщо ці засоби з тих чи інших причин не дозволяють вирішити задачу, то вибирають раціональні стаціонарні СЗЗ (козирки, екрани і т.п.) в залежності від призначення будівель і кліматичних умов. Якщо призначення приміщень вимагає високого рівня світлового комфорту протягом усього світлового періоду доби і року, то вибирають регульовані пристрої.

При необхідності забезпечення ефективного комплексного захисту від перегріву і світлового дискомфорту використовують поєднання регульованих СЗЗ і теплозахисних вікон. За умов особливих вимог до кондиціонованого світлового та теплового середовища в приміщеннях застосовують сукупність СЗП, теплозахисних стекол і технічних засобів регулювання мікроклімату (кондиціонування повітря, радіаційне охолодження і т.д.).

Всі сонцезахисні засоби поділяються на три основні групи (рис. 4.29, табл. 4.6): 1) архітектурно-планувальні; 2) конструктивні (СЗП); 3) технічні.

тип зсу	схема пристрою			
горизонтальні	козирки решітчасті з вертикальним і наклонним розміщенням пір'я			
				
горизонтальні	козирки наклонні		козирки ступінчасті	
				
вертикальні	жалюзі			
	зовнішні 	міжклянні 	внутрішні 	
	стаціонарні 	регульовані 		

тип зсу	схема пристрою				
комбіновані	стаціонарні 				напіврегульовані 
сітки					
сотолодісні решітки					
зовнішні панелі - жалюзі					

тип зсу	схема пристрою			
сонцезахисні панелі	з комірками ромбоподібної форми	з комірками прямокутної форми		
	із з - подібного профільного скла	із трикутного профільного скла		
ліхтарі з зовнішнім сонцезахисником	шеди			
	з вертикальним екраном			

тип сзу	схема пристрою	
ліхтарі з зовнішнім сонцезахисом	із світлоросіючим куполом 	з сонцезахисним сегментом 
	з водорозбризкуючими установками 	
ліхтарі з внутрішнім сонцезахисом	з регулюючим екраном 	з несучим плівковим екраном 
	жалюзі 	регулююча штора з плівки чи тканини 

Рисунок 4.29 –Класифікація основних типів сонцезахисних пристроїв

Таблиця 4.6 – Класифікація сонцезахисних та світло-регулюючих засобів (СЗЗ)

Вид СЗЗ	Ефект	Область застосування	Рациональна орієнтація, град	Клімат. зони	Рекомендовані матеріали
I. Архітектурно-планувальні					
1. Орієнтація і взаємне розміщення	Захист від світлового і теплового дискомфорту і раціональність вибору СЗЗ	Будь-які будівлі	Поздовжня вісь будівлі вздовж геліометричної осі	Всі зони	-
2. Конфігурація будівлі в плані і максимально можлива глибина приміщення	Те ж	Те ж	Те ж	Те ж	-
3. Озеленення і обводнення території	Покращення мікроклімату	Внутришньоквартальні території і сквери	-	II-V	Газони, кущі, дерева з густими і широкими кронами
4. Покриття тротуару і площадок не-теплоісткими матеріалами	Те ж	Те ж	-	II-V	Галька, пісок, ґрунтові покриття з дренажами
II. Конструктивні					
1 Затінюючі елементи будівель					
5. Профіль огорожуючих конструкцій	Захист від теплового і світлового дискомфорту	Громадські і промислові будівлі	45-135 і 225-315	III-V	-
6. Профіль покриттів	Світловий і тепловий дискомфорт	Те ж	330-30	III-V	-
2 Сонцезахисні і світлорегулюючі прилади (СЗП)					

Вид СЗЗ	Ефект	Область за-стосування	Раціональ-на орієнта-ція, град	Клі-мат. зони	Рекомендовані матеріали
а) Стационарні зовнішні					
7. Козирки (решітчасті і суцільні)	Захист від теплового дискомфорту	Громадські і промислові будівлі	135-225	III-V	Дерево, алюміній, пластмаси, залізо- бетон
8. Горизонтальні жалюзі	Захист від світлового та теплового дискомфорту	Те ж	90-270	III-V	Дерево, алюміній, пластмаси, асбоцемент
9. Просторові сітки	Те ж	-	30-135 і 225-330	II-V	Металічний лист товщиною 0,1-0,5мм.
10. Вертикальні екрани (решітчасті і суцільні)	Захист від теплового дискомфорту	Те ж, з зоровою роботою нижче 3 розряду.	45-90 і 270-315	III-V	Дерево, алюміній, пластмаси, перфорований з/б
11. Вертикальні жалюзі	Те ж	Те ж	45-90 і 270-315	III-V	Дерево, алюміній, пластмаси
12. Вертикальні екрани-козирки (решітчасті і суцільні)	-	-	135-225	III-V	Алюміній, пластмаси, асбоцемент
13. Комбіновані (соти)	Захист від теплового дискомфорту	Громадські і промислові споруди із зоровою роботою 3 розряду	135-225	III-V	Алюміній, пластмаси, асбоцемент, перфорований з/б
14. Сонцезахисний дифузор для зенітного ліхтаря	Світловий і температурний комфорт	Промислові і громадські споруди	-	III-V	Алюміній, пластмаси
15. «Північний ліхтар»	Те ж	Промислові споруди	330-30	III-V	-
16. Сонцезахисна шахта	-	Громадські і промислові споруди	-	III-V	-

Вид СЗЗ	Ефект	Область за- стосування	Рациональ- на орієнта- ція, град	Клі- мат. зони	Рекомендовані матеріали
б) стаціонарні внутрішні					
17. Підвісна стеля - решіт- ка	Захист від те- плового, світ- лового диско- мфарту	Те ж	-	II-IV	Алюміній, пла- стмаси
в) Регульовані зовні					
18. Шпренгел- льний ліхтар	Захист від те- плового, світ- лового диско- мфарту	Громадські і промислові споруди	-	II-IV	-
19. Козирки	Те ж	Те ж	90-270	III-V	Алюміній, пла- стмаси, азбо- цемент
20. Горизон- тальні жалюзі (рухомі)	Світловий і тепловий ко- мфарт	Будь-які буді- влі	0-360	III-V	Алюміній, пла- стмаси
21. Просторо- ві сітки (ру- хомі)	Те ж	Те ж	0-360	II-V	Тонкий мета- левий лист
22. Вертика- льний екран і жалюзі (рухо- мі)	Тепловий ко- мфарт	Громадські і промислові споруди із зо- ровою робо- тою 3 розряду	45-90 і 270-315	III-V	Алюміній, пла- стмаси, азбо- цемент
23. Віконниці- жалюзі (рухо- мі)	Світловий ко- мфарт	Житлові буді- влі і дитячі за- клади	0-360, 45-315	V III-V	Алюміній, пла- стмаси, дерево
24. Штора (відкидна)	Захист від те- плового, світ- лового диско- мфарту	Житлові буді- влі, готелі, лі- кувальні за- клади	45-315	II-IV	Дерев'яні, алюмінієві, пластмасові планки
25. Маркізи відкидні	Те ж	Громадські, житлові, про- мислові спо- руди (з зоро- вою роботою	45-315	II-III	Сонцезахисні тканини, дере- во, алюміній, пластмаси

Вид СЗЗ	Ефект	Область застосування	Рациональна орієнтація, град	Клімат. зони	Рекомендовані матеріали
		нижче 3 розряду)			
26. Жалюзі для zenітного ліхтаря	Світловий і тепловий комфорт	Промислові і громадські споруди	-	III-V	алюміній
г) регульовані міжсклянні					
27. Штори - жалюзі	Захист від світлового і теплового дискомфорту	Громадські, житлові, промислові споруди (з зоровою роботою 4 розряду)	45-315	II-V	Алюміній, пластмаси
28. Штора (така що звертається)	Захист від теплового дискомфорту	Житлові будівлі і дитячі заклади	45-315	II-IV	Сонцезахисні тканини, планки, металізовані плівки
д) регульовані внутрішні					
29. Штора – жалюзі	Захист від світлового дискомфорту	Будь-які будівлі	0-360	I-II	Алюміній пластмаси
30. Штора	Те ж	Те ж, крім приміщень з зоровою роботою вище 3 розряду.	0-360	II	Сонцезахисні тканини
31. Штора - жалюзі для ліхтаря	Захист від світлового дискомфорту	Промислові будівлі	-	III-V	Алюміній, пластмаси
3 Сонцезахисні вироби зі скла і плівок					
32. Тепловідбиваюче скло	Захист від теплового дискомфорту	Будь-які, крім житлових, дитячих, навчальних і лікувальних закладів	45-315 0-360	III-IV	Металізовані покриття

Вид СЗЗ	Ефект	Область застосування	Рациональна орієнтація, град	Клімат. зони	Рекомендовані матеріали
33. Світлорозсіююче скло, пластмаси і склопластики	Захист від світлового і теплового дискомфорту	Ліхтарі і верхні частини вікон промислових будівель	45-315	II-V	-
34. Стевіт (термолюкс)	Те ж	Верхні частини вікон промислових будівель	90-270	IV-V	Прокладки з скловолокна
35. Профільне скло і блоки скляні коробчасті	-	Те ж	90-270	II-V	Те ж
4. Сонцезахисні пристрої для територій					
36. Сезонні ленти-жалюзі	Тепловий і ультрафіолетовий комфорт	Дитячі і спортивні площадки, тротуари	-	V	Сонцезахисні тканини, алюміній
37. Целярій (сонцезахисний повітряний басейн)	Те ж	Санаторії, курорти, пляжі	180	II-V	Алюміній, дерево
III. Технічні					
38. Кондиціонування повітря	Захист від теплового дискомфорту		0-360	III-V	-
а) централізоване		Промислові та громадські будівлі, готелі			
б) місцеве		Житлові і громадські будівлі			
39. Радіаційне	Захист від теплового дискомфорту	Те ж	0-360	III-V	-

Вид СЗЗ	Ефект	Область за-стосування	Рациональ-на орієнта-ція, град	Клі-мат. зони	Рекомендовані матеріали
40. Водонали-вні ванни	Те ж	Промислові багато про-мислові будівлі	-	IV-V	-
41. Водорозб-ризкуючі установки	-	Те ж	-	IV-V	-
42. Примусова вентиляція	-	-	-	-	-

Примітки: 1. Зонування введено згідно тривалості періоду із середньодобовою температурою зовнішнього повітря більше 20°C в рік: I – 20 діб; II – від 20 до 40 діб; III – від 40 до 60 діб; IV – від 60 до 100 діб; V – 100 діб.

2. Регульовані зовнішні СЗЗ поділяються на два види: регульовані в межах світлопрорізів (напіврегульовані), в котрих екрануючі елементи змінюють лише кут повороту або нахилу, і ті, що знімаються, тобто повністю звільняють світлопрорізи.

Важливо знати при цьому, що помилки при впровадженні навіть одного з цих заходів роблять витрати на них марними.

Перша група об'єднує засоби, пов'язані з композицією забудови на генеральному плані, планування будівель та благоустрою територій. Друга група включає чотири підгрупи конструктивного характеру: 1) затінюючі елементи будівель, 2) сонцезахисні і світло-регулюючі прилади (СЗП), 3) сонцезахисні вироби зі скла і плівок, 4) сонцезахисні пристрої для територій. Третя група відноситься до засобів забезпечення штучного мікроклімату технічного характеру.

Практика показує, що до найважливіших питань сонцезахисту, що породжують найбільш грубі помилки в будівництві, відносяться наступні.

1. Основний ефект, який забезпечує той чи інший сонцезахисний засіб. Це найбільш важливий фактор, правильне врахування якого сприяє раціональному рішенням сонцезахисту.

Приклади: сонцезахисне скло достатньо ефективно в теплотехнічному відношенні, але не забезпечує захисту від прямих сонячних променів і високої яскравості при достатньому світлопропусканні ($\tau = 0,5-0,6$) і зорового зв'язку з навколишнім простором; світлорозсіююче скло, встановлене в бічних світлоотворах з таким же світлопропусканням, при інсоляції є сліпучими екранами, але при установці в світлоотворах верхнього світла можуть не потрапляти в поле зору людини; СЗП, встановлені з внутрішньої сторони світлоотвора, ефективні тільки в світлотехнічному відношенні, тому в поєднанні з технічними засобами регулювання мікроклімату практично марні.

2. Відповідність СЗП орієнтації фасаду.

Приклади: стаціонарні горизонтальні затінюючі пристрої при достатній світлопроникності марні при західній (східній) орієнтації; стаціонарні вертикальні екрани при достатньому світлопропусканні і зв'язку з навколишнім простором при південній орієнтації мало-ефективні.

3. Відповідність СЗП кліматичних умов.

Приклади: зовнішні стаціонарні затінюючі пристрої в північних районах марні, є пастками для снігу і викликають необґрунтовані витрати; об'ємні вироби зі скла, суцільні екрани і маркізи в районах з жарким і вологим кліматом не дозволяють забезпечувати необхідну аерацію приміщень; застосування лоджій без СЗП посилює перегрів приміщень в південних районах.

4. Відповідність СЗП призначенням будівель.

Приклади: зовнішні великомасштабні вертикальні, горизонтальні та комбіновані екрани (сотоподібні решітки) на фасадах житлових будинків не відповідають образу житла і незручні в експлуатації; вертикальні екрани або жалюзі, встановлені на бічних світлоотворах картинних галерей, навчальних будівель, конструкторських бюро і т.і., викликають сліпучу дію, так як їхні інсольовані поверхні мають надмірну яскравість (при $\rho = 0,6$, яскравість > 10000 кд/м²).

Перераховані приклади найбільш характерних помилкових рішень сонцезахисту роблять необхідним включення в класифікацію

СЗЗ ознаки основного їх призначення по ефективності та відповідності орієнтації кліматичним умовам і типам будівель. Для об'єктивної та комплексної оцінки СЗЗ до них пред'являється наступний набір вимог: архітектурно-технологічні, функціонально-гігієнічні та техніко-економічні.

До першої групи вимог відноситься відповідність раціональної орієнтації будівель за сторонами горизонту, призначенням та масштабом будівлі, розмірам, виду заповнення та конструктивному рішенням світлопрорізів, експлуатаційним і ергономічним умовам і колірному рішення інтер'єрів.

Друга група вимог пов'язана із забезпеченням оптимальних світлотехнічних, теплотехнічних і аераційних характеристик, що розрізняються в залежності від призначення будівель:

а) забезпечення нормованого рівня освітленості і УФ - опромінення приміщень, захисту від сліпучості при інсоляції світлопрорізів, рівномірного розподілу світла по приміщенню, задовільної видимості через заповнення світлопрорізу і зорової ізоляції приміщень ззовні;

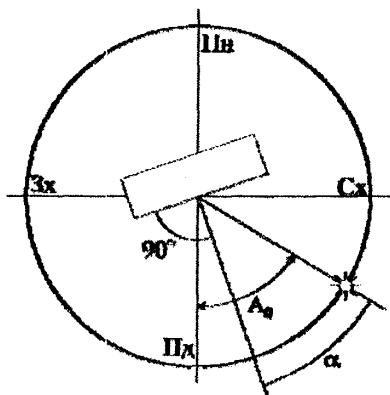
б) забезпечення захисту від перегріву сонячною радіацією в жаркий період доби і року і допустимої амплітуди коливань температури повітря в приміщеннях і на територіях;

в) забезпечення необхідного провітрювання приміщення і території в денний і нічний час в залежності від їх призначення.

До третьої групи вимог відносяться: забезпечення вимог стандартизації елементів СЗП, а також допустимих вартості 1 м^2 площі будівлі та частки витрат на загальнобудівельні роботи, підвищення працездатності при найменшому зоровому стомленні працюючих та зниження експлуатаційних витрат при застосуванні штучних засобів регулювання мікроклімату.

Схеми сонцезахисних пристроїв різного типу (горизонтальні і вертикальні: козирки, балкони, лоджії, маркізи, жалюзі, штори, екрани, пілони, ставні; стаціонарні і рухомі; з регулюванням і без; суцільні і ґратчасті) наведено на рис. 4.30 [10].

В загальному вигляді винос горизонтального екрану (козирків) визначається формулою



$$l_{\kappa} = H \cdot \operatorname{ctg} h_0 \cdot \cos \alpha, \quad (4.7)$$

де H – відстань від козирка до нижньої границі скління; h_0 – висота стояння сонця; α – кут між проекцією на горизонтальну площину сонячного променя і перпендикуляром до площини фасаду (у плані) (див. схему).

Розрахунок планок при застосуванні горизонтальних ґратчастих екранів відбувається за наступними формулами

$$\frac{b_r}{a_r} = \frac{\sin h_0}{\sin(h_0 + \beta_n)}, \quad (4.8)$$

де b_r – ширина планки; a_r – відстань між планками; h_0 – висота стояння сонця; β_n – кут нахилу планки до горизонту.

При розташуванні планок перпендикулярно площині фасаду ($\beta_n = 90^\circ$):

$$\frac{b_r}{a_r} = \frac{1}{\operatorname{ctg} h_0 \cdot \cos \alpha}, \quad (4.9)$$

Розрахунок вертикального суцільного екрану з довільним кутом повороту до площини стіни відбувається за формулою:

$$\frac{l_s}{a_s} = \frac{\cos \alpha}{\cos(\alpha - \gamma)}, \quad (4.10)$$

де l_s – винос вертикального екрану; a_s – відстань між екранами; γ – кут повороту екрану до площини стіни, α – те саме, що у (4.7).

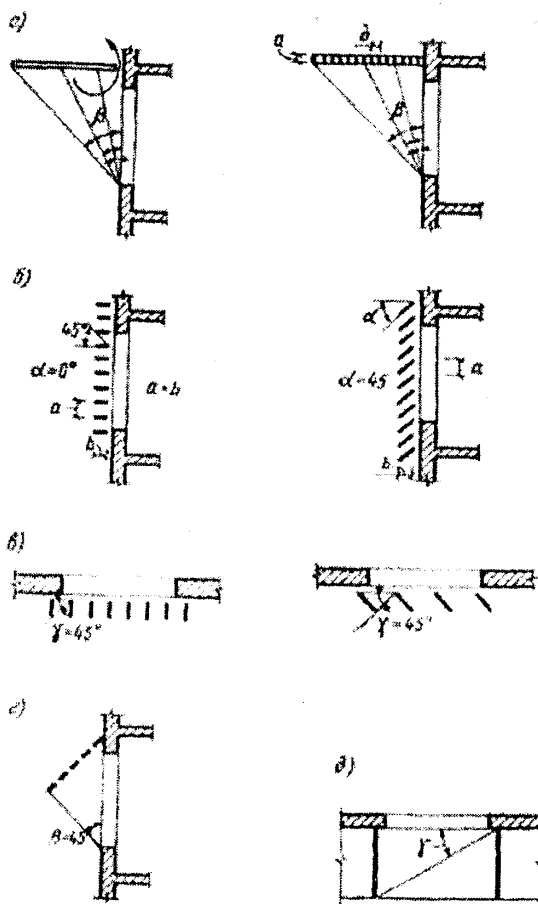


Рисунок 4.30 – Сонцезахисні пристрої: а – козирки суцільні і ґратчасті з різними захисними кутами; б – жалюзі горизонтальні регульовані і стаціонарні; в – жалюзі вертикальні (пілони) стаціонарні і регульовані з пір'ями, розташованими під різними кутами до площі скління; г – маркізи; д – сотоподібні затінюючі екрани

При розташуванні вертикальних екранів перпендикулярно площині фасаду ($\gamma = 90^\circ$)

$$\frac{l_s}{a_n} = \operatorname{ctg} \alpha . \quad (4.11)$$

Розрахунок вертикальних планок ґратчастої стінки між лоджіями із довільним кутом повороту відбувається за формулою:

$$\frac{l_s}{a_n} = \frac{\sin \alpha}{\sin(\gamma_1 + \alpha)} , \quad (4.12)$$

де l_s – ширина планки; a_n – відстань між планками; γ_1 – кут повороту планок до площини стіни; α – то саме, що у (4.7).

При розташуванні планок перпендикулярно площині стіни ($\gamma = 90^\circ$)

$$\frac{l_s}{a_n} = \operatorname{tg} \alpha . \quad (4.13)$$

Застосування сонцезахисних пристроїв супроводжується:

- зменшенням коефіцієнта світлопропускання, а відповідно і якравості вікон;
- перерозподілом в приміщенні світлового потоку, що проходить через вікно.

Контрольні запитання

1. Які позитивні і негативні впливи інсоляції?
2. Якими державними документами нормується інсоляція?
3. Яким чином географічне розташування території впливає на її інсоляцію?
4. Якими координатами характеризується положення Сонця на небесній сфері?
5. Опишіть рух Сонця по небесній сфері. Що називається схиленням Сонця?
6. В чому відмінність між адміністративним та сонячним часом? Для якого з них будуються інсоляційні лінійки?

7. Поясніть алгоритм переведення показів годинника з адміністративного часу в сонячний і навпаки.
8. Що називається "рівнянням часу"? Поясніть причини його введення.
9. Які методи розрахунку тривалості інсоляції та межі їх використання Ви знаєте?
10. В чому відмінність між інсоляційною лінійкою і сонячною картою?
11. Поясніть алгоритм побудови інсоляційної лінійки для днів рівнодення та відомої географічної широти території забудови.
12. Які сонцезахисні засоби Визнаєте? Мета їх використання?
13. В чому полягають принципи ефективного і правильного використання СЗЗ?
14. Наведіть приклади сонцезахисних пристроїв та методи розрахунку їх геометрії.

Розділ 5. АРХІТЕКТУРНЕ КОЛЬОРОЗНАВСТВО

5.1 Основні поняття

Колір в архітектурі ще на зорі цивілізації служив людям і засобом інформації, і символом, і прикрасою. Зодчі давнини і раннього середньовіччя вважали колір невід'ємною частиною форми, одним з головних факторів, що обумовлюють враження, створюване архітектурним витвором. Історія знає безліч яскравих прийомів прямого і наочного зв'язку кольору з архітектурними рішеннями, глибокого розуміння його художньої ролі, дивовижної гармонії колірних поєднань при створенні архітектурних образів.

Архітектурне кольорознавство засноване на теоретичних положеннях науки про колір і користується її поняттями і термінологією. Воно охоплює широке коло питань, виділених із складного обсягу проблем про колір: взаємодія світла і кольору, їх формотворна роль в творчому методі архітектора, облік об'єктивних чинників, що визначають вибір кольору в архітектурному проектуванні та ін.

Згідно з сучасним уявленням відчуття того або іншого кольору визначається спектральним складом випромінювання, що потрапляє в око спостерігача.

Для пояснення особливостей колірного зору, в тому числі виникнення колірних відчуттів, найбільш відомі триколірна (трьохкомпонентна) теорія Юнга-Гельмгольца і теорія оппонентних (конфронтуючих) кольорів. Згідно трьох компонентної теорії кожний вид колб (червоно-, зелено-й синечутливих) реагує на випромінювання досить широкого діапазону довжин хвиль, але червоночутливі колбочки переважно реагують на монохроматичні випромінювання з довжинами хвиль 550-650 нм, а зелено- й синечутливі - на випромінювання з довжинами хвиль відповідно 500-600 і 400-500 нм (рис. 5.1).

Людське око розрізняє кілька десятків тисяч кольорів. Щоб внести в колірне різноманіття, що оточує людину, відомий порядок, необхідно перш за все встановити ті основні властивості, якими кольори відрізняються один від одного, тобто ознаки, які можуть охарактеризувати колір окремо на відміну від інших. Коли ми розгля-

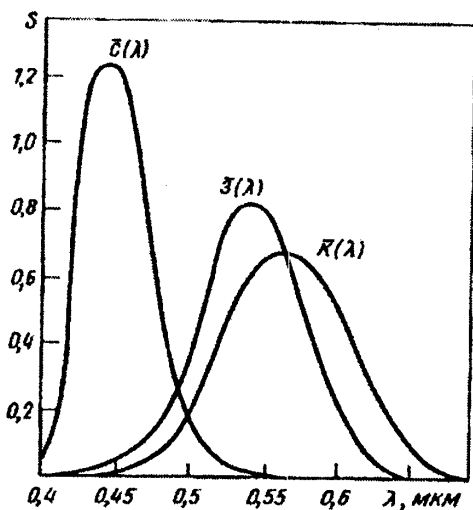


Рисунок 5.1 – Криві чутливості кольоро-сприймаючих колбочок ока

даємо два об'єкти, то ми помічаємо не тільки те, що їх кольори різні, але і те, в якому саме відношенні вони різні.

Характерною ознакою кольору є **колірний тон**. Так, ми розрізняємо кольори червоний, жовтий, синій і

т.д. та їх відтінки – жовто-зелений, блакитно-зелений та ін. У таких випадках кажуть, що кольори розрізняються по колірному тону.

Колірний тон – характеристика кольору, яка визначається довжиною світлової хвилі (в нм) і прирівнюється до одного зі спектральних або неспектральних (пурпурових) кольорів. Колірний тон (λ) дає назву кольору.

Пурпурний ряд колірних тонів відсутній в спектрі сонячного світла (або будь-якого джерела світла), тому їх називають неспектральними. Їх не можна отримати монохроматичним випромінюванням (наприклад, за допомогою оптичного пристрою - монохроматора). Пурпурні кольори отримуються при змішуванні крайніх спектральних - червоного і фіолетового кольорів.

Назви кольорів у спектрі (червоний, оранжевий, жовтий та ін.) склалися історично, вони умовні і недостатньо визначені. Із спектру можна виділити значно більше, що розрізняються по колірному тону, випромінювань. Для визначеності позначення колірного тону вказують довжину хвилі випромінювання, що викликає відчуття червоного, помаранчевого і т.д., тобто говорять про колірний тон

довжини хвилі. Довжину хвилі, вимірювану в нанометрів, можна, таким чином, вважати об'єктивною величиною, а колірний тон - властивістю зорового відчуття, тобто суб'єктивною характеристикою. Пояснити, що таке відчуття червоного, так само важко, як пояснити відчуття гіркоти або запаху.

Колірний тон – найбільш помітний фактор, що змінюється зі зміною довжини хвилі випромінювання видимого спектру, і тому він є характеристикою, що дозволяє описувати колір довжиною хвилі монохроматичного випромінювання, з яким він збігається. Можливо, колірний тон слід визначити як головну (але не єдину) характеристику кольору, на основі якої кольори отримують свої назви.

Два кольори, однакові за колірним тоном, можуть відрізнятися за іншими ознаками - насиченістю і світлоті. Серед кольорів особливе місце займають "безбарвні", або **ахроматичні**. До ахроматичних кольорів відносяться білий і всі сірі аж до чорного. Сірим, або нейтральним, вважається тільки такий сірий колір, в якому абсолютно відсутній будь-який колірний тон (наприклад, жовтувато-або зеленувато-сірі вже кольори не будуть ахроматичними в строгому сенсі цього слова). Нейтрально сірий колір, таким чином, є білий колір малої яскравості.

На противагу ахроматичним кольорам, у яких відсутній колірний тон, всі інші кольори відносяться до хроматичних. Однак чітку грань між хроматичними і ахроматичними кольорами провести не завжди легко, бо є багато кольорів, колірний тон яких майже не вловлюється оком, оскільки вони утворюють перехід від хроматичних до ахроматичних кольорів. У інших же цей колірний тон, або хроматичність, сильно виражений. Кольори з сильно вираженим колірним тоном називають **насиченими**.

Насиченість – характеристика, що дозволяє спостерігачеві оцінити частку чистої хроматичної складової в загальному колірному відчутті. Насиченість оцінюється числом порогів кольоророзрізнення (**поріг кольоророзрізнення** – мінімальне розходження двох кольорів за кольоровим тоном, насиченістю або світлоті, виявлене спостерігачем в певних умовах спостереження). Ця

характеристика відчуття наближено відповідає поняттю чистоти кольору.

Чистота кольору визначається як ступінь наближення кольору до чистого спектрального і виражається у відсотках (P , %). Чим вище чистота, тим більше насиченість. Чистоту кольору прийнято вважати об'єктивною характеристикою насиченості. Найбільшою чистотою володіють кольори спектру, тому чистота всіх спектральних кольорів приймається за 100%, незважаючи на їх різну насиченість (в порогах) (рис. 5.2).

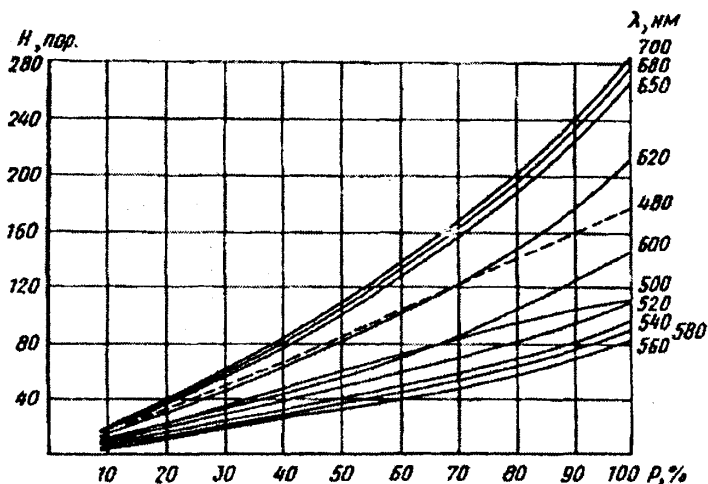


Рисунок 5.2 – Залежність насиченості кольору від його чистоти

Прикладом кольорів різної насиченості може служити колір неба, який в літні сонячні дні буде більш насиченим, а в зимові дні або навіть влітку, але ближче до горизонту, - більш білястим, тобто менш насиченим. Можна навести й інші приклади, наприклад, "вигорання" кольорів на сонці або "вицвітання" пофарбованої поверхні фасадів будівель при яскравому сонці в порівнянні з насиченим кольором фасадів в умовах розсіяного світла блакитного неба. Архітектор працює не зі спектральними кольорами, а з фарбувальними

матеріалами і пофарбованими тілами. Наші уявлення про властивості забарвлення спостережуваних об'єктів дозволяють проводити аналогію між кольорним тоном і барвником, а кількість барвника співвідносити з чистотою кольору. Архітектори іноді під чистотою розуміють також наявність у даній фарбі чорного.

Колірний тон (або довжина хвилі) і насиченість (або чистота) називаються **кольоровістю**, яка вважається якісною характеристикою кольору. Кольори однаковою кольоровістю тим не менше можуть відрізнятися один від одного: один темніше, інший світліше. Так, один і той же предмет, якщо його освітленість вище (а отже, вище яскравість), сприймається більш яскравим у порівнянні зі слабо освітленим. Кількісне вираження рівня зорового відчуття, виробленого яскравістю, називають **світлотою**. Між яскравістю і світлотою існує певний зв'язок, що дозволяє робити оцінку світлоти в залежності від яскравості. Світлота (яскравість) - це кількісна характеристика кольору. Поділ кольору на кольоровість і світлоту або кольоровість і яскравість досить умовний. Якщо ми маємо справу з хроматичними кольорами, то яскравості, як вони сприймаються, при однаковій інтенсивності випромінювань оцінюються нами по різному. Якщо поверхні володіють однаковою об'єктивно виміряною яскравістю, то можна припустити, що ці яскравості створюють однакові відчуття. Насправді чим ближче поверхню до хроматичної, тим більш яскравою вона сприймається. Це відповідає відомому явищу - "ефекту Гельмгольца-Кольрауша". Гельмгольц перший помітив, що насиченість кольору впливає на його "сприйману" яскравість і що деякі кольори здаються яскравіше білого, навіть якщо освітленість сітківки при цьому залишається сталою. Згодом цей ефект вивчав Кольрауш. Він виявив, що якщо помістити поруч два рівнояскравих кольорів, один з яких буде мати більш високу насиченість, то цей колір буде здаватися яскравішим.

Дослідження Гельмгольца - Кольрауша показали, що білий колір повинен бути більш інтенсивним, щоб здаватися таким же яскравим, як кольоровий. Так, за даними деяких дослідів інтенсивність білого кольору повинна бути в 50 разів вище, ніж синього, і в 30 разів вище, ніж червоного, щоб він здавався таким же яскравим. Для

жовтого зазначений ефект набагато слабкіший, але все-таки може бути помічений: білий повинен бути в 4 рази яскравіше жовтого. Міжнародна комісія з освітлення (МКО) запропонувала наступні поправочні коефіцієнти для яскравостей насичених кольорових поверхонь, які сприймалися б як рівносвітлі в порівнянні з білими:

колір	білий (сірий)	черво- ний	жовтий	зеле- ний	блакит- ний	фіоле- товий	пурпуровий
коефіцієнт	1,0	0,7	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6

Як видно, наведені результати розходяться один з одним, що обумовлено методикою досліджень і використовуваній кривій чутливості ока при розрахунках рівнів яскравостей. Експерименти, проведені в МАРХИ (Московський архітектурний інститут) по світлотному рівнянню різнокольорових стимулів, показали, що такі відмінності можуть досягати 2-6 разів: наприклад, фотометрична яскравість зеленого кольору повинна бути в 6 разів вище, ніж червоного, щоб він сприймався таким же яскравим.

Сприйняття кольору залежить від умов спостереження: колірної адаптації, фону, на якому розглядається даний колір, настрою людини, колірних переваг і т.д.

Колірна адаптація – процес функціонування органу зору під впливом колірних стимулів. Розрізняють світлову, колірну та темнову адаптації; світлова і колірна протікають одночасно (за винятком тих випадків, коли спостерігається ахроматична картина). При впливі колірного стимулу в умовах спостереження якогось кольору фотореагенти (світлочутливі речовини) у відповідних колбочках розпадаються, чутливість до цього кольору значно знижується, колір "сіріє", втрачає в насиченості, відбувається явище колірної адаптації. В основі явищ одночасного і послідовного кольорових контрастів лежать особливості колірної адаптації.

Колірна яскравість – це рівень зорового відчуття, що виникає внаслідок фотометричної яскравості в заданих умовах спостереження в залежності від насиченості і колірного тону.

Таким чином, перераховані параметри – колірний тон (довжина хвилі), насиченість (чистота) і світлота (колірна яскравість) – є основними параметрами кольору.

Два кольори, що знаходяться в одних і тих же умовах спостереження, однакові по колірному тону, насиченості і світлоті, будуть не відрізняються один від одного. Навпаки, два кольори можуть бути різними, коли вони відрізняються за якоюсь однією або одночасно за двома або трьома ознаками. Мірою відмінності кольорів служить колірний контраст ΔE , розглянутий у традиційному поділі кольору на кольоровість і світлоту і включає в себе відповідно контраст за кольоровістю $\Delta K_{\text{кол}}$ і контраст за світлотою ΔB . Колірний контраст ΔE виражається в порогах кольоророзрізнення і визначається за формулою

$$\Delta E = \sqrt{\Delta K_{\text{кол}}^2 + \Delta B^2}, \quad (5.1)$$

де $\Delta K_{\text{кол}}$, ΔB також виражаються в порогах.

Величина порога кольоророзрізнення або колірного порогу для різних кольорів різна. Так, око дуже чутливе до зміни синіх і пурпурових кольорів (наприклад, до самої незначної зміни вмісту пігменту у фарбі). До зміни жовтих тонів око менш чутливе: треба суттєво змінити колір жовтого або жовтувато-зеленого, щоб око виявило це розходження. Встановлено три ступені градацій колірного контрасту: малий, середній і великий, що відповідає уявленням контрастних і нюансних колірних поєднань. Кожна ступінь колірного контрасту, як видно з формули (5.1), визначається співвідношеннями контрастів за кольоровістю (колірному тону і насиченості) і за світлотою (табл. 5.1).

У реальному житті майже ніколи не доводиться мати справу тільки з одним кольором; в архітектурному середовищі кольори завжди знаходяться в поєднаннях один з одним. Будь-який колір набуває свого значення в композиції в певних співвідношеннях з іншими кольорами, тобто в тій чи іншій кольоровій гамі.

Таблиця 5.1 – Кольорові контрасти

Великий	Середній	Малий
Великий контраст за кольоровим тоном при середньому і великому контрасті за насиченістю і світлоті	Середній контраст за кольоровим тоном при середньому контрасті за насиченістю	Малий контраст за світловим тоном при середньому та малому контрасті за насиченістю і світлоті
Середній контраст за кольоровим тоном при великому контрасті за насиченістю або світлоті	Малий контраст за кольоровим тоном при великому контрасті за насиченістю або світлоті	Середній контраст за світловим тоном при малому контрасті за насиченістю або світлоті
		Великий контраст за кольоровим тоном при малому контрасті за насиченістю та світлоті

Колірна гамма – це сукупність кольорів, вибраних для вирішення певних функціональних, естетичних і ергономічних задач для отримання необхідного психофізіологічного впливу на людину. Ступінь загального психофізіологічного впливу кольорів на людину оцінюється **кількістю кольору Q** залежних від колірному тону і насиченості об'єкта і фону, співвідношення їх кутових розмірів і яскравостей, відстані до спостережуваного об'єкта, розташування в полі зору, тривалості сприйняття. Кількість кольору, що є мірою колірному відчуття, вимірюється числом порогів кольоророзрізнєння і має ті ж градації, що і колірний контраст. Колірна гамма, яку прийнято класифікувати як теплу, холодну і нейтральну, створює загальне враження – колірну тональність, наприклад сіро-блакитну, червоно-коричневу, рожеву і т.д.

Колірна тональність – це загальний колірний вигляд, якесь загальне відчуття від даної колірної гама. Це поняття можна розглядати як адекватне поняттю колориту в живописі. Об'єднання кольорів по колірної тональності – важлива закономірність, яка створює цілісність і гармонію колірних поєднань. Можливості поєднань ко-

льорових елементів архітектурного об'єму невичерпні.

Гармонійними називають поєднання кольорів, що викликають позитивні психоестетичні реакції й оцінки. Такі поєднання можуть бути простими і складними, але тим не менше їх різноманіття може бути зведене до двох основних груп: контрастні і нюансні колірні гармонії.

Перша група побудована на протиставленні, а друга – на зближенні кольорів. Протилежність кольорів може проявлятися по-різному: за додатковими кольорами (з відомою внутрішньою закономірністю їх єдності – до адитивної суміші дають ахроматичний колір), по світлоті (полярні білий і чорний), по насиченості, по фактурі (матовий і дзеркально-глянцевий), по розмірами площ колірних плям і, нарешті, по будь-якій з психологічних характеристик кольорів (теплий і холодний, легкий і важкий, відступаючий і виступаючий та ін.).

В архітектурній композиції дуже важливе явище так званого **одночасного колірного контрасту**, при якому один і той же колір сприймається по-різному в залежності від того, якими кольорами він оточений. Можна сказати, що під впливом одночасного колірного контрасту колір об'єкта "зсувається" в бік додаткового до кольору фону. Наприклад, в музеях, виставкових залах із змінною експозицією, в приміщеннях, де здійснюється зорова робота з кольоровими об'єктами – в цехах кольорової поліграфії, майстерень художника – насичений колір стін або підлоги спотворює забарвлення предметів через накладення на неї кольору послідовного образу, додаткового до кольору фону адаптації. Тому огорожувальні поверхні в подібних приміщеннях необхідно фарбувати в ахроматичні або малонасичені тони.

Послабити дію одночасного колірного контрасту можна наступними способами: додаванням до сірого кольору об'єкта деякої кількості червоного щоб уникнути його позеленіння на червоному фоні; обведенням кордонів фігури чітким контуром; відповідним підбором світлин об'єкта і фону: наприклад, якщо небажаний зеленуватий відтінок пілястр при сусідстві з червоною стіною, їх кольори підбирають різними за світлотою.

Якщо кольоровий об'єкт знаходиться на червоному фоні, то на його сприйняття впливає колір, додатковий до червоного, тобто блакитно-зеленуватий; тому жовтий на червоному стає зеленувато-жовтим, блакитний набуває відтінку холодного зеленуватого і т.д. Кожен колір, знаходячись на фоні свого додаткового, виграє в насиченості; синій на жовтому виглядає більш насиченим. Звід арки воріт, пофарбований в червоний колір середньої насиченості, може створювати враження високої насиченості, якщо бачити розташовану за аркою зелену стіну. Зворотний ефект виходить в тому випадку, якщо який-небудь об'єкт знаходиться на тлі однакового з ним колірною тону, але більшої насиченості. Червоний предмет на більш насиченому червоному фоні втрачає в насиченості, сіріє згідно з загальним правилом дії одночасного колірною контрасту: до його власного кольору як би домішується його додатковий колір - блакитно-зелений.

Одночасний колірний контраст пояснює виникнення кольорових тіней (рис. 5.3). Як видно з малюнка, тінь від предмета 1, освітлювана білим світлом проєктора, повинна здаватися білою, а тінь 2, освітлювана червоним кольором, – червоною. Насправді ж тінь 1 – синьо-зелена, а тінь 2 – червона. Екран, освітлений обома проєкторами, – рожевий від змішання червоного з білим. Явище одночасного колірною контрасту важливо враховувати при виборі колірною обробки інтер'єрів і фасадів будівель і споруд, якщо в одному приміщенні або в екстер'єрі знаходяться джерела світла різної кольоровості випромінювання.

В основі явищ як одночасного, так і послідовного кольорового контрасту лежать особливості колірною зору, зокрема колірною адаптація. Оскільки ділянка сітківки під безперервним впливом будь-якого кольору втрачає чутливість до останнього, насичені кольори сприймаються такими при тривалій до них адаптації вельми короткочасно, швидко втрачають насиченість і як би ахроматизуються (тим активніше, чим вище яскравість і насиченість). Інтер'єр для

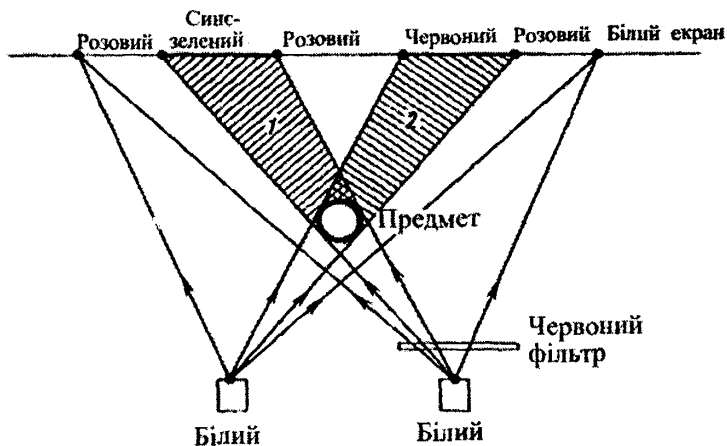


Рисунок 5.3 – Кольорові тіні

тривалого перебування людей, як правило, не має бути вирішений в одному насиченому кольорі; насичений колір можна використовувати для деяких поверхонь лише в поєднанні з додатковим, який відновлює чутливість сітківки. Однак іноді насичений колір бере участь в композиційному задумі. Так, стіни Малого тронного залу, присвяченого пам'яті Петра I, в Зимовому палаці в С. Петербурзі виконані в насиченому "важкому" червоному кольорі, таке рішення цілком відповідає ідейно-художньому образу інтер'єру.

Вплив кольору послідовного образу внаслідок попередньої колірної адаптації на сприйняття кольорового об'єкта прийнято називати явищем **послідовного кольорового контрасту**. Послідовні образи і послідовний колірний контраст відіграють важливу роль в архітектурі, особливо при необхідності акценту на першому враженні від архітектурного об'єкта. Використовуючи явище послідовного контрасту, можна впливати на сприйняття малонасичених кольорів і композиції інтер'єру. Для цього достатньо сусідні приміщення вирішити в додаткових або близьких до них колірних тонах.

Якщо, наприклад, дивитися деякий час на яскравий зелений абажур, а потім перевести погляд на білу поверхню, то на ній проявиться послідовний образ пурпурного кольору. Це відбувається тому, що в сітківці в межах зображення зеленого абажура колбочки "зеленої" групи виявилися перезбудження, і для відновлення їх чутливості потрібен час. На білому виникає відчуття кольору в результаті роботи двох інших груп колбочок - "червоних" і "синіх". Поступово "зелена" група колб відновлює чутливість і послідовний образ пурпурного кольору зникає. Як видно, колір послідовного образу відповідає додатковому, однак вже давно було відомо, що він дещо відрізняється від додаткового. Ця відмінність, помічене ще Гете, було згодом неодноразово підтверджено експериментальними дослідженнями.

Феномен кольору відображає як би три умовно виділених процеси: фізичний (наявність колірного стимулу - світлового випромінювання), фізіологічний (перетворення світлової енергії, що діє на око, в енергію з'єднання нервових клітин органа зору) і психологічний (результат роботи мозку). Таким чином, основою колірного сприйняття є фізичний фактор, тобто наявність матеріальної світлової енергії. Це може бути пряме світло від джерела освітлення (природного або штучного), а також світло відбите або таке, що пройшло через яке-небудь середовище.

В архітектурній практиці, як правило, ми маємо справу в більшій мірі зі світловими потоками, відбитими від оточуючих нас предметів. Усі навколишні нас об'єкти і поглинають, і відображають, і розсіюють світло в широкому діапазоні довжин хвиль видимої області спектра. Від здатності відображати і поглинати світло і залежить колір поверхні. Вплив спектрального складу випромінювання джерела світла, що освітлює поверхню, на сприйняття кольору цій поверхні прийнято називати **кольороперенесенням**.

Поява цього терміна пов'язана з наявністю великого арсеналу джерел штучного освітлення, що по-різному передають колір об'єкта в порівнянні із звичним його видом в умовах природного освітлення. Оцінюючи правильність відтворення кольору того чи іншого предмета, ми, ймовірно, виходимо зі своєї пам'яті і загального уяв-

лення про колір даного предмета. Наше судження формується під впливом звичок, досвіду і т.д. Наприклад, ми звикли до "теплого" світлу ламп розжарювання. За спотворення кольору часто приймають порушення звичних умов освітлення. Так, після появи люмінесцентних ламп, які мали незвичний "холодний" відтінок, висловлювалася думка, що "флюоресцентне світло занадто холодне, воно спотворює кольори". У зв'язку з цим при оцінці кольору розрізняють правильну, або точну, кольоропередачу і сприятливу кольоропередачу.

Термін "правильна кольоропередача" отримав широке поширення. Його зміст зводиться до того, що передача кольору даного джерела близька до кольоропередачі іншого джерела, прийнятого за еталон. "Правильність" кольоропередачі оцінюється **індексом кольоропередачі** – мірою якості кольоропередаючих властивостей джерела світла. Відповідно до запропонованого Міжнародною комісією з освітлення методом оцінки якості кольоропередачі користуються так званим **загальним індексом кольоропередачі R_a** . Це метод визначення відповідності (за певних умов спостереження) зорових сприйняття восьми кольорових зразків середньої насиченості і однакової світлості, освітлених досліджуванним і стандартним джерелами світла.

Однак загальний індекс передачі кольору, який визначається на основі восьми кольорів, нерідко буває недостатнім. Тому він може бути доповнений **спеціальним індексом кольоропередачі R_s** , що характеризує якість кольоропередачі джерела світла з використанням додатково кольорових зразків більшої насиченості, які також відтворюють колір людської шкіри і природної зелені. Індекс передачі кольору вимірюється у відсотках і для лампи-еталон приймається рівним 100%. Еталонне джерело світла вибирається таким чином: для досліджуваних ламп з колірною температурою до 5000 К приймається випромінювання абсолютно чорного тіла, а з колірною температурою 5000 К і вище – природний стандартний денне світло (відповідна фаза).

Такий метод оцінки якості кольоропередачі застосуємо у всіх

випадках, коли відоме еталонне джерело світла, яке може забезпечити необхідну передачу кольору. Але в багатьох випадках потрібні джерела світла з такою кольоропередачею, які створювали б відчуття комфортності світлоколірного середовища, – сприятливе сприйняття осіб, архітектурного простору і всього навколишнього оточення. З цією метою визначають **індекс колірної переваги**, який оцінюється не по відношенню до еталону, а по відношенню до кольоровості, якій віддається перевага масовим споживачем. При розрахунку індексу переваги кольоровим зразкам відповідно до використовуваної методики приписується різна відносна значимість: наприклад, найбільшу значимість мають зразки, які відтворюють колір людської шкіри і імітують колір природної зелені.

5.2 Стандартні джерела випромінювання

У зв'язку з тим, що джерела світла різної конструкції володіють різним спектром, вимірювання кольору несамосвітних тіл необхідно проводити в деяких стандартизованих умовах - для досягнення відтворюваності результатів. У 1931р. Міжнародна комісія з освітленості (МКО) рекомендувала для використання у вимірах чотири стандартних джерела, що позначаються латинськими літерами: «А», «В», «С», «Е». Часто їх ще називають стандартними випромінюваннями МКО. Пізніше через широке розповсюдження люмінесцентних барвників – такі барвники використовуються для підвищення білизни текстильних матеріалів, у рекламі, для театральних ефектів - до вже наявних стандартних випромінювань було додано випромінювання типу «D», що містить невидимі УФ промені.

Послідовно розглянемо стандартні джерела: з'ясуємо їх область застосування та конструкцію.

1). **Джерело типу А** - еталон штучного світла Дане джерело являє собою лампу розжарювання з вольфрамовою ниткою стандартизованої форми і розмірів, на яку подається строго певна напруга живлення.

Колірна температура випромінювання: $T_c = 2850\text{K}$.

Випромінюється: середньостатистичне штучне світло («тепле» або «жовтувате» світло). Джерело дозволяє правильно охарактери-

зувати кольори предметів у приміщеннях.

2). Джерело типу В - еталон прямого сонячного світла.

Джерело отримують шляхом пропускання світла від стандартного джерела типу А через рідкі світлофільтри певної рецептури. Замість розчинів в 1961 році були розроблені більш зручні у використанні скляні фільтри. Стандартне джерело зі скляними фільтрами спочатку в літературі позначали нижнім індексом «1961» - V_{1961} , хоча в цілому, він практично тотожний джерелу В (відмінності в результатах кольорних вимірювань починаються тільки в другому знаку після коми). В даний час рідкі фільтри вийшли з ужитку, тому нижній індекс в позначенні джерела «із склом» стали опускаати.

Колірна температура випромінювання: $T_c = 4800K$.

Випромінюється: пряме світло полуденного сонця.

3). Джерело типу С - еталон природного світла № 1. Джерело типу С так само отримують з стандартного джерела типу А за допомогою світлофільтрів. Якщо світлофільтри рідкі, то випромінювання позначається «С», якщо фільтри скляні - « C_{1961} ». В даний час в даному джерелі використовують тільки скляні фільтри, відповідно, додатковий індекс опускають.

Колірна температура випромінювання: $T_c = 6500K$.

Випромінюється: розсіяне сонячне світло при малохмарному небі (пряме світло сонця + розсіяне світло від неба).

4). Джерело типу D - еталон природного світла № 2. Джерело даного типу отримують шляхом пропускання світла від газорозрядної лампи певної конструкції, заповненої парами йоду або ртуті, через скляні світлофільтри. Залежно від конкретного використаного фільтра, розрізняють три варіанти даного джерела:

D55 - колірна температура випромінювання $T_c = 5500K$;

D65 - колірна температура випромінювання $T_c = 6500K$;

D75 - колірна температура випромінювання $T_c = 7500K$.

Випромінювання джерела D_{65} по спектрального складу близько до випромінювання джерела С, однак на відміну від нього містить ультрафіолетові промені. За своїми властивостями світло подібного джерела найбільш близьке до природного денного світла. В даний час джерела В і С виходять з ужитку, їх замінює джерело D_{65} .

5). Джерело типу Е - еталон білого світла. Джерело даного типу отримують з джерела типу А за допомогою світлофільтрів.

Колірна температура випромінювання: $T_c = 5700\text{K}$.

Випромінюється: «рівноенергетичне» (випромінювання у склад якого входять довжини хвиль однакової потужності (в межах видимого діапазону 380-780nm) біле світло.

6). Джерело S - еталон розсіяного сонячного світла.

Колірна температура випромінювання: $T_c = 2500\text{K}$.

Випромінюється: світло блакитного небозводу (тільки розсіяні сонячні промені).

Звісно, кожне з реальних джерел володіє своєю передачею кольору в порівнянні з обраним стандартним - по-своєму впливає на сприйняття кольору предметів. При цьому бажано, щоб освітлення прикрашало предмет. Головним чином слід звертати увагу на колір людського обличчя, рук і їжі. Так само рекомендується стежити за освітленням рослин, квітів і непродовольчих товарів.

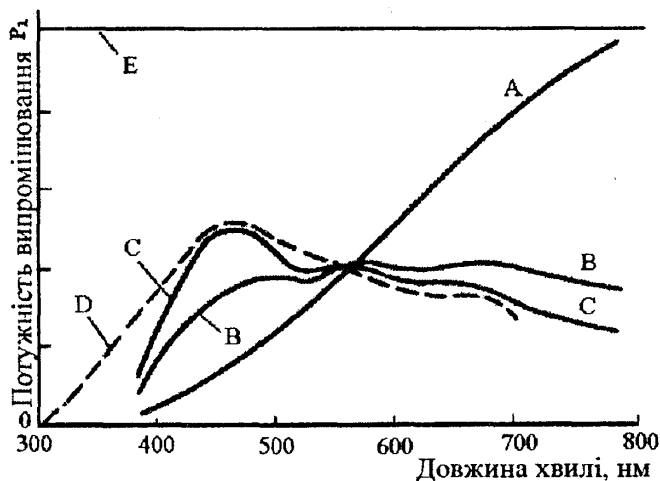


Рисунок 5.5 – Спектри стандартних випромінювань МКО

5.3 Методи утворення кольору. Закони Грассмана

Змінити спектральний склад світлового випромінювання, а значить і спостережуваний оком колір, можна тільки двома способами: додавши до світлового потоку деякі нові хвилі або видаливши з світлового потоку деякі з наявних хвиль. Дані методи синтезу кольору називаються відповідно «адитивний синтез» і «субтрактивний синтез». Отже:

- **Адитивний синтез** – метод синтезу, при якому утворення кольору відбувається в результаті оптичного складання двох і більше світлових потоків. Приклад - змішання променів прожекторів на арені цирку.

- **Субтрактивний синтез** – метод синтезу, при якому утворення кольору відбувається внаслідок виборчого поглинання частини випромінювання з падаючого на тіло світлового потоку. Приклад - змішування фарб, фарба.

Метод, пов'язаний з фарбами і змішуванням фарб (субтрактивний) нам більш звичний, ми неодноразово зустрічалися з таким змішуванням в повсякденному житті. Однак, для більшої наочності, розгляд почнемо з адитивного методу синтезу.

1. Адитивний синтез кольору

Розглянемо наочний приклад - зведення на екрані променів трьох кольорових прожекторів: Зеленого, червоного і синього. Далі,



Рисунок 5.6 – Схема адитивного змішування кольорів

скорочено всюди будемо позначати кольору першими літерами назви «З», «Ч», «С».

Безумовно, змішувати кольори «складанням» можна і по-іншому. Перерахуємо всі можливі способи:

1). Одночасне змішування.

Одночасне проектування декількох кольорів в одну область екрану.

2). Почергове змішування.

Поперемінне проектування декількох кольорів на екран або швидке обертання диска з різнокольоровими секторами. У цьому методі чергування кольорів повинно бути достатньо швидким, інакше замість однорідного сумарного кольору буде спостерігатися просте мерехтіння кольорів. Для диска, що обертається, відчуття однорідного забарвлення виникає при частоті обертання $\sim 30 \text{ сек}^{-1}$.

3). Просторове змішування.

На екрані формують мозаїку, тобто створюють безліч дрібних різнокольорових цяжок або смужок. З деякої відстані око втрачає здатність розрізняти окремі елементи такого зображення, вони «зливаються між собою», в зоровому апараті формується відчуття сумарного кольору (який однорідно покриває поверхню). Приклад - живопис, текстильне виробництво, кольорове ТБ.

4). Бінокулярне змішування.

На одне око спостерігача потрапляє світловий потік одного кольору, а на інший - іншого. Змішання кольорів відбувається у свідомості, вже на етапі сприйняття зорового образу. Природно, таким методом можна змішати тільки два кольори.

Як послідовно показано в роботах А.В. Ходіна (1876р, розглядав бінокулярне змішування), Б.М. Теплова і С.П. Яковлева (1935р), всі методи адитивного змішування абсолютно рівнозначні по відношенню один до одного і підкоряються одним і тим же законам. Розглянемо ці закономірності - закономірності адитивного змішування кольорів.

Наближено визначити результат адитивного змішування декількох кольорів можна за допомогою так званого «**колірного кола**»:

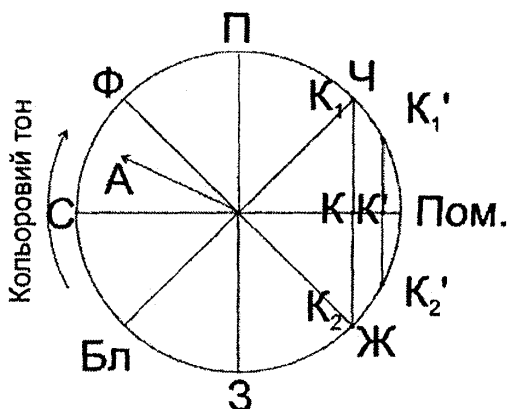


Рисунок 5.7 – Кольорове коло. Букви Ч Пом Ж З Бл С Ф позначають відповідні спектральні кольори. Пурпурові тони П знаходяться між фіолетовим Ф і червоним Ч. Будь-який колір А можна представити точкою на такому колі

Алгоритм додавання кольорів за допомогою колірного кола:

1. Поставити крапки K_1 і K_2 , які відповідають кольорам, що змішуються.
2. З'єднати точки K_1 і K_2 прямою лінією. На цій прямій ставимо точку K таким чином, щоб довжини відрізків KK_1 і KK_2 , відносились один до одного обернено пропорційно яскравостям змішуваних кольорів - чим більше яскравість одного з кольорів, тим ближче до нього розташується точка K . Отримана точка K характеризує результуючий колір.
3. Для певного колірному тону з центру кола через дану точку K проводимо пряму, до перетину з колом.
4. Насиченість кольору K може бути визначена якісно, по положенню точки всередині кола. Чим т. K ближче до центру кола, тим насиченість кольору менше і навпаки, чим далі від центру, тим насиченість вище.

У зображеному на малюнку прикладі: $K_1 = [Ч]$, $K_2 = [Ж]$, сума кольорів $K = [Пом.]$. Дану операцію запишемо так:

$$[Ч] + [Ж] \rightarrow [Пом].$$

Ясно, що змінюючи співвідношення яскравостей, ми будемо змінювати сумарний колір К, від Помаранчево-Червоного [Пом-Ч] до Жовто - Помаранчевого [Ж - Пом]. Помаранчевий колір К' може бути отриманий і з іншої пари кольорів, так само взятих у рівній кількості: (див. точки К₁' і К₂' на малюнку):

$$[Пом - Ч] + [Ж - Пом] \rightarrow [Пом].$$

Порівнюючи положення точок К і К', ми можемо побачити, що в другому випадку колір більш насичений. Даний приклад ілюструє ще одну загальну закономірність: чим ближче за кольоровим тоном змішання кольору, тим вище насичення сумарного кольору.

Однак не завжди при змішуванні двох кольорів будуть виходити хроматичні кольори. При змішуванні двох так званих додаткових кольорів в сумі виникне білий, точніше, ахроматичний колір. Дамо строге визначення додатковим кольорам:

Додатковим по відношенню до даного називається спектральний колір, який при аддитивному змішуванні з ним, в певній пропорції, створює у спостерігача відчуття білого кольору.

З рисунку 5.7 видно, що додатковим є, наприклад, С і Пом, Ч і Бл, Ф і Ж. Для кольорів від С до Ж-З додаткових кольорів немає, тому навпроти них розташовані пурпурні кольори, яких не міститься в сонячному світлі (згадайте веселку).

Якщо необхідна пропорція не дотримана, то при змішанні двох додаткових квітів з'явиться хроматичний колір, який є сумою ахроматичного («білого») і того хроматичного кольору, який взятий в надлишку.

Слід зазначити, що колірне коло є найпростішою ілюстрацією закономірності оптичного змішування кольорів, тому вказані по ньому пари додаткових кольорів і співвідношення їх яскравостей, необхідно для досягнення ахроматичного кольору, є наближеним. Метод точного розрахунку базується на виконанні так званого «**колірного графіка МКО**», його ми розглянемо пізніше.

Більш узагальнену і строгу форму законам адитивного («оптичного») додавання кольорів у 1853р. надав німецький математик Х. Грассман. Він сформулював три закони, які згодом назвали в його

го честь. У різних джерелах автори формулюють їх по-різному, пропонована нижче форма є одним з варіантів.

1 ЗАКОН

Будь-який колір може бути виражений через три лінійно - незалежних кольори, при цьому кількість триад кольорів нескінченно велика.

Зробимо деякі пояснення. За визначенням, кілька кольорів називаються лінійно-незалежними, якщо кожен з них не може бути отриманий змішуванням інших. «Тріада» - це набір (або трійка) з трьох кольорів, їх можна скласти нескінченно багато. Ось два приклади трійок лінійно-незалежних кольорів: {Ч, З, С} і {Ж, Бл, П}.

Для триади {Ч, З, С} І закон Грассмана виглядає так:

$$K = Ч \cdot [Ч] + З \cdot [З] + С \cdot [С].$$

де Ч, З і С - характеризують кількість відповідно кольорів [Ч], [З] і [С], необхідне для одержання кольору К. Відзначимо, що знак "=" має на увазі не точну рівність спектрів випромінювання, а так звану «візуальну тотожність» - для людського ока колір К і колір, отриманий змішуванням обраних трьох кольорів однакові.

Використовуючи І закон Грассмана будь-якому кольору можуть бути однозначно поставлені у відповідність три величини, своєрідні «три колірні координати», тобто колір виявляється подібний вектору в деякому 3х мірному просторі - так званому «колірному просторі».

2 ЗАКОН

Безперервній зміні випромінювання відповідає така саме безперервна зміна кольору.

Даний закон забороняє існування «відокремлених кольорів», тобто кольорів, що не примикають безпосередньо до кольорів випромінювань, що змішуються. Відповідно, при змішуванні двох і більше випромінювань, наприклад при змішуванні «червоного» і «зеленого», у міру зміни співвідношення потужностей буде спосте-

рігатися безперервна зміна сумарного кольору від одного доданка до іншого.

3 ЗАКОН (Закон адитивності кольору)

Колір суміші залежить тільки від кольорів компонентів, що змішуються, і не залежить від їх спектрального складу.

Якщо змішати два візуально однакових кольори з деяким третім кольором, то результуючий колір в обох випадках буде однаковим, не залежно від спектрального складу кожного з двох вихідних кольорів.

Яка ж практична цінність законів Грассмана?

Другий і третій закони Грассмана говорять про те, що для розрахунків сумарного кольору (при оптичному складення) знати спектральний склад кольорів, що складаються, немає необхідності, досить тільки яким-небудь чином охарактеризувати їх **спостережуваний колір**. Метод однозначного опису кольору міститься в першому законі. Таким чином, три закони Грассмана створюють базу для математичних розрахунків результату складання (і віднімання) кольорів.

2. Субтрактивний синтез кольору.

Розглянемо приклад - змішування двох фарб на палітрі:

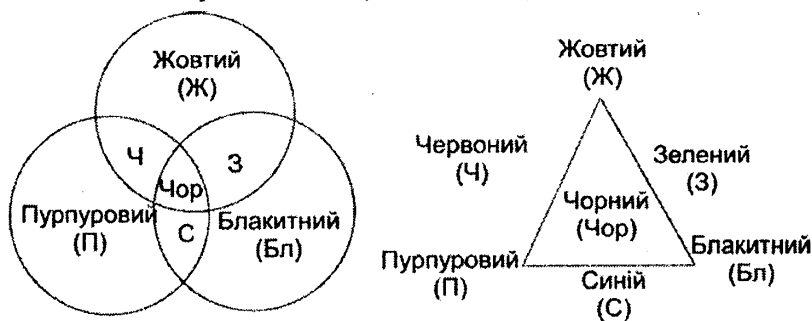


Рисунок 5.8 – Схема субтрактивного змішування для трьох кольорів

Дана схема являє собою повернених за годинниковою стрілкою трикутник для адитивного додавання.

Субстрактивний метод синтезу заснований на використанні барвників – речовин, що володіють певними світлопоглинаючими властивостями. При проходженні світлового потоку через фарбувальну речовину з нього частково або повністю «вилучаються» деякі електромагнітні хвилі. Наприклад, жовтий пігмент поглинає з білого світла промені блакитної області спектра, але пропускає промені червоних і зелених кольорів.

Субстрактивний синтез кольору лежить в основі кольорової фотографії, кінематографії, кольорового друку (поліграфії) і фарбування різних матеріалів.

В принципі, для фарбування всіляких предметів достатньо використувати тільки три основних кольори, точніше три основних барвника. На практиці зазвичай використовують: Жовтий, Ціан (бірюзовий, синьо-зелений), Фуксин (пурпурно-червоний), які для стислості, позначають літерами Ж, Бл і П.

Використання не чистих, а розведених Ж, Бл і П - барвників дозволяє збільшити їх світлопропускання відповідно в зонах С, Ч і З. Комбінації розведених барвників дадуть цілий ряд нових кольорів, наприклад, Пом, Ж-З і З-Бл, що істотно розширює діапазон синтезованих відтінків. Варіюючи ступінь розбавлення для кожного з трьох основних барвників, при змішуванні можна отримати практично будь-який по тону і насиченості колір.

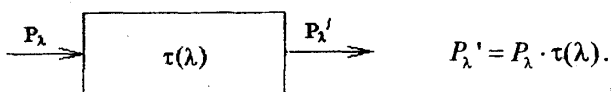
Спектри поглинання реальних (на відміну від описаних вище ідеальних) барвників при переході від однієї зони до іншої змінюються плавно. Дана особливість призводить до звуження палітри синтезованих кольорів. Парне змішування реальних Ж, Бл і П барвників вже не призводить до отримання настільки чистих і яскравих кольорів, а суміш всіх трьох барвників вже не забезпечує отримання ахроматичного (чорного) кольору. З цієї причини, для отримання більш повної гами кольорів у промисловості використовуються додаткові барвники, наприклад, додатковий барвник чорного кольору. Відзначимо, що дане зауваження стосується не тільки три-

ади {Ж, Бл, П}, але і будь-який інший тріади барвників, наприклад {Ч, З, С}.

Для визначення результуючого кольору у випадку використання реальних матеріалів і реальних барвників необхідно знати (тобто якимось методом визначити або виміряти) спектр результуючого світлового випромінювання в конкретній ситуації.

А. Прозорі середовища.

Необхідно в експерименті безпосередньо виміряти спектр світлового потоку P_{λ}' , що пройшов через середовище або розрахувати його теоретично - знаючи спектр джерела випромінювання P_{λ} і коефіцієнт пропускання середовища $\tau(\lambda)$. Цей випадок максимально простий:



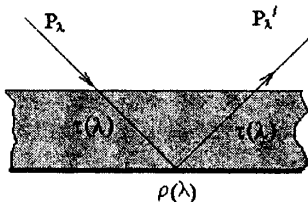
В. Непрозорі середовища.

Колір поверхонь непрозорих тіл визначається спектром відбитого від них світлового потоку. Для фарбування непрозорих предметів використовуються фарби - суміш пігментів і сполучних речовин. Розрахунок кольору в даному випадку складний: очі спостерігача досягає не тільки світло, що повністю або частково пройшло через шари фарби, але і світло, відбите від поверхні фарби. Отже, сумарний світловий потік має складний спектральний склад, який залежить не тільки від характеру виборчого поглинання світла джерела освітлення барвником, але і від безлічі інших чинників: ступеня рівності поверхні, оптичних властивостей шарів фарби, її товщини, умов спостережень і т.д.

Роль оптичних властивостей шару фарби

Якщо шар фарби прозорий і має невелику товщину, то світло проходить через нього, відбивається від матеріалу підкладки і виходить в бік джерела освітлення. У цьому випадку спектральний

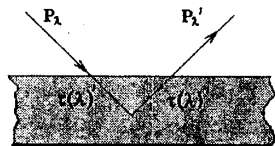
склад світлового потоку, що вийшов, визначається «подвоєним» коефіцієнтом пропускання шару фарби (так як світло проходить його два рази) « $\tau(\lambda) \cdot \tau(\lambda)$ » і коефіцієнтом відбиття власне незабарвленого матеріалу $\rho(\lambda)$:



$$P_{\lambda}' = P_{\lambda} \cdot \tau(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot \tau(\lambda)$$

Якщо шар фарби товстий, а сама фарба малопрозора (так звана «криюча»), то відбивання світла буде відбуватися безпосередньо в шарі фарби, світло до підкладки не дійде. Отже, колір такий поверхні буде залежати тільки від властивостей самої фарби:

Важливо відзначити, що $\tau(\lambda)' \neq \tau(\lambda)$ так як невідомо, на яку глибину світлове випромінювання проникає в товстий шар фарби.



Роль освітлення

Якщо освітлення розсіяне (ненаправлене, рівномірне), а поверхня шорстка, то відбите від поверхні світло рівномірно розподіляється по всіх напрямках і буде в рівній мірі «підмішане» до світлового потоку, що вийшов з шарів фарби.

Якщо світло спрямоване, а поверхня гладка, то відбите від поверхні світло матиме цілком певний напрям. Отже, додавання світлових потоків (відбитого поверхнею і того, що вийшов з шарів фарби) буде відбуватися тільки при певному куті спостереження, відповідно дзеркального відображення.

Роль оптичних властивостей забарвленого матеріалу

Якщо поглинання світла пофарбованим середовищем неоднорідне, тобто середовище складається з оптично неоднорідних фаз («шарів», «включень»), то в міру проходження в глиб речовини, світло буде частково поглинатися, а частково відбиватися від границь розділу неоднорідних ділянок. Відповідно, в око спостерігача потраплять промені, що вийшли з різних за глибиною шарів мате-

ріалу. Саме такими властивостями володіють забарвлені текстильні матеріали: приблизно 1-3% падаючого на тканину світла відбивається від її поверхні, інша частина випромінювання виходить з тканини після відбиття від численних меж розділу фаз - ниток. Тому колір тканини сильно залежить від глибини і характеру проникнення барвника (або декількох барвників) у товщу волокон. Особливо сильний вплив на спостережуваний колір надає той барвник, який розташовується в поверхневих шарах тканини.

5.4 Система опису кольорів RGB

Відповідно до першого закону адитивного змішування кольорів, будь-який колір K може бути виражений через три лінійно-незалежних кольору:

$$K = R \cdot [R] + G \cdot [G] + B \cdot [B], \quad (5.2)$$

де R , G і B - кількості основних кольорів $[R]$, $[G]$ і $[B]$ відповідно. Нагадаємо, що кількості кольорів є алгебраїчними величинами, тобто входять у вираз зі знаком «+» або «-». Даний запис кольору називається «**колірне рівняння**», а вхідні в неї кількості кольорів називається «**координати кольору в трихроматичній (триколірній) системі**». Резолюцією МКО в якості основних кольорів системи RGB обрані наступні випромінювання в певних кількостях:

$[R] \rightarrow \lambda_R = 700.0 \text{ нм}; \Phi_R = 1.00 \text{ лм}$ - «**Червоний**»,

$[G] \rightarrow \lambda_G = 547.1 \text{ нм}; \Phi_G = 4.59 \text{ лм}$ - «**Зелений**»,

$[B] \rightarrow \lambda_B = 435.8 \text{ нм}; \Phi_B = 0.06 \text{ лм}$ - «**Синій**».

Величини світлових потоків Φ_i були спеціально підібрані таким чином, щоб три основних кольори, взяті в рівних кількостях, давали в сумі одиничний білий колір «Е»:

$$[R] + [G] + [B] = E. \quad (5.3)$$

Такий білий колір в літературі називають «**рівностимульний (або рівноінтенсивний) білий колір**», щоб підкреслити той факт, що він сформований взятими в рівних кількостях основними кольорами.

Зрозуміло, що при подвоєнні кількості кольорів сумарний колір білий колір так само «подвоїться»:

$$2 \cdot [R] + 2 \cdot [G] + 2 \cdot [B] = 2 \cdot E$$

– білий колір в «подвійній кількості».

Введемо кілька визначень:

1). Модуль кольору (m)

За визначенням, модуль кольору m дорівнює сумі трьох координат даного кольору:

$$m = R + G + B. \quad (5.4)$$

Приклад з білим кольором показує, що колірний модуль m характеризує колір з кількісної сторони.

2). Координати кольоровості $\{r, g, b\}$

За визначенням, координати кольоровості $\{r, g, b\}$ – це відношення координат кольору до його модулю:

$$\begin{cases} r = \frac{R}{m} = \frac{R}{R + G + B} \\ g = \frac{G}{m} = \frac{G}{R + G + B}, \\ b = \frac{B}{m} = \frac{B}{R + G + B} \end{cases} \quad (5.5)$$

Введені таким чином координати кольоровості $\{r, g, b\}$ визначають колір з якісної сторони, тобто описують відтінок кольору (тон + насиченість). Можна сказати, що координати кольоровості представляють собою координати деякого кольору, взятого «в одиничній кількості» – так званого «одиничного кольору».

З визначення координат кольоровості ясно, що $r + g + b = 1$. Отже, для опису колірної відтінку досить задати лише дві координати кольоровості, наприклад $\{r, g\}$, відсутню координату легко виразити: $b = 1 - (r + g)$. Використовуючи дану властивість координат кольоровості, всі тони можна зобразити у вигляді точок на площині.

Скориставшись формулами (5.5) перепишемо колірне рівняння в іншому вигляді:

$$K = R \cdot [R] + G \cdot [G] + B \cdot [B] = m \cdot r \cdot [R] + m \cdot g \cdot [G] + m \cdot b \cdot [B] = \\ = m \cdot (r \cdot [R] + g \cdot [G] + b \cdot [B]) = m \cdot [K], \quad (5.6)$$

$$\text{де} \quad [K] = r \cdot [R] + g \cdot [G] + b \cdot [B], \quad (5.7)$$

– (за змістом) деякий одиничний колір, $m=R+G+B$ – модуль кольору.

Видно, що модуль кольору показує, в якій кількості необхідно взяти одиничний колір $[K]$ (відповідний тону і насиченості кольору K), щоб отримати колір, що нас цікавить. Відзначимо, що вираз (5.7), що описує одиничний колір, за своєю формою зовсім аналогічно колірному рівнянню (5.2). Тому (5.7) прийнято називати «колірним рівнянням для одиничного кольору $[K]$ ».

Для виконання практичних розрахунків, В. Райт і Ж. Гілд в експерименті визначили координати кольоровості для всіх монохроматичних випромінювань (всіх чистих кольорів). На рисунку 5.9 приведена схема їх експерименту.

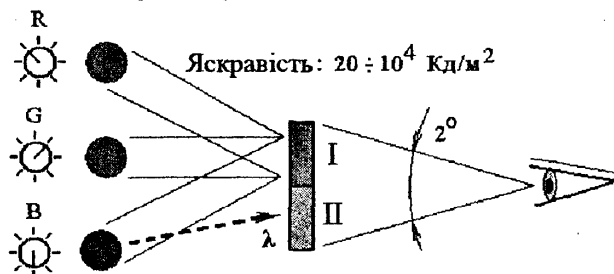


Рисунок 5.9 – Схема експерименту Райта і Гілда

В області екрану I змішуються випромінювання основних кольорів.

В області екрану II спостерігач бачить випромінювання з довжиною хвилі λ , координати кольоровості якого потрібно визначити.

Зазначена на малюнку яскравість екрану необхідна для забезпечення нормальної роботи колбочок ока.

Керуючи регуляторами кількості для всіх трьох основних кольорів, експериментатор повинен вирівняти колір полів I і II - до-

могтися колірної тотожності випромінювань в обох областях поля зору.

Відзначимо деякі особливості вимірювань:

1). Регулятори кількості основних кольорів були градуйовані у відповідності зі значеннями одиничних колірних потоків Φ_R , Φ_G і Φ_B .

2). Як ми вже знаємо, колір спектрально-чистого випромінювання не завжди може бути відтворений шляхом адитивного змішування трьох основних випромінювань. Тому в деяких випадках до досліджуваного випромінювання можна було підмішано одне з основних випромінювань, з метою «розведення» (для зниження насиченості досліджуваного кольору). Нехай, наприклад, для цілей розведення використовувалося випромінювання синього кольору (показано пунктирною стрілкою на малюнку) в кількості B_1 . У цьому випадку, після встановлення колірної тотожності отримуємо:

$$K(\lambda) + B_1 \cdot [B] = R \cdot [R] + G \cdot [G] + B_2 \cdot [B] \Rightarrow$$

$$K(\lambda) = R \cdot [R] + G \cdot [G] + (B_1 - B_2) \cdot [B], \quad (5.8)$$

де R , G , і $B = B_1 - B_2$ - кількості основних кольорів, виміряні в «одиничних колірних потоках» (тобто положення ручок регуляторів основних кольорів).

Знаючи кількості основних кольорів, необхідні для встановлення колірної тотожності, експериментатори легко розраховували координати кольоровості:

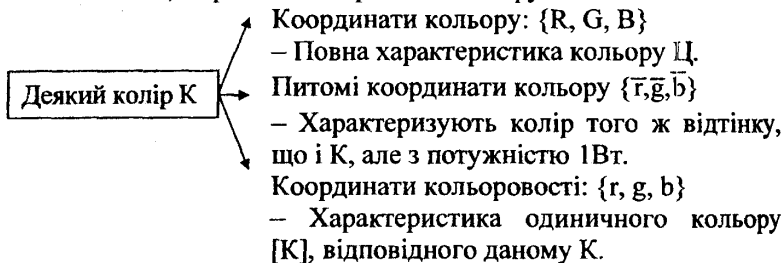
$$\begin{cases} r = \frac{R}{m} = \frac{R}{R + G + (B_1 - B_2)} \\ g = \frac{G}{m} = \frac{G}{R + G + (B_1 - B_2)} \\ b = \frac{B}{m} = \frac{B_1 - B_2}{R + G + (B_1 - B_2)} \end{cases} \quad (5.9)$$

3) Питомі координати $\{\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}\}$.

При виконанні розрахунків, часто виявляються корисні так звані «**питомі координати**». У літературі їх можуть називати по-різному: «питомі координати спектральних випромінювань постійної потужності», «криві додавання».

Питомі координати – це координати кольору, світловий потік якого має потужність 1 Вт.

Таким чином, є три типи координат кольору:



Щоб розрахувати питомі координати деякого спектрально-чистого випромінювання K з довжиною хвилі λ , поступають таким чином:

- знаходять координати {r, g, b}, для відповідного цьому випромінюванню одиничного кольору [K];
- обчислюють потужність одиничного кольору P[K] (в Ватах):

$$P[K] = \frac{\Phi_{[K]}}{683 \cdot v_{\lambda}} = \frac{r \cdot \Phi_R + g \cdot \Phi_G + b \cdot \Phi_B}{683 \cdot v_{\lambda}}, \quad (5.10)$$

де $\Phi[K]$ – світловий потік, відповідний одиничному кольору [K],

Φ_i – одиничні світлові потоки для трьох основних кольорів.

- кожен з координат {r, g, b} одиничного кольору [K] ділять на цю потужність:

$$\begin{cases} \bar{r} = \frac{r}{P[K]} = 683 \cdot \frac{v_\lambda}{r \cdot \Phi_R + g \cdot \Phi_G + b \cdot \Phi_B} \cdot r \\ \bar{g} = \frac{g}{P[K]} = 683 \cdot \frac{v_\lambda}{r \cdot \Phi_R + g \cdot \Phi_G + b \cdot \Phi_B} \cdot g \\ \bar{b} = \frac{b}{P[K]} = 683 \cdot \frac{v_\lambda}{r \cdot \Phi_R + g \cdot \Phi_G + b \cdot \Phi_B} \cdot b \end{cases} \quad (5.11)$$

Отже, вирази (5.11) дозволяють нам по відомих координатах кольоровості $\{r, g, b\}$ деякого спектрально-чистого випромінювання обчислити його питомі координати – тобто координати кольору з тим же відтінком, але з потужністю 1Вт. Зверніть увагу на той факт, що множник «683» є загальним для всіх трьох питомих координат: він входить до формули для кожної з них. Легко зрозуміти, що загальний множник не важливий для розрахунку якісних характеристик кольору, тому його часто опускають.

Обчислені за формулами (5.11), питомі координати для всіх спектрально-чистих кольорів наведені на рисунку 5.10. Даний графік показує, в яких кількостях необхідно змішати основні кольори системи RGB (з урахуванням одиничних кількостей Φ_i), щоб відтворити колір монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі λ і потужністю 1/683 Вт.

Користуючись кривими складання легко розрахувати **координати спектрально-чистого кольору** (монохроматичного випромінювання) з довжиною хвилі λ і потужністю P :

$$\begin{cases} R = \bar{r}(\lambda) \cdot P \\ G = \bar{g}(\lambda) \cdot P \\ B = \bar{b}(\lambda) \cdot P \end{cases} \quad (5.12)$$

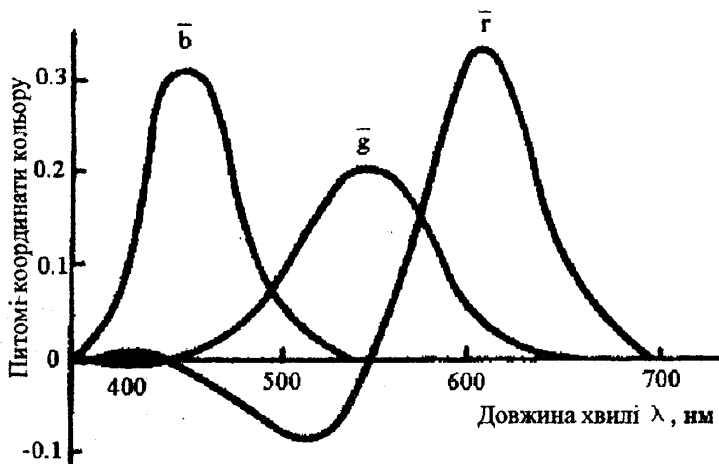


Рисунок 5.10 – Питомі координати спектральних кольорів з різни-
ми довжинами хвилі (в системі RGB)

Якщо випромінювання не монохроматичне, а має складний спектр, обчислення ускладнюються. Таке випромінювання являє собою сукупність великого числа світлових хвиль з різною довжиною λ , що володіють потужністю dP_λ ($dP_\lambda = P_\lambda \cdot d\lambda$ – «потужність випромінювання, що володіє довжиною хвилі поблизу λ »). Координати кольору в цьому випадку - є алгебраїчна сума координат кольору для кожної з хвиль, обчислених за формулами (5.12). Таким чином, для випромінювання із складним спектром отримуємо наступні формули:

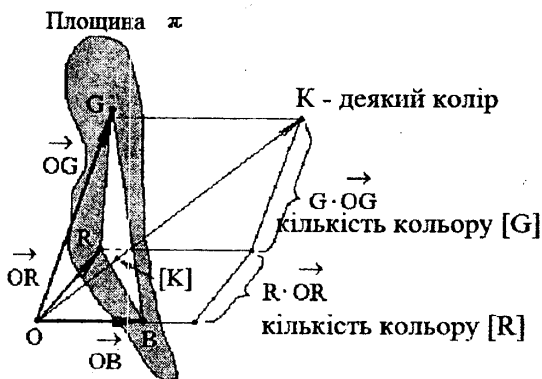
$$\left\{ \begin{array}{l} R = \int_{380 \text{ нм}}^{780 \text{ нм}} \bar{r}(\lambda) \cdot P_\lambda d\lambda \approx \Delta\lambda \sum_{380 \text{ нм}}^{780 \text{ нм}} \bar{r}_i \cdot P_i \\ G = \int_{380 \text{ нм}}^{780 \text{ нм}} \bar{g}(\lambda) \cdot P_\lambda d\lambda \approx \Delta\lambda \sum_{380 \text{ нм}}^{780 \text{ нм}} \bar{g}_i \cdot P_i \\ B = \int_{380 \text{ нм}}^{780 \text{ нм}} \bar{b}(\lambda) \cdot P_\lambda d\lambda \approx \Delta\lambda \sum_{380 \text{ нм}}^{780 \text{ нм}} \bar{b}_i \cdot P_i \end{array} \right. \quad (5.13)$$

Графічне представлення кольорів в системі RGB

Як ми вже знаємо, будь-який колір однозначно характеризується трьома кольорними координатами-кількостями основних кольорів системи RGB: $K \rightarrow \{R, G, B\}$. Іншими словами, колір є вектором у деякому тривимірному просторі. Природно вважати, що всі кольорні вектори мають спільне начало, яке відповідає «нульовій кількості кольору» - чорному кольору.

Направимо вектори основних кольорів довільним чином, але так, щоб вони не лежали в одній площині:

Колірні вектори складаються за звичайними правилами, отже:



Якщо колір K описується позитивними кількостями основних кольорів, то його кольорний вектор буде лежати всередині трикутної піраміди, побудованих на векторах. Якщо одна з координат вектора буде негативна, то вектор розташується поза пірамідою.

Рисунок 5.11 – Колірний простір

Так як при адитивному додаванні кольорів ніколи не утворюється чорний колір, то не існує кольорних векторів з діаметрально протилежними напрямками. Тому всілякі кольорні вектора заповнюють не весь простір, а лише певну його частину.

Розглянемо трикутник ΔRGB , отриманий при з'єднанні кінців векторів основних кольорів – **трикутник одиничних кольорів**. Кінці векторів, відповідних всіляким одиничними кольорам $[K]$ (кольорам, для яких модуль кольору m дорівнює одиниці) будуть лежати в площині π , що містить даний трикутник. Дійсно, рівняння

для координат точки, що належить площині π і рівняння для координат вектора одиничного кольору збігаються: $r + g + b = 1$.

Координати $\{R, G, B\}$ векторів K , відповідних різним спектрально-чистим кольорам були експериментально визначені Райтом і Гілдом. За відомими координатами можна побудувати ці вектори, і тим самим нанести на площину π точки всіх існуючих в природі чистих кольорів - отримати **колірний графік**:

Кольоровість довільної суміші монохроматичних випромінювань

завжди зображується точкою $\{r, g, b\}$, лежачою всередині фігури, обмеженої замкнутою лінією $BFGRB$. Тому дана фігура називається **полем реальних кольорів**.

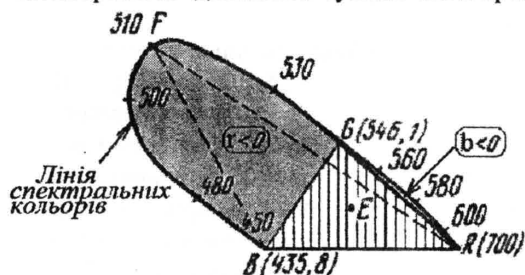


Рисунок 5.12 – Колірний графік системи RGB

Точкою E на рисунку позначений рівноінтенсивний білий колір.

Введемо ще кілька визначень:

Лінія, на якій розташовані точки колірності всіх монохроматичних випромінювань називається **лінія спектральних кольорів** або **спектральний локус**.

Лінія, що з'єднує точки колірності основного червоного і основного синього кольорів (т. R і т. B) називається **лінією пурпурних кольорів**, на ній розташовані максимально насичені пурпурові кольори.

Відзначимо дві важливі особливості колірного графіка:

1. Кольорів з від'ємним значенням координати b (зафарбована область « $b < 0$ » на рис. 5.12) дуже мало, тому в більшості практичних розрахунків можна вважати, що для цих кольорів $b = 0$.

2. Кольорів з від'ємним значенням координати r (зафарбована область « $r < 0$ » на рис. 5.12) дуже багато: вони розташовуються поза ΔRGB , на площі обмеженій відрізком BG і кривою BFG .

Зазначений недолік знижує точність обчислень і не може бути усунутий вибором замість RGB іншої тріади основних кольорів, так як не один трикутник з вершинами в точках, що відповідають реальним кольорам, не охоплює спектральний локус.

5.5 Система опису кольорів XYZ

Для спрощення кольірних розрахунків, а значить підвищення їх точності, було вкрай бажано позбутися негативних значень координат. Система RGB і всі її аналоги, засновані на тріадах спектральних кольорів, не змогли забезпечити виконання такої вимоги. Тому МКО була розроблена кольірна система XYZ, в якій реальні кольори були замінені трьома не відтворюваними (суто формальними) кольорами, умовно названими «X», «Y» та «Z».

Кольори X, Y і Z лежать поза полем реальних кольорів. Вони вибрані так, щоб ΔXYZ повністю охоплював спектральний локус, а розрахунки яскравості для реальних кольорів були найбільш простими:

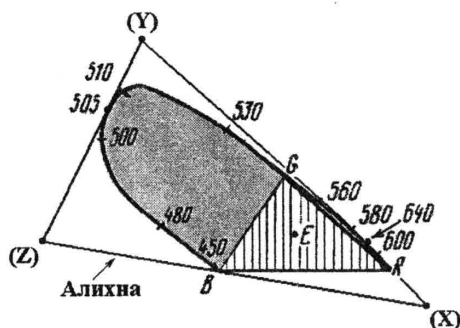


Рисунок 5.13 – Кольоровий графік RGB, з нанесеними основними кольорами системи XYZ.

Алихна ("безколірна") – геометричне місце точок нульової яскравості

Координати основних кольорів системи XYZ (записані в системі RGB):

$$(X) \rightarrow \{r = 1.2750, g = -0.2778, b = 0.0028\};$$

$$(Y) \rightarrow \{r = -1.7393, g = 2.7673, b = -0.0280\};$$

$$(Z) \rightarrow \{r = -0.7431, g = 0.1409, b = 1.6022\}.$$

З рисунку 5.13 випливає, що основні кольори «X» і «Z» лежать

на лінії нульової яскравості, тому вони не дають внеску в яскравість кольору – для обчислення яскравості досить знати тільки кількість кольору Y.

Одиничні кількості для основних кольорів даної системи вибрали таким чином, щоб в сумі основні кольори давали білий колір E, причому точно такий же, як і при додаванні квітів [R], [G] і [B]. Даний підхід називається «узгодження з білим кольором E»:

$$[X] + [Y] + [Z] = [R] + [G] + [B] = E. \quad (5.14)$$

Отже, в якості основних кольорів системи XYZ, були обрані наступні кольори:

$$[X] \rightarrow \{r = 2,36461, g = -0.51515, b = 0.00526\} - \text{«кольір X»};$$

$$[Y] \rightarrow \{r = -0.89654, g = 1,42640, b = -0.01441\} - \text{«кольір Y»};$$

$$[Z] \rightarrow \{r = -0.46807, g = 0.08875, b = 1,00921\} - \text{«кольір Z»}.$$

В системі XYZ колірне рівняння має той же вигляд, що і в системі RGB:

$$K = X \cdot [X] + Y \cdot [Y] + Z \cdot [Z], \quad (5.15)$$

де X, Y і Z - кількості основних кольорів [X], [Y] та [Z] відповідно. Згідно з принципом побудови розглянутої колірної системи, кількості кольорів, що входять у рівняння (5.15), є строго позитивні величини.

Модуль кольору (m) і координати кольоровості {x, y, z} розраховуються стандартним способом:

$$m = X + Y + Z, \quad (5.16)$$

$$\begin{cases} x = \frac{X}{m} = \frac{X}{X + Y + Z} \\ y = \frac{Y}{m} = \frac{Y}{X + Y + Z} \\ z = \frac{Z}{m} = \frac{Z}{X + Y + Z} \end{cases} \quad (5.17)$$

Єдина відмінність системи XYZ від системи RGB полягає в то-

му, що координати кольоровості в системі XYZ можна виміряти безпосередньо в експерименті, їх виражають через раніше знайдені координати $\{r, g, b\}$ за формулами:

$$\begin{cases} x = (0.49000 \cdot r + 0.31000 \cdot g + 0.20000 \cdot b)/A \\ y = (0.77000 \cdot r + 0.81238 \cdot g + 0.01063 \cdot b)/A, \\ z = (0.00002 \cdot r + 0.01002 \cdot g + 0.98996 \cdot b)/A, \end{cases} \quad (5.18)$$

$$\text{де} \quad A = (0.66700 \cdot r + 1.13239 \cdot g + 1.20058 \cdot b) \quad (5.19)$$

Відзначимо, що якщо формулах (5.18) опустити коефіцієнт «А» (покласти $A \equiv 1$), то всі записані вирази залишаться справедливими, тільки вони будуть відноситися вже не до переведення координат кольоровості $\{r, g, b\} \rightarrow \{x, y, z\}$, а до перерахунку колірних координат з однієї системи в іншу $\{R, G, B\} \rightarrow \{X, Y, Z\}$.

Отримаємо вираз для світлового потоку в системі XYZ:

1) Використовуємо факт узгодження систем RGB і XYZ з одиничним білим кольором E:

$$\text{Система RGB} \rightarrow \Phi_E = 1 \cdot \Phi_R + 1 \cdot \Phi_G + 1 \cdot \Phi_B \quad (A)$$

$$\text{Система XYZ} \rightarrow \Phi_E = 1 \cdot \Phi_X + 1 \cdot \Phi_Y + 1 \cdot \Phi_Z = \Phi_Y \quad (B)$$

Ми вже звертали увагу на те, що кольори $[X]$ і $[Z]$ не роблять внесок в яскравість, тому $\Phi_X = 0$, $\Phi_Z = 0$

Прирівнюючі вирази (A) и (B), знаходимо Φ_Y :

$$\Phi_Y = \Phi_R + \Phi_G + \Phi_B \approx 1.00 \text{ лм} + 4.59 \text{ лм} + 0.06 \text{ лм} = 5.65 \text{ лм}.$$

Точне значення: $\Phi_Y = 5.6508 \text{ лм}$

2) Отримавши Φ_Y , виразимо світловий потік в системі XYZ:

$$\Phi_{[K]} = Y \cdot \Phi_Y = 5.6508 \cdot Y. \quad (5.20)$$

Записана формула дозволяє по відомим координатам $\{X, Y, Z\}$ визначити світловий потік для заданого кольору. Для одиничних кольорів у формулу (5.20) замість «Y» необхідно підставляти «у». Так як точне знання кількості деякого кольору (тобто точне знання світлового потоку) не впливає на його якісні характеристики, іноді множник «5,6508» опускають. У цьому випадку вважають

$$\Phi_{[K]} = Y \quad (5.21)$$

і величина $\Phi_{[K]}$ носить вже відносний характер. Природно, так само відносний характер буде носити і обчислена за цим світловим потоком яскравість Y . Щоб відрізнити яскравість, обчислену за спрощеною формулою (5.21), від отриманої за точною формулою (5.20), «яскравість за спрощеною формулою» ще називають «відносною яскравістю».

Питомі координати для монохроматичних випромінювань (криві додавання) в системі XYZ

Величини $\{\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}\}$ в системі XYZ отримують розрахунковим шляхом. Послідовність дій – цілком аналогічна розрахункам в системі RGB (див. формули (5.10), (5.11) і формулу для світлового потоку (5.20)). Маємо:

$$\begin{cases} \bar{x} = \frac{x}{P_{[K]}} = \frac{x \cdot 683 \cdot v_{\lambda}}{\Phi_{[K]}} = \left(\frac{683 \cdot v_{\lambda}}{5.6508} \right) \cdot \frac{x}{y} \\ \bar{y} = \frac{y}{P_{[K]}} = \left(\frac{683 \cdot v_{\lambda}}{5.6508} \right) \cdot v_{\lambda} \\ \bar{z} = \frac{z}{P_{[K]}} = \left(\frac{683 \cdot v_{\lambda}}{5.6508} \right) \cdot \frac{z}{y} \end{cases} \quad (5.22)$$

Зверніть увагу на важливу особливість формул (5.22) – питома координата $\bar{y} \sim v_{\lambda}$. Цей факт спрощує розрахунки і дозволяє провести незалежну перевірку. Результати обчислень зображені на рисунку 5.14. Видно, що питомі координати $\{\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}\}$ для всіх випромінювань в системі XYZ завжди позитивні.

Даний графік показує, в яких кількостях необхідно змішати основні кольори системи XYZ (з урахуванням одиничних кількостей), щоб відтворити колір монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі λ і потужністю 5.6508 / 683 Вт.

Точно так само, як і в системі RGB, загальний множник у формулах (5.22) - в даному випадку це «683/5.6508» - при обчисленнях часто опускають: він не важливий для розрахунку якісних характеристик кольору. Щоб зрозуміти, опущений чи множник чи ні для конкретних кривих складання, достатньо подивитися на криву $\bar{y}$:

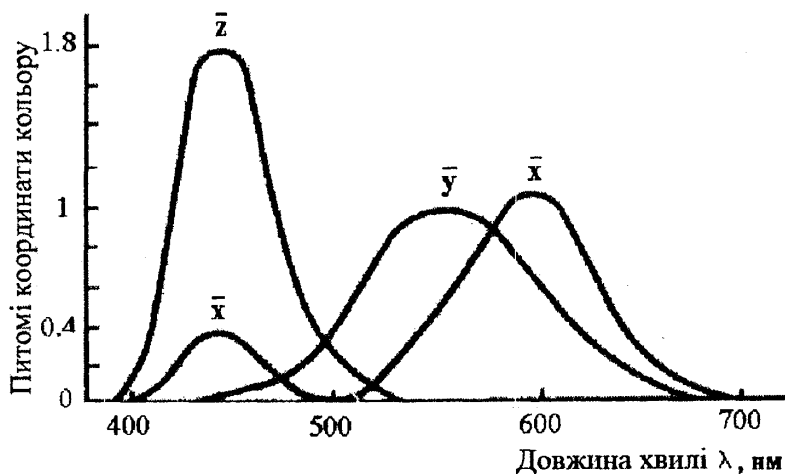


Рисунок 5.14 – Питомі координати спектральних кольорів з різною довжиною хвилі

якщо максимальне значення $\bar{y}$ дорівнює одиниці, значить множник опущений. Користуючись даним простим критерієм, легко побачити, що при побудові графіка 5.14 загальний множник дійсно було опущено.

Колірний графік системи XYZ.

Колірний графік системи XYZ має вигляд:

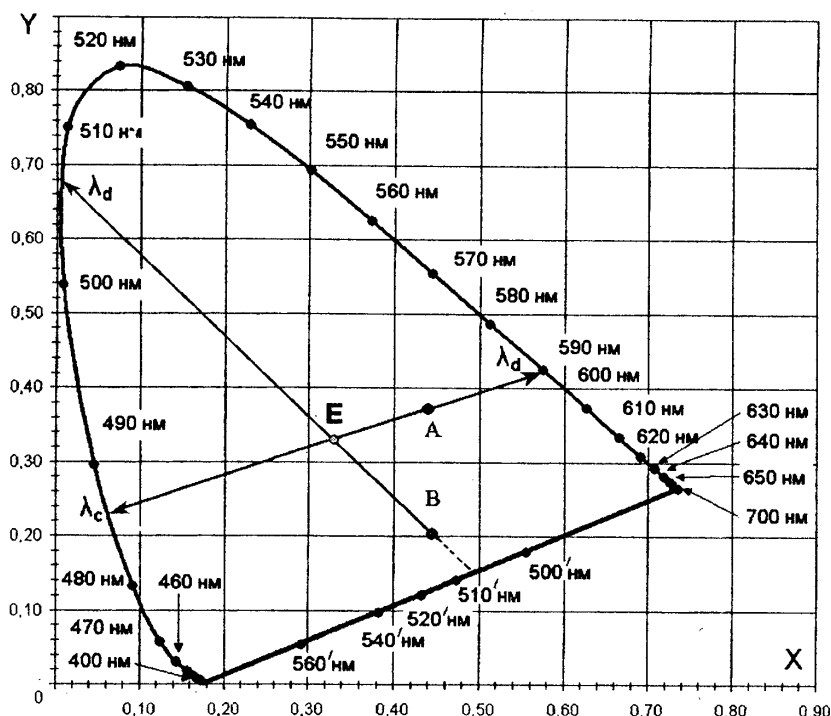


Рисунок 5.15 – Колірний графік системи XYZ

Точка Е – рівноінтенсивний білий колір; А і В – деякі кольори

Щоб визначити переважаючу довжину хвилі λ_d для деякого заданого кольору А, необхідно з точки Е через точку кольору провести промінь до перетину з межею поля реальних кольорів. Для знаходження довжини хвилі додаткового кольору λ_c , промінь проводять в протилежну сторону, так само до перетину з межею поля реальних кольорів.

Відзначимо важливі особливості пурпурових кольорів:

(1) Якщо точка λ_c належить лінії пурпурових кольорів, то для такого кольору додаткового не існує.

(2) Пурпурні кольори є складними (являють собою суміш червоних і фіолетових кольорів), тому їх характеризують особливим чином. Для знаходження λ_d промінь направляють не до лінії пурпурових кольорів, а в протилежну сторону, в сторону спектрального локусу. При цьому, поряд із знайденим числом ставиться знак «'» або «-». Наприклад, для точки В: « $\lambda_d = -506 \text{ нм}$ » або « $\lambda_d' = 506 \text{ нм}$ ».

Колориметрична чистота деякого кольору А (див. рис. 5.15) визначається його віддаленістю від точки білого кольору Е: чим точка А ближче до точки Е, тим чистота менша, і навпаки, чим точка А ближче до спектрального локусу, тим чистота більша. За відомими координатами кольоровості $\{x, y\}$, колориметрична чистота обчислюється таким чином:

$$P_k = \frac{y_\lambda}{y} \cdot \frac{(x - x_E)}{(x_\lambda - x_E)}, \quad (5.23)$$

$$P_k = \frac{y_\lambda}{y} \cdot \frac{(y - y_E)}{(y_\lambda - y_E)}, \quad (5.24)$$

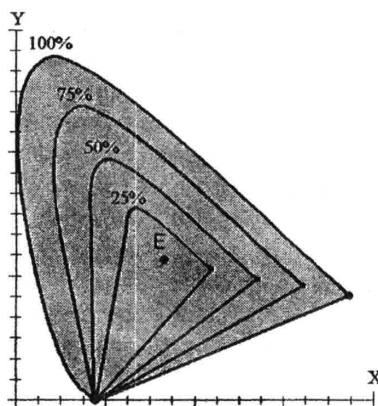
– через координати «х» (5.23) або координати «у» (5.24).

де x_λ і y_λ – координати спектрально-чистого кольору « λ_d » того ж тону, що і даний колір (точка «переважаючої довжини хвилі» для даного кольору), для пурпурових кольорів x_λ і y_λ беруться на лінії пурпурових кольорів;

x_E і y_E – координати точки Е (так званого «опорного білого кольору»), зазвичай вважають $x_E \approx y_E \approx 1/3$.

Отже, формула (5.23) або (5.24) дозволяє виразити колориметричну чистоту через координати кольоровості. Для зручності обчислень, на колірному графіку зазвичай нанесені так звані «**лінії рівної умовної чистоти**» (інша назва: «**лінії рівної умовної насиченості**»).

Умовна насиченість P_B вводиться за формулами:



$$P_B = \frac{x - x_E}{x_\lambda - x_E}, \quad (5.25)$$

$$P_B = \frac{y - y_E}{y_\lambda - y_E} \quad (5.26)$$

— через координати «х» (5.25) або координати «у» (5.26).

Рисунок 5.16 — Колірний графік системи XYZ з нанесеними лініями умовної насиченості

Порівнюючи формули для колориметричної чистоти (5.23) і (5.24) з формулами (5.25) і (5.26) для умовної чистоти, отримуємо:

$$P_K = P_B \cdot \frac{y_\lambda}{y}. \quad (5.27)$$

Розглянемо два крайніх випадки використання формули (5.27):

- 1) Для кольорів розташованих поблизу E: $P_B \approx 0 \Rightarrow P_K \approx 0$.
- 2) Для кольорів поблизу локусу: $P_B \approx 100\%$, $y_\lambda / y \sim 1 \Rightarrow P_K \approx 100\%$

Неважко помітити, що в наведених прикладах $P_B \approx P_K$. Таким чином, для кольорів з малою і з великою умовної чистотою P_B колориметричну чистоту кольору P_K можна наближено прирівняти до умовної чистоти кольору.

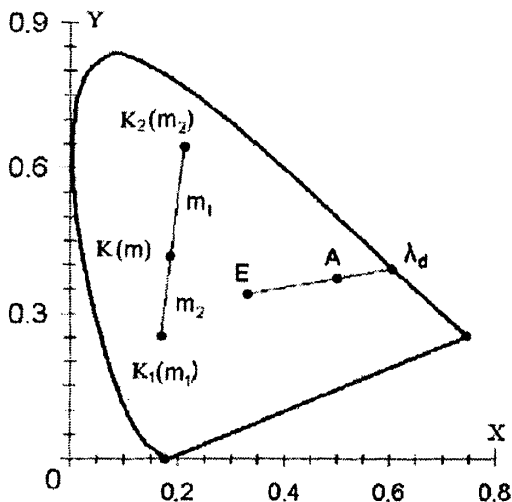
Аддитивное додавання двох кольорів на колірному графіку системи XYZ

Колір адитивної суміші двох випромінювань K лежить на відрізку, що сполучає точки змішуваних кольорів. Точка K розділяє відрізок K_1K_2 на дві частини, довжини яких обернено пропорційні модулям змішуваних кольорів:

«Перший колір» $K_1 \rightarrow$ колірний модуль « m_1 »,

«Другий колір» $K_2 \rightarrow$ колірний модуль « m_2 »

Сумарний колір $K = K_1 + K_2$:



$$m = m_1 + m_2,$$

$$\frac{KK_2}{KK_1} = \frac{m_1}{m_2}.$$

Рисунок 5.17 – Знаходження результату адитивного змішування двох кольорів (в системі XYZ)

Таким чином, щоб виготовити колір, позначений на колірному

графіку точкою А, необхідно змішати спектрально-чистий колір того ж тону « λ_d » і білий колір «Е» у співвідношенні:

$$\frac{\langle \lambda_d \rangle}{\langle E \rangle} = \frac{EA}{A\lambda_d}.$$

Відзначимо, що результат додавання декількох кольорів може бути знайдений і чисто аналітично, без використання колірного графіка. Дійсно, згідно властивостей колірних векторів:

$$\begin{cases} X = X_1 + X_2 \\ Y = Y_1 + Y_2 \\ Z = Z_1 + Z_2 \end{cases} \quad (5.28)$$

де X_1, Y_1, Z_1 – кольорові координати першого кольору (K_1),

X_2, Y_2, Z_2 – кольорові координати другого кольору (K_2),

X, Y, Z – кольорові координати результуючого кольору ($K=K_1+K_2$).

У нашому випадку кольори задані по-іншому, своїми координатами

тами кольоровості: $K_1 \rightarrow \{x_1, y_1\}$, $K_2 \rightarrow \{x_2, y_2\}$. Тому перед тим як скористатися формулами (5.28), необхідно обчислити колірні координати $\{X_i, Y_i, Z_i\}$ для кожного з кольорів, ґрунтуючись на інформацію про їх «кількості».

Для простоти, припустимо, що кількості складаємо кольорів задані вказівками з колірних модулів: $K_1 \rightarrow m_1$, $K_2 \rightarrow m_2$. Використовуючи послідовно формули (5.17) і (5.28) отримаємо:

$$\begin{cases} X = X_1 + X_2 = m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 \\ Y = Y_1 + Y_2 = m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2 \\ Z = Z_1 + Z_2 = m_1 \cdot (1 - x_1 - y_1) + m_2 \cdot (1 - x_2 - y_2) \\ m = X + Y + Z = m_1 + m_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2}{m_1 + m_2} \\ y = \frac{m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2}{m_1 + m_2} \\ z = 1 - x - y \end{cases}, \quad (5.29)$$

де $\{x, y\}$ - шукані координати кольоровості сумарного кольору K.

5.6 Колір в інтер'єрі

Роль кольору в архітектурній композиції зводиться до розчленування або об'єднання форми і простору, виділення головних елементів і нейтралізації другорядних просторових співвідношень, виявлення напрямку руху, підкреслення тектонічного ладу інтер'єру та ін. Колір необхідно розглядати у зв'язку з художнім образом інтер'єра. Він є активним носієм інформації, раніше інших факторів інформує про властивості об'єкта.

Як фактор забезпечення психофізіологічного комфорту колір дозволяє регулювати ступінь фізіологічного та психологічного впливу шляхом створення яскравостних співвідношень, застосування фізіологічно оптимальних кольорів, компенсації несприятливих впливів робочого процесу і навколишнього середовища.

Як засіб композиції колір дозволяє виявити композиційні особливості устаткування і інтер'єру, забезпечити гармонію колірних поєднань, підкреслити красу окремих кольорів.

Таблиця 5.2 - Оптимальні кольори в інтер'єрі. Перевага віддається складним, близьким до нейтральних кольорам (не брудним, але чисто-складним), або поєднанням на протилежностях (тепло-холодна гамма)

Блакитний	Загальне: для сонячних кімнат; для кімнат, які повинні здаватися чистими і гігієнічними або в яких потрібно зосередитися.	Оптимально: для робочої кімнати, кухні, ванни.
Холодно світло-блакитний	Загальне: для сонячних кімнат; для кімнат, які повинні здаватися чистими і гігієнічними або в яких потрібно зосередитися.	Оптимально: для робочої кімнати, кухні, ванни.
Блакитно-зелений	Загальне: для кімнат, де має бути сильна колірний вплив.	Оптимально: для представницьких приміщень.
Зелений	Загальне: для всіх приміщень, де відпочивають, розслабляються або хочуть зосередитися, а також для приміщень у гучних районах.	Оптимально: для робочої кімнати, спальні.
Жовто-зелений		Оптимально: для всіх приміщень, в яких вимагається привітна, затишна житлова атмосфера.
Жовто-червоний		Оптимально: для кімнат, де проводяться вечірки.
Жовтий	Загальне: для приміщень, де мало сонця або де потрібна стимулююча атмосфера.	Оптимально: для робочої кімнати, їдальні, дитячої.
Помаранчево-червоний		Оптимально: для кімнат, де проводяться вечірки.
Бежево-помаранчевий	Загальне: для приміщень, де мало сонця	Оптимально: для робочої кімнати, їдальні, дитячої.
Яскраво-червоний	Загальне: для просторих кімнат, стіни яких не на виду.	Оптимально: для кімнат, де проводяться вечірки.

Червоно-фіолетовий	Загальне: для приміщень, які повинні мати жіночний вигляд.	Оптимально: для святкових залів, музичних кімнат.
Пурпурово-червоний		Оптимально: для святкових залів, музичних кімнат.
Синє-фіолетовий	Загальне: для незвичайних, елегантних, дорогих інтер'єрів.	Оптимально: для елегантних святкових і представницьких приміщень.
Індиго-синій	Загальне: для приміщень, в яких шукають спокою і зосередженості.	Оптимально: для робочої кімнати, спальні.
Темно-синій		Оптимально: Тільки для високих, просторих, представницьких приміщень.
Темні нюанси коричневого		Оптимально: Для кімнат, де потрібна затишна атмосфера.
Чорний		Оптимально: для приміщень, в яких планується сильне колірне оформлення.
Сірий		Оптимально: для будь-якого оформлення, якому потрібно нейтральний фон.
Білий		Оптимально: для всіх приміщень, які не повинні виробляти заданого враження.

Колірне рішення житлового середовища – одне з найважливіших елементів інтер'єру. У той же час колір є найбільш легко змінюваним елементом інтер'єру.

Тому колірне рішення інтер'єру може змінюватися в залежності

від призначення приміщення. Розглянемо це на прикладі основних кольорів (червоного, синього і жовтого). Найбільш оптимальні кольорні поєднання, які застосовуються в житловому інтер'єрі, наводяться в таблиці 5.2.

Червоний колір – найбільш активний, створює відчуття тепла і ефектного інтер'єру. У той же час, приміщення, вирішене в червоних тонах, виглядатиме менше і нижче. Цей колір підходить для приміщень, де проходить найбільш активна діяльність. Іншим основним кольором є синій. Це колір спокою й умиротворення. Застосування світло-блакитного кольору на стелях візуально зробить приміщення вище і просторіше. Відтінки синього особливо хороші для невеликих приміщень. Присутність синього кольору в інтер'єрі завжди надає кімнаті вишуканість і благородство.

Жовтий колір є дуже насиченим і інтенсивним. Тому в чистому вигляді практично не застосовується. Цей колір краще трохи приглушити білилами, додавши трохи фіолетового тону. Будь-які поєднання жовтого кольору в житловому інтер'єрі добре підходять для дитячих кімнат.

При підборі кольірної гамми слід врахувати смаки, вік і інтереси всіх проживаючих у будинку людей. Це дуже важливо, тому, наприклад, якщо в дитячих кімнатах можна рекомендувати яскраві, контрастні кольори, то для літніх людей краще застосовувати спокійні пастельні тони. Крім того, при виборі кольірного рішення, дизайнер керується конфігурацією і висотою кімнат, а також їх освітленістю.

Коліріні рішення (з урахуванням кольору обладнання, меблів та інших елементів інтер'єру) повинні бути досить різноманітні за кольором, тоді зір людини менше стомлюється, якщо сприймає гаму кольорів. Одноманітність, як і занадто різкі контрасти, впливають на людину негативно.

Архітектурними вимогами до середовища і прийомами їх реалізації є: сприйняття композиційної єдності досліджуваної просторово-планувальної структури, відчуття масштабності і доміності її елементів, а також світлового і кольірного комфорту.

Виконання вимоги сприйняття композиційної єдності простору

може бути досягнуто наступними архітектурними прийомами: використанням однакового кольору в оздобленні загальних для більшості приміщень елементів; використанням для обробки матеріалів з близькими за масштабом і характером малюнками. Таке рішення створює необхідне відчуття домірності і єдності всіх об'ємів і просторів досліджуваної структури.

Наприклад, колір підлоги, що проходить єдиною площиною і постійно знаходиться в полі зору людини буде панівним в загальній колірній композиції. Для обробки стін різних приміщень, що знаходяться в різних умовах освітлення і не сприймаються одночасно, використання однакових кольорів не обов'язково. Виділення кольором окремих поверхонь стін або невеликих приміщень (для акцентування функціональних зон або додання інтер'єру більшої виразності) не порушує загальної єдності внутрішнього простору.

Змінювати сприйняття розмірів і пропорцій окремих приміщень можна, застосовуючи оздоблювальні матеріали певного кольору, малюнка і фактури, що володіють здатністю зорово відсувати або навпаки, наближати оброблену ними поверхню.

Для створення необхідного рівня освітленості в приміщеннях, призначених для зорової роботи, основні відбиваючі поверхні повинні мати коефіцієнти відбивання: для стелі – 75-80%, для стін – 50-70%; для підлоги – 20-40%.

При слабкій освітленості приміщень різко знижується сприйняття насиченості кольорів, використовуваних в обробці. При цьому блакитні, сині й фіолетові тони змінюються менше, ніж червоний, помаранчевий і жовтий (закон Пуркінє). Тому в таких приміщеннях добре сприймаються тільки холодні тони. Вдень такі приміщення, незважаючи на недостатню освітленість, будуть зберігати своє колірне звучання.

Погано освітлені приміщення не слід фарбувати у білий колір. Білі поверхні в таких умовах будуть мати низький коефіцієнт відбиття і при відсутності колірного тону будуть здаватися тьманими, забрудненими.

Для створення сприйняття колірного комфорту необхідно забезпечити:

– Сприятливий колірної «клімат» в приміщеннях різної орієнтації по сторонах світу;

– Гармонійне та виразне поєднання всіх кольорів в інтер'єрі, включаючи меблі та елементи декоративного мистецтва;

– Відповідність кольору обробки призначенню приміщення і створення в необхідних випадках певного стереотипу.

Зі зміною джерела світла відповідно змінюється склад відбитого світла і, отже, відчуття кольору поверхні. При цьому, чим ближче спектральна характеристика кольору поверхні до спектральної характеристики падаючого на нього світла, тим більш насиченим і світлим сприймається колір і навпаки. Сприйняття ахроматичних кольорів зберігається сталим.

Світло, що йде від блакитного неба, більш холодне. Тому в приміщенні, орієнтованому на північ, будь-який колір сприймається більш холодним, ніж той же в приміщенні, орієнтованому на південь.

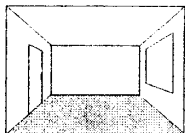
У приміщеннях, орієнтованих на захід і схід пріорітетно всі кольори крім холодних середньої насиченості, що не мають яскраво вираженого спектрального тону (бежеві, палеві, сіро-зелені) і т.д.

Основні закономірності використання кольору в інтер'єрі наводяться в таблиці 5.3.

У виробничому інтер'єрі залежно від функціональних задач забарвлювані елементи виробничого середовища поділяються на чотири групи: будівельні конструкції (перекриття, підлога, стіни, колони, балки та ін.), технологічне обладнання (верстати, установки, автоматичні лінії, виробничий інвентар, меблі), підйомно-транспортні механізми та комунікації. Вибір колірної рішення кожної з цих груп проводиться з урахуванням наступних факторів: особливостей технологічного процесу і загального характеру роботи; умов зорової роботи (особливо точна, високої точності, точна, малої точності і груба); характеру і інтенсивності освітлення; санітарно-гігієнічних умов у приміщенні; особливостей об'ємно-просторової структури інтер'єру; вимог техніки безпеки і промислової санітарії.

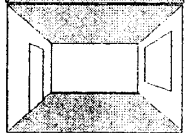
Таблиця 5.3 – Закономірності використання кольору в інтер'єрі

Кольорова
підлога



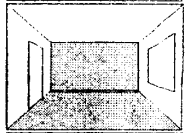
Розсовує кімнату в сторони і вгору. Надає меблям стійкість, в таку кімнату впевнено ступаєш.

Кольора під-
лога і стеля



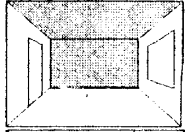
Кімната здається нижче і ширше. Площа її сприймається більшою, ніж насправді.

Кольорові
підлога і зад-
ня стіна



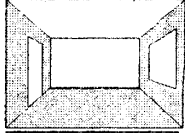
Пол підкреслюється ще сильніше. Кімната розсувається в сторони.

Кольорові
стеля і задня
стіна



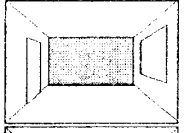
Кімната зорovo здається коротшим, але розширюється в сторони.

Кольорові
підлога і бічні
стіни



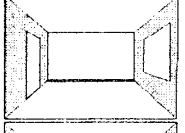
Пол пов'язує стіни воедино і стягує їх. Кімната розсувається в сторону "нейтральної" стіни.

Кольорова
задня стіна



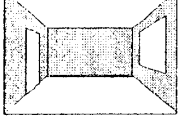
Дає відчуття опори і являє собою хороший фон для меблів, яку потрібно особливо виділити.

Кольорові бі-
чні стіни



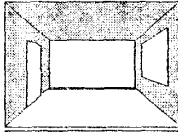
Кімната здається вужчою, розсувається в бік підлоги, стелі і задньої стіни.

Кольорові бі-
чні і задня
стіна

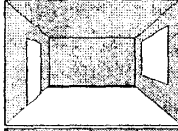


Кімната здається замкнутою. Розширюється вгору і вниз.

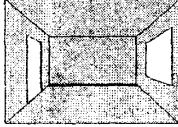
Кольорові
стеля та бо-
кові стіни



Кольорові
стеля, бічні і
задня стіна



Кольорові
стеля, підлога
і всі стіни



Кімната розширюється в нап-
рямку задньої стіни. Світла підло-
га оптично не дає надійної опо-
ри.

Приміщення здається тісним і
майже печерообразним.

Кімната здається замкнутої ко-
робкою; сильно звужується.

Колір обладнання та інтер'єру лікувальних установ вибирають з урахуванням його психофізіологічного впливу. Рекомендуються світлі тони, що позитивно впливають на зоровий апарат хворого. Фактура поверхонь обладнання та приміщень повинна бути матовою. Особливе значення колір набуває в психоневрологічних лікувальних установах, де хворі особливо чутливі до колірнього впливу. Слід враховувати заспокійливу дію холодних тонів і збуджуючу - теплих. При вирішенні колірної гамми лікувальних установ художник-конструктор повинен працювати в контакті з фізіологом і психологом.

Кольорове рішення обладнання інтер'єрів магазинів, їдалень, кафе, ресторанів, тобто приміщень з відносно короткочасним перебуванням, може бути більш помітним, яскравим, в окремих випадках мати рекламний характер. У той же час треба уникати поліхромних, різких контрастів в кольорі меблів і приміщень. Необхідно враховувати освітленість, її зв'язок з колірним рішенням відбиваючих поверхонь з явищами колірній адаптації.

Кольорове рішення обладнання готелів диференціюється в залежності від призначення приміщень і типу будівель. Колір меблів номера готелю повинен відповідати характеру житлового приміщення. Для холів і номерів готелів замиського і туристського типу,

призначених для активного відпочинку, може бути обрана більш яскрава кольорова гама.

Колір інтер'єрів видовищних установ (кіно, театрів) повинен сприяти просторовій орієнтації глядачів. Це досягається контрастним поєднанням кольору оббивки крісел і кольору навколишнього середовища. В обробці стін, стелі і підлоги бажано застосовувати кольори, що мають знижений коефіцієнт відбиття, сприяє сприйняттю глядачами демонстраційного простору.

Контрольні запитання

1. Поясніть терміни "колірний тон", "пурпуровий ряд".
2. Який зміст у порогу кольоророзрізнення?
3. Що характеризують насиченість та чистота кольору?
4. Поясніть термін "кількість кольору".
5. Які існують типи стандартних джерел МКО? Наведіть їх характеристики.
6. Поясніть адитивний і субтрактивний синтези кольорів.
7. Наведіть закони Грасмана.
8. Система опису кольорів RGB.
9. Система опису кольорів XYZ.
10. Як знаходяться модуль кольоровості і координати кольоровості.
11. Яким чином відбувається додавання кольорів на кольоровому графіку XYZ?
12. Які закономірності використання кольору в інтер'єрі Ви знаєте?

Література

1. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. "Будівельна кліматологія"
2. ДБН В.2.5-28-2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. "Природне і штучне освітлення".
3. Справочная книга по светотехнике / Под. ред. Ю.Б.Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 472с.
4. ДБН 360-92** "Планування і забудова міських і сільських поселень".
5. СанПиН 2605-82 "Санитарные нормы и правила обеспечения инсоляцией жилых и общественных зданий и территорий жилой застройки".
6. СНиП 2.01.01-82 "Строительная климатология и геофизика".
7. ДБН В.2.6-31:2006 Конструкції будинків і споруд. "Теплова ізоляція будівель".
8. ДСТУ-Н Б В.2.2-27:2010 "Настанова з розрахунку інсоляції об'єктів цивільного призначення"
9. Cooper P. I., "The absorption of radiation in solar stills." *Solar Energy* 12, pp. 333-346., 1969.
10. Гусев Н.М. Основы строительной физики. Учебник для вузов. М.: Стройиздат. – 1975. – 440с.
11. Архитектурная физика: Учеб. для вузов: спец "Архитектура" / В.К.Лицкевич, Л.И.Макриненко, И.В.Мигалина и др.; Под ред. Н.В.Оболенского. – М.: Архитектура-С, 2007. – 448с.
12. ДСТУ ІЕС 60598-1-2002 Світильники. Частина 1. Загальні вимоги й випробування.
13. Медведев В.Ю. Цветоведение и колористика: учеб. пособие (курс лекций). – СПб.: ИПЦ СПГУТД, 2005. – 116с.

Навчальне видання

М.О.Галушак, Б.М.Рувінський

будівельна фізика

навчальний посібник

Видавництво Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна
тел. (03422) 42453, факс (03422) 42139,
<http://nung.edu.ua>, e-mail: public@nung.edu.ua
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців
ІФ № 18 від 12.03.2003 р.

Підписано до друку 05.04. 2013 р. Формат 60х84 1/16 Папір офсетний

Ум. друк. арк. 15, 64 Тираж 300 прим. Замовл. № 79