

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

В.О. Єгорченков

АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНА СВІТЛОФІЗИКА БЕЗ ФОРМУЛ

**Логіка процесів формування природного
світлового середовища у приміщеннях**

*Рекомендовано вченою радою Київського національного університету
будівництва і архітектури як навчальний посібник
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальностей G17 «Архітектура та містобудування» та
G19 «Будівництво та цивільна інженерія»*

Київ 2026

УДК 628.9
Є30

Рецензенти: *О.В. Сергейчук*, д-р техн. наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури;

Л.М. Коваль, д-р техн. наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну;

Ю.М. Ковальов, д-р техн. наук, професор, Київська державна академія декоративно-прикладного мистецтва і дизайну ім. М. Бойчука

Затверджено на засіданні вченої ради Київського національного університету будівництва і архітектури, протокол № 41 від 26 березня 2026 року.

Єгорченков В.О.

Є30 Архітектурно-будівельна світлофізика без формул (Логіка процесів формування природного світлового середовища у приміщеннях): навч. посіб. / В.О. Єгорченков. – Київ : КНУБА, 2026. – 112 с.

ISBN 978-966-627-296-9

Викладено теоретичні основи й практичні особливості проектування природного освітлення приміщень у будівлях різного призначення.

Призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальностей G17 «Архітектура та містобудування» та G19 «Будівництво та цивільна інженерія».

УДК:628.9

ISBN 978-966-627-296-9

© В.О. Єгорченков, 2026

© КНУБА, 2026

Зміст

Передмова	5
Вступ	7
Розділ 1. Значення світла. Історичні приклади.....	9
1.1. Значення світла для людини.....	9
1.2. Історичні приклади вирішення світлового середовища та їхній аналіз.....	12
Запитання для самоконтролю до 1 розділу.....	21
Розділ 2. Очі людини та їхня робота.....	22
2.1. Загальна інформація про очі.....	22
2.2. Будова ока.....	23
2.3. Реакції ока на зовнішнє освітлення.....	27
2.4. Сприйняття під час руху ока та його прояв в архітектурі...	29
2.5. Агресивні візуальні поля.....	33
Запитання для самоконтролю до 2 розділу.....	35
Розділ 3. Основні поняття і закони архітектурної світлофізики....	37
3.1. Основні поняття, величини, одиниці.....	37
3.2. Коефіцієнт природного освітлення (КПО).....	42
3.3. Закони архітектурно-будівельної світлофізики.....	44
3.3.1. Закон проєкції тілесного кута.....	44
3.3.2. Закон світлотехнічної подоби.....	47
3.3.3. Закон ефективності світлопрорізів.....	48
3.3.4. Закон додавання освітленості.....	49
3.4. Основна ідея методу розрахунку геометричного КПО по А.М. Данилюку.....	49
3.5. Основні положення теорії світлового поля.....	52
3.6. Світлотехнічні характеристики матеріалів.....	56
3.6.1. Світлотехнічні властивості матеріалів.....	56
3.6.2. Світлопрозорі матеріали і вироби.....	58
Запитання для самоконтролю до 3 розділу.....	71
Розділ 4. Світловий клімат.....	72
4.1. Основні характеристики світлового клімату.....	74
4.2. Світлокліматичне районування.....	76
4.3. Розподіл яскравості по небозводу.....	79
Запитання для самоконтролю до 4 розділу.....	84
Розділ 5. Основи нормування природного освітлення.....	85
5.1. Особливості оцінки видимості. Закон Вебера-Фехнера.....	85
5.2. Зорова працездатність.....	87
5.3. Нормування природного освітлення приміщень.....	88
Запитання для самоконтролю до 5 розділу.....	91

Розділ 6. Проектування природного освітлення.....	92
6.1. Загальні положення проектування систем природного освітлення будівель.....	92
6.2. Методи розрахунку природного освітлення будівель.....	101
6.2.1. Попередні (наближені) методи розрахунку площі світлопрорізів	102
6.2.2. Перевірочні (точні) методи розрахунку КПО.....	105
6.3. Оцінка систем природного освітлення.....	108
Запитання для самоконтролю до 6 розділу.....	108
Післямова.....	109
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	110

ПЕРЕДМОВА

Протягом багаторічної професійної діяльності автор спілкувався з архітекторами різного рівня, від простих архітекторів-проектувальників окремих будівель і споруд до проектувальників масштабних комплексів, і навіть з видатними заслуженими архітекторами і лауреатами. У результаті цього спілкування виявилось, що архітектори абсолютно не пам'ятають різноманітні формули-значки, але добре відчують, що від чого залежить під час формування середовища і доведення його параметрів до нормативних величин.

Основна ідея цього посібника – зробити наголос на характеристику фізичних процесів, які впливають на формування відповідного середовища і доведення його до нормативного стану, виключаючи формули, які перевантажують пам'ять і які за потреби можна знайти у відповідній довідковій і навчальній літературі.

У навчальному посібнику викладено теоретичні основи й практичні особливості проектування природного освітлення приміщень у будівлях різного призначення. Матеріали навчального посібника стосуються архітектурно-будівельної світлотехніки, яка є складовою частиною будівельної фізики – комплексу наукових дисциплін, що охоплює вивчення фізичних явищ і процесів, пов'язаних із архітектурним проектуванням будівель з урахуванням містобудівної ситуації у нерозривному зв'язку з довкіллям.

Науково-технічний прогрес досягнув високих показників у різних галузях, зокрема і в освітлювальній техніці. З'явилися нові джерела світла, які за своїми характеристиками наближаються до характеристик природного освітлення і, здається, проблема заміщення природного освітлення штучним вирішена. Але тут не все так просто. Багатогранності природного світла важко досягнути навіть за допомогою сучасних технологій. Тому наявність природного освітлення в різних середовищах обов'язкове у разі постійного перебування в них людей. Це позитивно впливає на психологічний та фізіологічний стан людини, а також на їхні біологічні ритми.

Не треба повністю давати негативну оцінку штучному освітленню, тим більш, коли наразі освітлювальні технології досягли високого розвитку. В цей час не можна протиставляти природне освітлення штучному. Треба постійно удосконалювати кожний з видів, а також

їхню сумісну дію. У багатьох випадках раціональне поєднання двох видів освітлення дає змогу оптимізувати параметри світлового середовища приміщень та раціонально використовувати енергетичні й природні ресурси.

Але проєктування штучного освітлення має свої особливості, які відрізняють його від проєктування природного освітлення.

Світло має як кількісні, так і якісні характеристики. Раціональне їх сполучення дає позитивний ефект в сприйнятті навколишнього середовища. Освітлення приміщень і просторів природним світлом відповідного рівня й якості є важливою передумовою створення комфортних умов діяльності людини, сприяє підвищенню її творчої активності, зростанню продуктивності праці тощо. Ефективне освітлення визначає позитивне сприйняття архітекτονіки, пластики й колірної гами фасадів будівлі, композиційного ритму, пропорцій і глибини інтер'єру приміщення. Варто відзначити, що рівень освітленості, його естетичний аспект не може вирішуватись без творчого врахування особливостей світлового клімату, що домінує у цій місцевості.

Основна причина розробки цього посібника полягає в тому, що в 2019 році вийшов нормативний документ ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» (чинний від 01.03.2019), в якому багато що змінилося: і в плані нормування, і в плані урахування параметрів світлового клімату України, і в методах розрахунку і оцінки, і в методах проєктування систем природного освітлення. Всі посібники і підручники були розроблені і видані раніше цього терміну. Очевидно, зміст усіх підручників, посібників і методичних вказівок повинен відповідати вимогам цих норм. Кардинальні зміни відбулися в енергоефективності будівель і системах освітлення.

Формування світлового середовища у будівлях і середовищах є проблемою багатогранною, а її аспекти висвітлено у різних джерелах, кількість яких недостатня для ефективної організації навчального процесу. Це ускладнює не тільки процес навчання студентів, але й реального проєктування систем природного освітлення.

ВСТУП

Дисципліна «Архітектурно-будівельна світлофізика» є важливою складовою навчання архітекторів, бо її положення впливають на різні сторони життя. Формування природного світлового середовища приміщень пов'язано з самопочуттям людини, її здоров'ям, біологічними ритмами, продуктивністю праці. Воно впливає також на ефективність рішень елементів містобудівної ситуації, об'ємно-планувальні, конструктивні і дизайнерські рішення.

«Архітектурно-будівельна світлофізика» є складовою частиною комплексної дисципліни «Архітектурно-будівельна фізика», яка вивчається протягом трьох семестрів:

5 семестр – архітектурна кліматологія;

6 семестр – архітектурно-будівельна світлофізика;

7 семестр – архітектурна акустика.

Метою вивчення дисципліни «Архітектурно-будівельна світлофізика» є системне засвоєння майбутніми архітекторами теоретичних основ та практичних методів формування природного світлового середовища приміщень під впливом сонячного світла, а також природи його сприйняття людиною з оцінюванням соціологічних, гігієнічних, технічних та економічних факторів та з урахуванням енергоефективних рішень в архітектурній практиці.

Завданнями є оволодіння знаннями в наступних галузях:

- будова ока людини і сприйняття органами зору оточуючого простору;
- основні закони формування світлового середовища;
- принципи розподілу світлових зовнішніх характеристик і світлокліматичного районування;
- нормування природного освітлення;
- проектування систем природного освітлення приміщень.

Після засвоєння архітектурно-будівельної світлотехніки здобувач **повинен знати:**

- методи формування світлового середовища в різні архітектурні епохи та їхній вплив на людину;
- основні елементи ока людини, його реакції на зовнішнє освітлення та характер сприйняття органами зору архітектурних елементів у різних ситуаціях;

- проблеми формування ефективного світлового середовища в будівлях;

- основні світлові величини і одиниці та закони архітектурно-будівельної світлотехніки, ефективні критерії оцінки природного освітлення у приміщеннях;

- світлотехнічні характеристики матеріалів;

- характеристики світлового клімату району будівництва, принципи світло-кліматичного районування і розподіл яскравості по небозводу за різної його хмарності;

- принципи нормування природного освітлення: закони, критерії оцінки;

- загальні положення проєктування природного освітлення будівель, методи розрахунку і оцінки природного освітлення будівель.

В результаті засвоєння основних положень дисципліни здобувач **повинен вміти:**

- аналізувати і обирати ефективні системи природного освітлення будівель;

- використовувати знання законів архітектурно-будівельної світлотехніки для проєктування системи природного освітлення будівель;

- оцінювати характеристики світлового клімату для ефективного розташування і орієнтації будівель в містозабудові;

- аналізувати вплив зовнішніх і внутрішніх факторів на визначення основних параметрів систем природного освітлення;

- використовувати відповідні матеріали для організації оптимального світлового оточення;

- розраховувати і оцінювати різні системи природного освітлення.

Під час підготовки посібника автор використав матеріали досліджень класиків Леонардо да Вінчи, словацьких дослідників Р. Кіттлера і С. Дарули, вченого із США Р. Переза, а також вчених із Великобританії Моона Р. і Spencer D.E., власних досліджень, чинних нормативних документів і досліджень фахівців кафедри архітектурних конструкцій та ін.

Будемо вдячні всім фахівцям, які надішлють свої зауваження та рекомендації з метою покращення посібника на адресу: Київський національний університет будівництва і архітектури, Єгорченкову В.О., Київ, проспект Повітряних сил, 31, 03037, кафедра архітектурних конструкцій. E-mail: egval@ukr.net.

Розділ 1. ЗНАЧЕННЯ СВІТЛА. ІСТОРИЧНІ ПРИКЛАДИ

1.1. Значення світла для людини

Світло потрібне людині не тільки для бачення навколишніх предметів. Світло – найважливіший біологічний фактор, який впливає на здоров'я людини і на все внутрішнє середовище у приміщеннях.

Світло регулює обмін речовин в організмі, впливає на його імунологічний стан – стійкість до впливу несприятливих факторів (хвороботворних мікроорганізмів, хімічних забруднень повітря та ін.), умови освітлення багато в чому визначають психоемоційний стан людини, її настрій та самопочуття. Особливо цінне для людини біологічно повноцінне природне світло. Прямі сонячні промені та розсіяне світло несуть у приміщення не лише потік видимого світла, але й необхідні для здоров'я ультрафіолетові промені та теплове інфрачервоне випромінювання. Ультрафіолетові промені сприяють оздоровленню людини, попереджають розвиток раку у дітей та авітаміноз у дорослих. Вони знезаражують повітря приміщення, поверхні предметів, вбиваючи хвороботворну мікрофлору.

Тривале перебування в умовах недостатнього або неякісного освітлення може призвести до розвитку порушення зору і прояву симптому світлового голодування. Недостатнє освітлення міських магістралей збільшує частоту ДТП. Недостатнє освітлення міста позначається також на громадському порядку та санітарному стані міських об'єктів.

Гігієнічні принципи формування міського середовища та середовища в будинках включають оптимальне використання природного світла й інсоляції та раціональне штучне освітлення як у приміщеннях, так і на територіях міської забудови.

Велику частину часу мешканець сучасного міста проводить у приміщеннях різного призначення (житло, робочі приміщення, міський транспорт, включаючи і метрополітен, підприємства торгівлі та служби побуту, установи культури та ін.), у яких відчувається значний дефіцит природного світла та ультрафіолетової радіації, що говорить про певний ступінь денатурації світлового середовища.

Затримка природного світла заскленням світлопрорізів становить у середньому 45%. Забруднення скла затримує 50-70% світла. Затінення

розташованими поруч будинками, сонцезахисними пристроями, шторами, озелененням та ін. призводить до додаткової втрати природного світла.

Переваги природного світла перед штучним:

- ергономічне освітлення приміщень, яке полягає в тому, щоб створити такі умови світлового середовища, за яких забезпечували би безпеку праці і комфорт;
- забезпечення психологічного комфорту людей у приміщеннях;
- зменшення частки штучного світла, у результаті якого підвищується комфортний стан людини і економиться електроенергія;
- ефект відкритого простору;
- оптимальні умови роботи;
- сприятливий для очей спектральний склад;
- динаміка природного освітлення.

***Архітектурно-будівельна світлофізика** – це наука, що вивчає прийоми оптимізації світлового середовища в будинках та міських структурах на підставі законів розподілу природного випромінювання Сонця.*

Створення світлового середовища, найбільш пристосованого до потреб ока, до діяльності людини – основне завдання архітектурно-будівельної світлофізики. Щоб свідомо підходити до вирішення такого завдання, архітектору необхідно мати хоча б загальні уявлення про закони розподілу природного світла у будинках різного призначення з різними системами природного освітлення.

Світло є важливим композиційним засобом архітектури. «Найважливішими матеріалами для архітектора є сонце (світло), бетон, метал, скло, дерева, трава і т.д. Послідовність перерахування відповідає їхній важливості» (Корбюзьє).

Форма будь-якої архітектурної деталі по-різному сприймається залежно від характеру освітлення. Прямому (сильному) освітленню властиві різке профільовання, глибокі контрастні тіні, деяка грубість форми, що сприймається. М'яке розсіяне освітлення, навпаки, згладжує деталі, часто зовсім не створює тіней, ніби позбавляє річ обсягу. Ці якості світла широко використовували майстри минулого.

Предметом вивчення в цій дисципліні є, перш за все, будівлі та їхнє взаємне розташування між собою і з елементами містобудівних структур та приміщення з їхніми системами природного освітлення.

Система природного освітлення – сукупність світлових прорізів (вікон, ліхтарів) і поверхонь, які формують світлове середовище у приміщеннях від природного джерела світла – небосхилу (хмарне небо) і відбиваючих світло поверхонь.

Вікно – проріз у вертикальних або похилих зовнішніх стінах будівлі, який має віконний блок із світлопрозорим матеріалом для проникнення у середину приміщення природного світла.

Ліхтарі денного світла – надбудови на даху будівлі з прозорими елементами для проникнення природного світла у середину одноповерхового приміщення або приміщення на верхньому поверсі багатоповислової будівлі.

Значення світлових прорізів у будинках велике і багатогранне.

З архітектурно-художнього погляду, вікна та ліхтарі, вітрини та вітражне скління відіграють суттєву роль у формуванні композиції інтер'єру та екстер'єру будівлі, визначаючи ритм та масштабність, візуально розсуваючи або звужуючи внутрішні стіни, подовжуючи або розширюючи, таким чином, простір у приміщеннях.

З функціонального погляду через світлопрозорі огороження освітлюється внутрішній простір приміщення, створюючи певні умови зорової роботи. Через вікна та ліхтарі також здійснюється природна вентиляція приміщень, що дуже важливо для створення сприятливого температурно-вологісного режиму внутрішнього середовища.

Не можна недооцінювати і санітарно-гігієнічне значення скління, через яке проникають сонячні промені, створюючи певні інсоляційний та температурно-радіаційний режими приміщення. У результаті цього різко скорочується кількість хвороботворних організмів, збудників різних інфекційних захворювань.

Слід особливо відзначити і психологічну роль світлопрорізів. Саме вони є сполучною ланкою між навколишнім простором і замкнутим внутрішнім середовищем приміщення. За наявності цієї ланки людина у будівлі почувається спокійно та впевнено, тому що зберігається вплив на людину безліч позитивних природних чинників.

Світло – найпотужніший синхронізатор добових ритмів, він є зовнішнім часом для внутрішніх біологічних годин. У цьому зв'язку слід

звернути увагу на біологічну роль систем природного освітлення, особливо у плані забезпечення нормальних біоритмів людини. Біоритми забезпечують оптимальний рівень функціонування організму, його пристосувальні та резервні можливості. Багато захворювань пов'язані з порушенням чи неузгодженням біоритмів.

Світлопрозорі огороження дуже впливають на вартість будівлі, особливо значними є експлуатаційні витрати. І, нарешті, велика їхня роль в енергетичному балансі будівлі, тому що через глухі частини огорожі проходить тепла в два-чотири рази менше, ніж через засклені поверхні.

Ця дисципліна розглядає прийоми оптимізації середовища в залежності від різних умов і дає змогу фахівцю-архітектору дійти до єдиного правильного рішення.

Для початку давайте подивимось, як вирішувалось питання використання природного світла в архітектурі різних епох.

1.2. Історичні приклади вирішення світлового середовища та їхній аналіз

Єгипетські храми Нового Царства, як відомо, склалися з кількох просторів, що йшли один за одним (рис. 1.1). Перше – відкритий двір, оточений колонадою і стінами, був залитий сонцем. Кожен, хто проходить через цей двір, адаптується на високі яскравості неба, сонця, колон та підлоги. За двором розташовується гіпостильний зал, обмежений з боків глухою стіною з невеликими отворами для провітрювання приміщень. Зал освітлюється через отвори, розташовані у перепаді висот середнього та бічних нефів. Напівтемрява гіпостильного залу згущується у напрямку до святилища, куди мали доступ тільки жреці. Прості смертні могли бачити святилище лише після тривалого перебування у залі. Наближаючись до нього, ті, хто молився, поступово втрачали зв'язок зі світом, сонцем, дедалі більше підкорялися владі містики і мороку. Тут архітектори вміло використовували світлову та темнову адаптацію зору. За свідченням дослідників, єгипетські майстри храмів Нового Царства ввели в архітектуру рух, відкрили красу світлових контрастів та півтонів та використали світло як засіб емоційного впливу на людину.

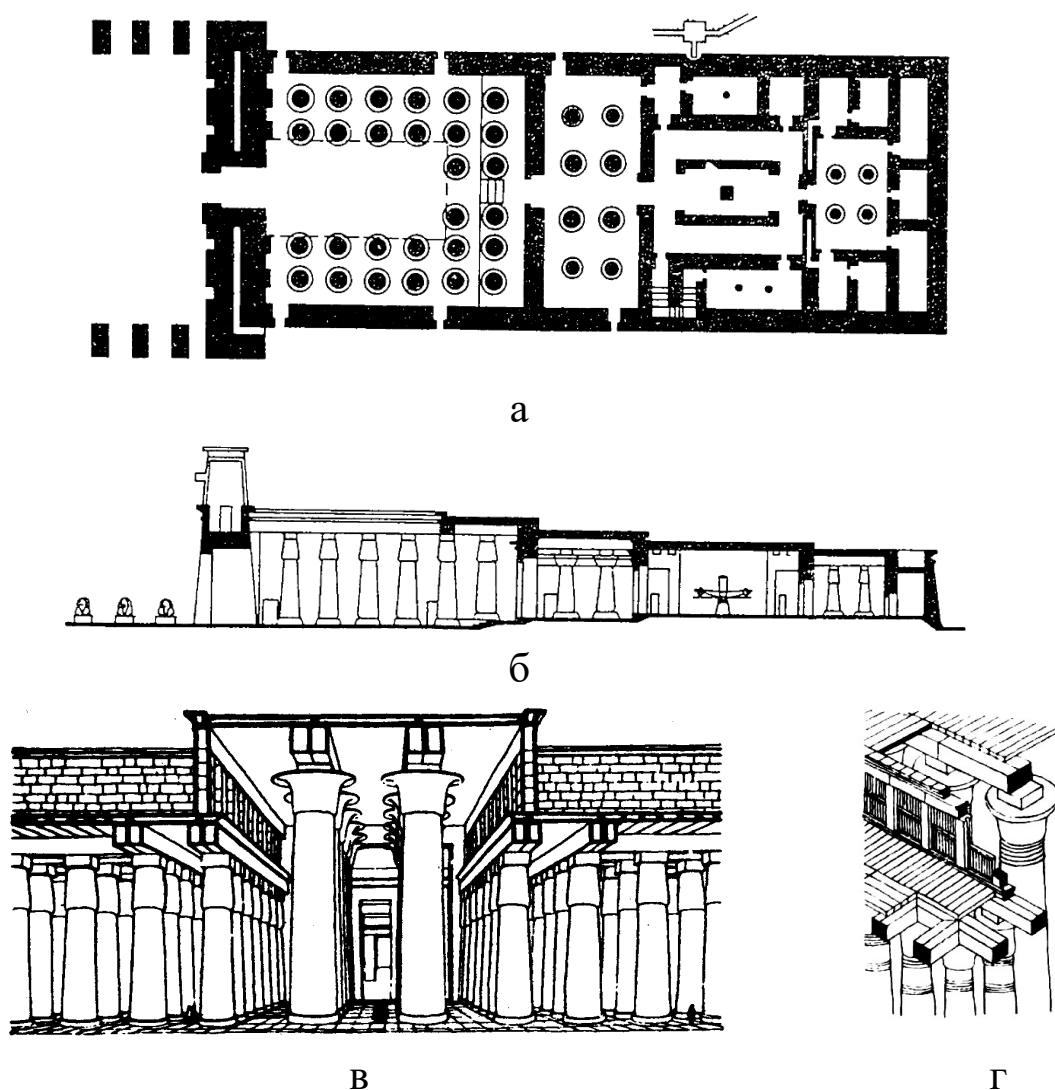
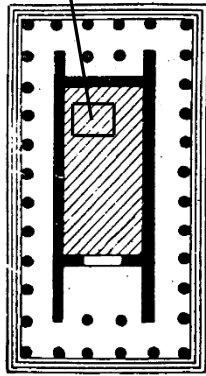


Рис. 1.1. Гіпостильна зала храму Амона в Карнаку:
а – план; б – поздовжній розріз; в – поперечний розріз;
г – вузол перепаду висот

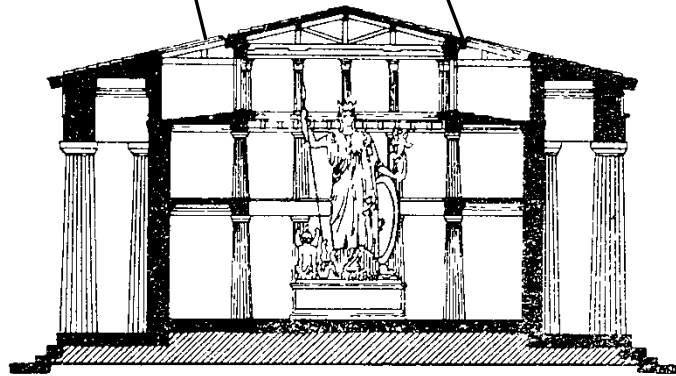
У грецьких храмах освітлення здійснювалося через гіперфральні отвори у даху, які заповнені напівпрозорими плитками білого мармуру, і через двері, орієнтовані на схід (рис. 1.2). Завдяки цьому в ранкові години в храмі створювалося м'яке загальне розсіяне освітлення, а пучок променів сонця, що сходить, сильно освітлював багато прикрашену статую божества, розташовану навпроти вхідних дверей. Тут так само використовувалося контрастне освітлення, яке підкреслювало значущість божества, відривало мирян, що моляться, від реального життя і сприяло створенню райдужних мрій і прагненню до досконалості. Сонячне пряме світло в поєднанні з розсіяним світлом, що проходить через плитки мармуру, робили інтер'єр храму в цей час дуже виразним.

Місце розташування богині



План

Гіперфральні отвори



Поперечний розріз

Рис. 1.2. Система природного освітлення у грецьких храмах

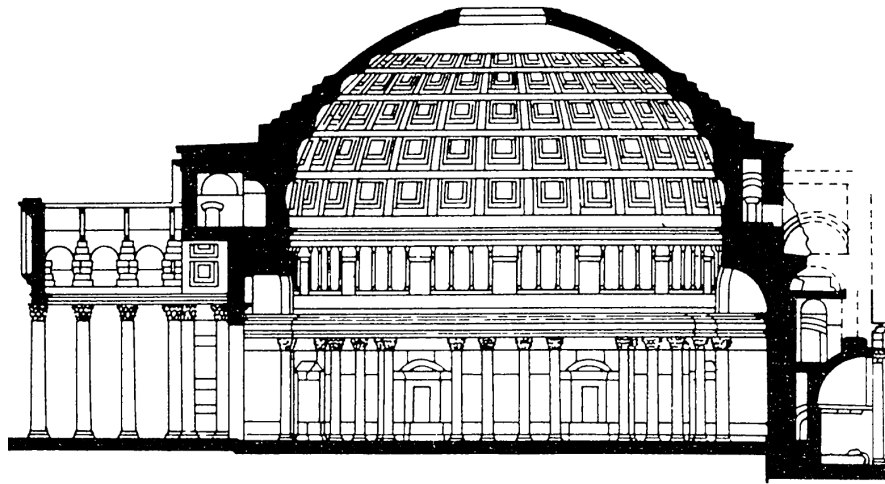
Інтер'єр Римського Пантеону – це гармонія архітектури та світла. Гігантська ротонда перекрита куполом і освітлена зверху єдиним круглим отвором діаметром 8,9 м (рис. 1.3). Цей світловий отвір має дуже важливе композиційне значення. Він – центр композиції та уваги відвідувачів. Проникаючий через отвір світловий потік створює стримане рівномірне освітлення, що підсилює враження зосередженості та спокою від усієї композиції споруди. Отвір у куполі, через який видно небо, надає інтер'єру глибини, і простір Пантеону здається грандіозним. Так світлом утверджується архітектурний образ, створюється настрій, що відповідає художньому задуму.

Знаменно, що купол Пантеону є, ймовірно, символічним відтворенням небозводу.

Інтер'єр собору Св. Софії у Стамбулі – інший класичний приклад світлової архітектури (рис. 1.4). Тут світло – організуючий початок інтер'єру та його примітність. За словами відомого французького теоретика в галузі архітектури Віоле-Дюка, сама структура собору вражає, а світлові отвори, пробиті біля основи куполів, освітлюють шар повітря біля внутрішньої поверхні купола. Ця повітряна пелена утворює димку між оком спостерігача і верхніми мозаїками, і це пом'якшує жорсткість останніх.

Загалом світлове рішення композиції собору Св. Софії підкреслює значення сферичних форм, особливо купола. Цій меті служать численні арочні світлопрорізи, влаштовані в нижній частині купола і напівкуполів, а також інтенсивність світлових потоків, що наростає від периферії до центру і досягає своєї кульмінації в яскравому освітленні

підкупольного простору з-під сфери через 40 арочних прорізів в її основі. Вони дають відчуття, ніби залитий світлом купол ширяє над усім інтер'єром, підкреслюючи його легкість і просторовість.



Повздовжній розріз



Рис. 1.3. Римський Пантеон – це гармонія архітектури, простору та світла

Візантійський письменник VI ст. Прокатій пише про купол: «Здається, що він не спочиває на кам'яній покладі, а звисає з неба на золотому ланцюзі».

Нові конструктивні прийоми готичної архітектури зумовили нове світлове рішення внутрішнього простору (рис. 1.5). Нервюрний каркас дає змогу максимально зменшити товщину склепінь і стін, ввести в останні великі площі світлопрозорих огорож, збільшивши таким чином простір інтер'єру. Система легких опор і винесених назовні підпірних елементів також сприяла створенню просторового інтер'єру, в якому маса стін «розчиняється» у освітленому, динамічному просторі.



Рис. 1.4. Світлокупольна композиція собору Св. Софії у Константинополі

Готична конструктивна система сприяла і подоланню замкнутості інтер'єру: величезні стрілчасті вікна заповнюють площину стін між опорами. До прорізів у бокових стінах доєднається кругле вікно-троянда, що влаштовується на головному фасаді і зазвичай повторюється в торцях трансепта (поперечний неф). Трифорій (аркада у другому ярусі центрального нефа, а також вузька галерея, розташована за аркадою) у разі влаштування площин даху під бічними нефами також іноді перетворювався на додаткову стрічку світлопрорізів. Вікна мали складні за малюнком різьблені палітурки, які зазвичай складалися з декількох фігурних рам, що послідовно вставляються одна в одну. Інші палітурки заповнювалися вітражами часто із зображеннями святих чи окремих культових сцен. Світло, що проходить крізь кольорові шибки, створює настрій таємничості і потойбічності.

Пластична розробка готичних фасадів за допомогою включення до композиції світлових прорізів та інших структурних елементів (нефів, веж, аркбутанів тощо) призвела до прагнення «демонстрації» маси за допомогою її всебічного декоративного розчленування.

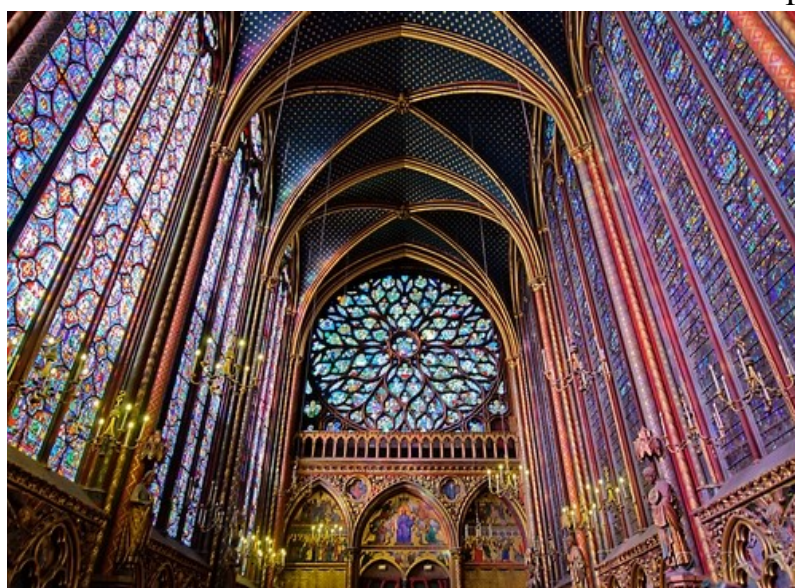
Для **архітектури бароко** характерне прагнення ускладненої композиції інтер'єру, що створює враження багатства і сили (рис. 1.6). Для досягнення цієї мети архітектори світлом руйнували межу між простором та площиною. Світло у їхніх руках – мальовничий засіб. Гра рефлексів і відблисків, світлотіні та відбитків, створення різноманітних ілюзій, заснованих на різких перепадах яскравостей під час руху відвідувача до центральної частини собору, вміло використані як засоби архітектурної композиції.



Собор Паризької Богоматері (Нотр-Дам)



Головний фасад собору в Реймсі



Свята капела Сент-Шапель

Рис. 1.5. Приклади системи природного освітлення в готичній будівлі

Дослідник архітектури бароко Г. Вельфлін так оцінив роль світла в цьому архітектурному стилі: «Насамперед, мальовничий стиль дбає про світлові ефекти. Бездонність темної глибини, магія світла, що ллється з незмірної висоти купола, перехід від темного до світлого і ще світлішого — ось ті засоби, які він має. Простір, який ренесанс освітлював рівномірно і якого він не міг інакше уявити, крім як тектонічно замкнутим, розчиняється в нескінченності».



Собор Дома інвалідів



Часовня Версаля



Інтер'єр собору Св. Петра в Римі

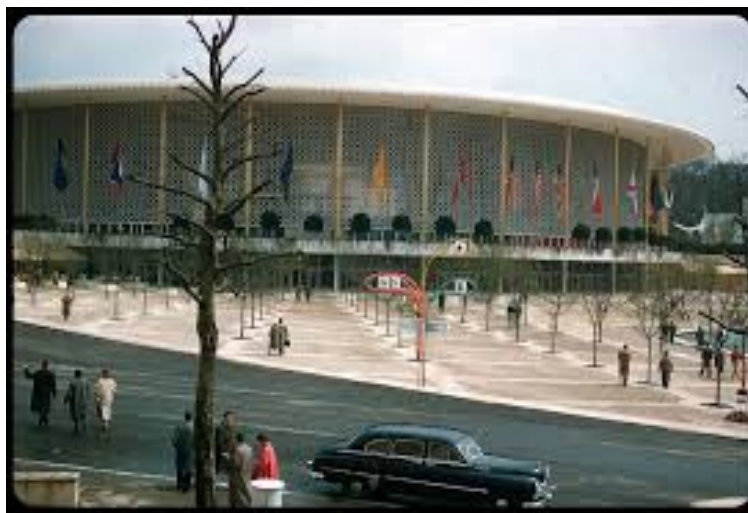
Рис. 1.6. Приклади світлової композиції архітектури бароко

Головна роль купола – відкрити в церкві потоки божественного верхнього світла, що надає їй внутрішньому простору урочистого характеру. На противагу цьому неземному світлу більшість корпусу довгастого в плані храму залишається порівняно темною, глибина ж боків іноді тоне в мороці. Простір здається безмежним».

Цей опис стосується, зокрема, інтер'єру собору Св. Петра у Римі, безмежність простору якого справляє велике враження.

Сучасна архітектура має у своєму розпорядженні достатню кількість прикладів майстерного використання світла для досягнення архітектурних цілей.

У 1958 р. на Всесвітній виставці в Брюсселі архітектор Е. Стоун побудував павільйон США, в якому архітектура, конструкція та освітлення є єдиним цілим (рис. 1.7).



Загальний вигляд павільйону



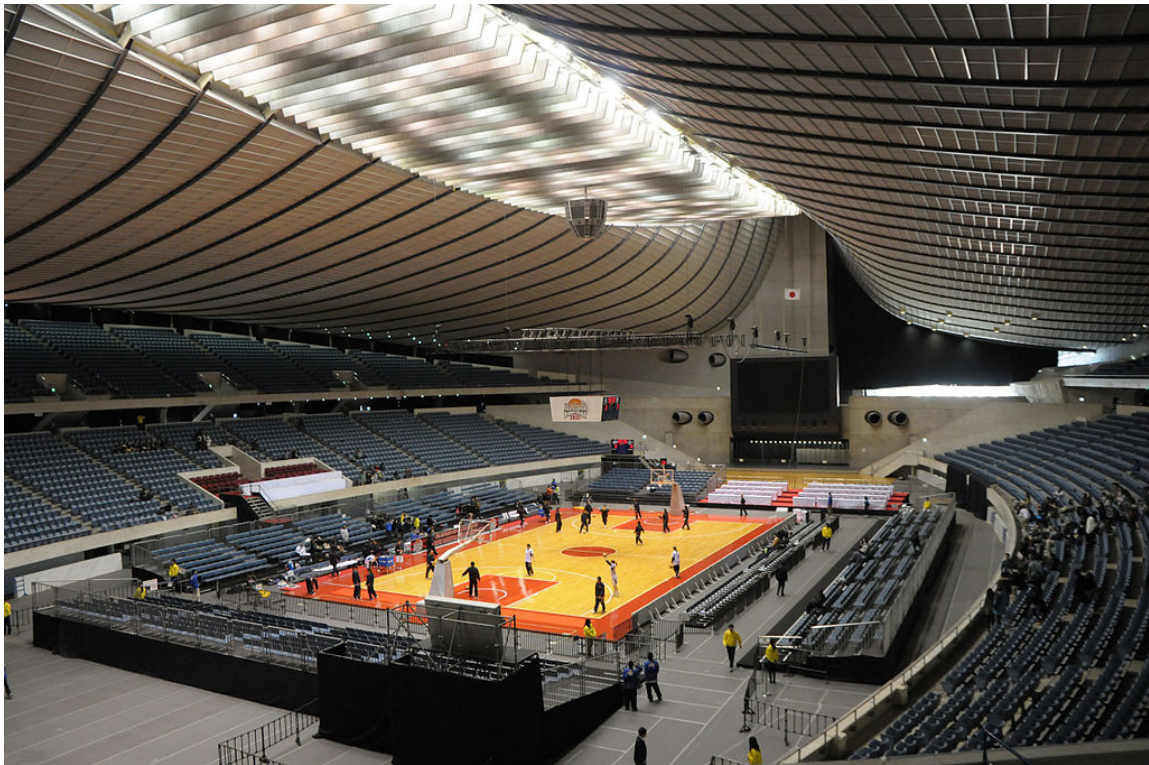
Інтер'єр

Рис. 1.7. Павільйон США в Брюсселі, арх. Е. Стоун

Пізніший приклад – олімпійський стадіон у Токіо (архітектор К. Танге), побудований у 1963 р. Визначна пам'ятка стадіону – покриття, зроблене у формі гіпара (рис. 1.8). Почуття світла підказує Танге прийом верхнього освітлення стадіону, завдяки якому ковзне світло робить пластично виразною форму покриття.



Загальний вигляд.



Інтер'єр

Рис. 1.8. Олімпійський стадіон в Токіо. Арх. Кендзо Танге

Резюме. Майстри минулого широко використовували формоутворюючі якості світла, що сприяло найкращому сприйняттю архітектурної споруди, як цілком, так і її деталей. У різні епохи виробився ряд традиційних архітектурних прийомів, що ґрунтуються на цих якостях. Високе стояння сонця та майже повна відсутність хмарності в Єгипті визначили, наприклад, дрібний рельєф єгипетських орнаментів та профілювань. На багатьох грецьких будинках можна помітити різну

глибину профілювання деталей на північних та південних фасадах. Формотворчими властивостями світла були продиктовані і потовщення крайніх колон портиків, і легка опуклість центральної частини підлоги, деякі інші прийоми грецької архітектури, що сприяли її високій досконалості. Глибоке профілювання готичних соборів Європи є класичним прикладом рішень, продиктованих умовами природного освітлення.

Як бачимо, ті здатності, які поряд з іншими якостями змогли підкорити свої рішення характеру світлової композиції, створювали високохудожні та функціонально повноцінні архітектурні споруди.

І зворотна ситуація: нехтування цим чинником і відсутність в арсеналі архітектора прийомів світлової архітектури часто призводять до значних недоліків навіть у дуже відомих творах.

Немає потреби наводити приклади численних невдалих рішень природного освітлення в минулих і сучасних архітектурних спорудах, коли не тільки порушувалися елементарні правила влаштування світлопрорізів, а й знижувалася якість архітектури в цілому. Єдність архітектурного та світлового рішень завжди сприяє найкращому сприйняттю споруди та забезпечує виконання функціональних та технологічних вимог.

Запитання для самоконтролю до 1 розділу

1. Як впливають на людину недостатні рівні освітлення?
2. Чи завжди підвищені рівні освітленості призводять до підвищення продуктивності праці?
3. В чому полягають переваги природного освітлення на відміну від штучного?
4. В чому полягають композиційні властивості світла?
5. Чи можна віднести внутрішні поверхні приміщень до систем природного освітлення?
6. Яка психологічна роль світлопрорізів?
7. В чому полягає роль світлопрорізів в енергетичному балансі будівлі?
8. Що таке гіперфральні отвори в грецьких храмах і яку вони роль відіграють в освітленні?
9. Назвіть систему освітлення в Римському Пантеоні і розкажіть, яке враження вона справляє.
10. Як пов'язані конструктивні прийоми готичної архітектури з системою природного освітлення?

Розділ 2. ОЧІ ЛЮДИНИ ТА ЇХНЯ РОБОТА

2.1. Загальна інформація про очі

У процесі сприйняття об'єктів спостереження очі людини витрачають певні зусилля. Ці витрати тим значніші, чим гірші умови зорового сприйняття, і навпаки, чим більше світлове середовище пристосовано до роботи ока, тим менше зорова система витрачає біологічної енергії.

Створення світлового середовища, найбільш пристосованого до потреб ока, до діяльності людини – основне завдання архітектурної світлофізики. Оскільки око людини є основним споживачем світлового стану в приміщеннях, архітектору необхідно мати хоча б загальне уявлення про будову ока та функціонування його основних систем, щоб свідомо підходити до створення раціональних систем освітлення,

Око – дивовижний орган зі складною будовою та дуже складною та важливою функцією. У завдання органу зору людини входять виявлення відмінності в яскравості, розрізнення дрібних деталей, сприйняття кольору, форми, величини, характеру поверхні, руху і мерехтіння. Отримана таким чином інформація передається в мозок, де відбувається її глибока переробка та аналіз. У результаті у людини з'являються відповідні відчуття, тобто, відбувається чуттєве пізнання зовнішнього світу. Людина працює, відпочиває, любить, радіє, сумує – всі ці стани можливі завдяки органам почуттів, серед яких зір грає основну роль.

Однак значення зорового органу для людини набагато важливіше, ніж просто, подібно до «листоноші», сприймати і передавати інформацію.

Наприклад, вчені провели таке дослідження. Дитинчат шимпанзе вирощували в темряві, і лише на короткий час включали слабе розсіяне світло. У результаті порушення в гірший бік стосувалися не так зору, як самого мозку. Умовні рефлексі у таких тварин виникають набагато повільніше, ніж у тварин, що жили у звичайній обстановці. А причина в тому, що «у тварин, позбавлених зорових відчуттів, відповідні нейрони не розвивалися в біохімічному відношенні», як впливає з найцікавіших досліджень роботи мозку відомого фізіолога Хозе Дельгадо.

Отже, зір не тільки пов'язаний з нервовою системою людини і впливає на її функціонування, а й має значення для нормальної роботи

мозку. Фізіологія другої половини ХХ ст., виходячи з численних експериментів, чітко визначила: «Око – це частина мозку, висунута на периферію», бо вже на рівні сітківки ока відбувається дуже ефективна переробка інформації. Отже, від стану світлового середовища навколишнього простору, його якості залежать розумові здібності мозку людини.

Ми бачимо світ не таким, яким він є насправді, а таким, яким його інтерпретує наша нервова система. Навіть колір – це є не повністю властивістю об'єкта, а **результатом взаємодії світла, очей і мозку**.

2.2. Будова ока

Зовнішня оболонка очного яблука, що має близьку до сферичної форму, – **склера** (грец. – твердий) – є твердою, білою, майже непрозорою оболонкою (рис. 2.1). Склера забезпечує оку збереження форми та захищає його внутрішнє середовище від зовнішніх впливів.

У передній частині склера переходить у більш опуклу і ідеально прозору оболонку, яка називається **роговою**. Від неї в основному залежить оптична сила ока завдяки її великій ввігнутості і тому, що її передня поверхня, що межує з повітрям, є тією єдиною поверхнею розділу, на якій відбувається помітна зміна показника заломлення.

Як видно із рис. 2.1, наступним за склерою внутрішнім шаром є **судинна оболонка**, що включає мережу кровоносних судин, які живлять речовинами око. У передній частині судинна оболонка переходить у **райдужну оболонку**, що складається з кровоносних судин, м'язових волокон та пігментних клітин. Від кольору більшості пігментних клітин залежить колір очей.

У центрі райдужної оболонки є отвір – **зіниця**, яка відіграє роль, подібну до діафрагми у фотографічному апараті. Система радіальних та кільцевих м'язів райдужної оболонки змінює діаметр отвору зіниці, що, у свою чергу, регулює яскравість у внутрішніх середовищах.

Тут слід зазначити цікаву деталь – райдужна оболонка тісно пов'язана нервовими волокнами з центрами головного мозку, які керують роботою всіх внутрішніх органів і систем організму, що так чи інакше пов'язані один з одним. Їхнє функціонування (нормальне – ненормальне, здорове – не здорове) у зв'язку з цим позначається на характері малюнка і пігментації райдужної оболонки, що дає змогу

досить точно визначити вид захворювання, тобто, поставити діагноз. Цей напрям у медицині називається іридіодіагностикою.

Безпосередньо за райдужною оболонкою по осі зіниці розташований еластичний **кришталік**, який підвішений до внутрішніх стінок очного яблука спеціальними циліарними м'язами, що змінюють його кривизну і фокусують погляд на різних предметах. Кришталік є прозорою двоопуклою, пружною лінзою і має призначення, подібне до системи лінз в об'єктиві фотоапарата.

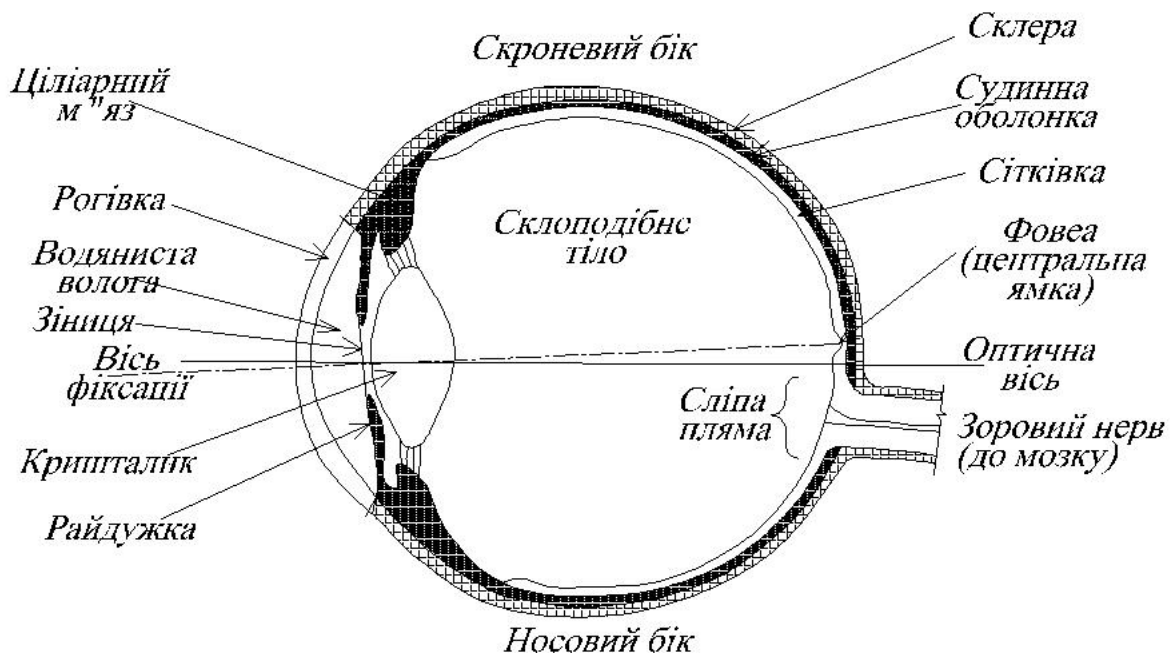


Рис. 2.1. Горизонтальний розріз правого ока людини

Простір за кришталіком заповнений драглистою, абсолютно прозорою речовиною – **склоподібним тілом**.

Рогівка, очні середовища та еластичний кришталік утворюють ефективну систему фокусування, що створює чітке зображення на внутрішньому шарі оболонки ока, який називається **сітківкою** і є третім шаром від зовнішньої сторони ока (рис. 2.1). Саме в сітківці формується інформація про колір, розміри, рух та інші характеристики зображення. Ця інформація у поєднанні з іншими сенсорними даними, що надходять у цей момент і зберігаються в пам'яті, забезпечує зорове сприйняття.

У сітківці ока є 127 млн світлочутливих клітин – фоторецепторів. Від них до мозку йде всього 800 тис. нервових волокон. Отже, на кожні 150 клітин одне волокно – це означає, у сітківці здійснюється активний аналіз інформації. По нервах сигнали надходять у різні відділи мозку, а

потім – у зорову кору півкуль. З візуального сигналу на кожному рівні витягується найважливіше, щоб потім на більш високому рівні цією інформацією зручно було оперувати.

Будова сітківки надзвичайно складна (рис. 2.2). Зазвичай у ній розрізняють десять абсолютно прозорих шарів, у яких розташовані структури, які здійснюють первинну обробку інформації. У другому від судинної оболонки шарі розташовані два види фоторецепторів – палички та колбочки, що здійснюють перетворення світлових сигналів на хімічне та електричне збудження. Давайте у спрощеному вигляді розберемось, що це за перетворення?

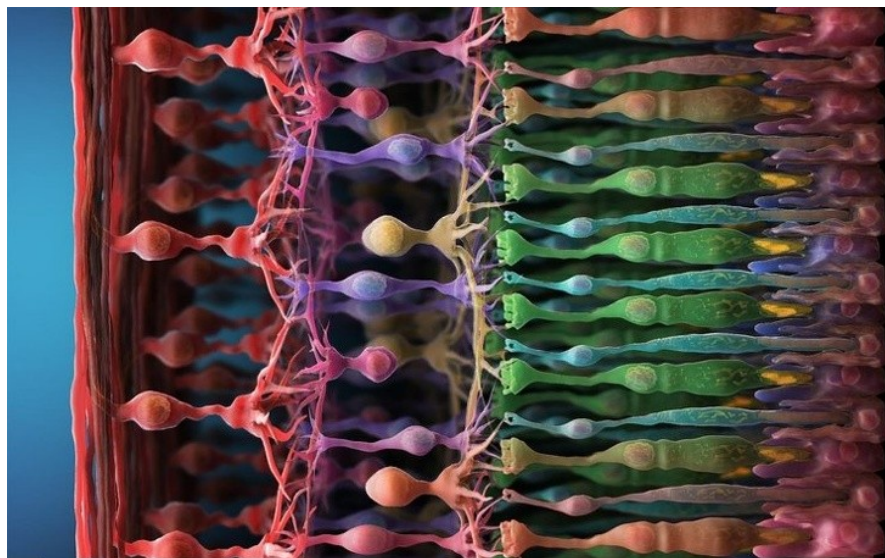


Рис. 2.2. Будова сітківки. Колбочки і палички в оці (багатократне збільшення)

Кванти світла поглинаються спеціальною речовиною – зоровим пігментом, що є в паличках (родопсин) і в колбочках (йодопсин). Тоді відбувається хімічна реакція, в результаті якої з'являється електричний сигнал. Потім речовина змінює свою структуру і знебарвлюється. Через деякий час за допомогою елементів, що надходять ззовні, зоровий пігмент повертається у первинний стан – інакше кажучи, відбувається його регенерація.

Палички та колбочки розподілені по сітківці дуже нерівномірно. У центральній частині (у місці перетину осі фіксації із задньою стінкою очного яблука) переважають колбочки, які забезпечують колірний зір та сприймають великі рівні яскравості. У місці перетину зорової осі та сітківки (рис. 2.1) розташована центральна ямка (точка фіксації) – область максимальної гостроти зору (або найкращого бачення). У точці

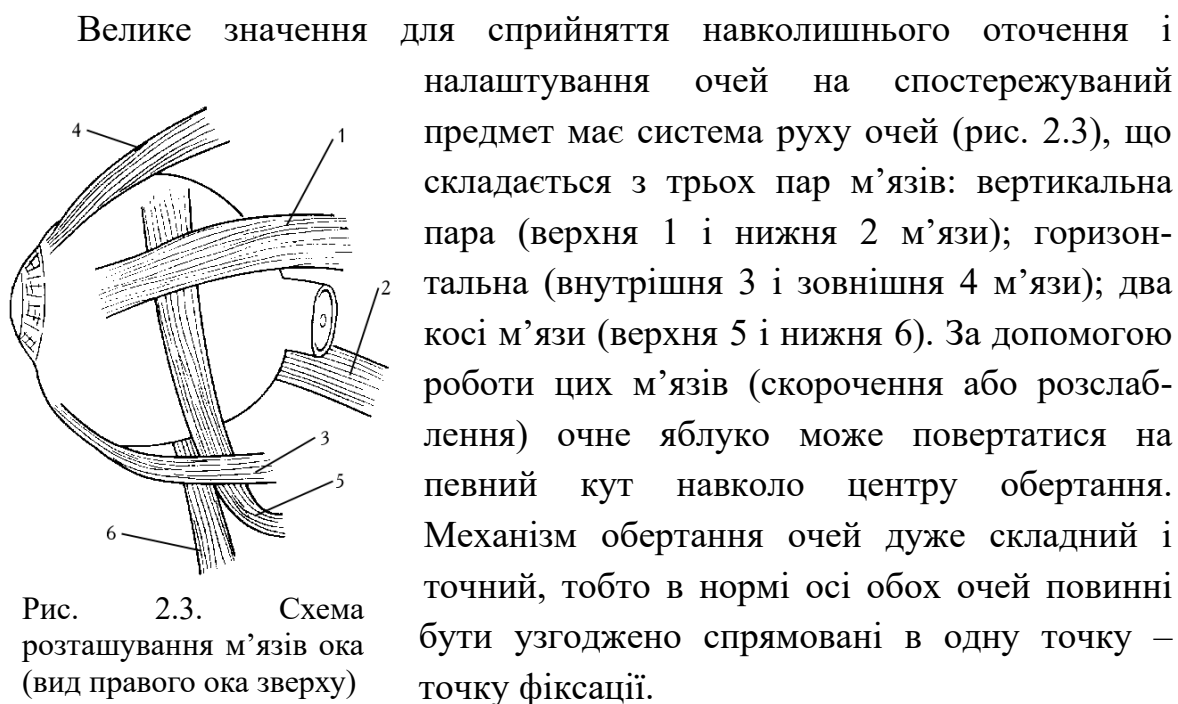
фіксації формується зображення під час руху очей і голови, коли деталі об'єкта повинні бути розглянуті з найбільшою точністю. У центральній ямці зосереджені лише колбочки.

На периферії переважають палички, які дуже чутливі до світла, але не розрізняють кольорів. Тож у сутінки й у нічний час, тобто, коли рівні освітленості малі, працюють лише палички. Колбочки ж набагато менш чутливі до світла, ніж палички. І вони розраховані на сприйняття високих рівнів освітленості, тобто, працюють у денний час доби.

Відповідно, за прийнятими нині уявленнями в сітківці ока є три види колбочок. Один вид сприймає промені червоного кольору, інший – зеленого й третій – синього, тобто, кожен із цих видів колбочок чутливий у сфері певної ділянки спектру. Подібний апарат формує колірний зір людини.

У сітківці наприкінці XX століття було знайдено фоторецептори, які не пов'язані з зором людини. Але вони відіграють дуже важливу роль у роботі нашого мозку і регулюють біоритми людини. Так звані циркадні фоторецептори сітківки чутливі до спектрального складу світла, тому сильно впливають на життєвий цикл сну і бадьорості.

Природні сигнали відіграють величезну роль в циклах енергії організму протягом дня. І регулярний вплив природного світла сприяє збереженню вищого енергетичного рівня у людей, які страждають від втоми. Розкрийте штори і сидіть біля сонячного вікна, або частіше виходьте з приміщення, щоб поніжитися в променях сонячного світла.



Велике значення для сприйняття навколишнього оточення і налаштування очей на спостережуваний предмет має система руху очей (рис. 2.3), що складається з трьох пар м'язів: вертикальна пара (верхня 1 і нижня 2 м'язи); горизонтальна (внутрішня 3 і зовнішня 4 м'язи); два косі м'язи (верхня 5 і нижня 6). За допомогою роботи цих м'язів (скорочення або розслаблення) очне яблуко може повертатися на певний кут навколо центру обертання. Механізм обертання очей дуже складний і точний, тобто в нормі осі обох очей повинні бути узгоджено спрямовані в одну точку – точку фіксації.

2.3. Реакції ока на зовнішнє освітлення

Однією з реакцій ока на зовнішні подразники є **зіничний рефлекс** – зміна діаметра отвору зіниці під впливом різної кількості світла. Ця зміна відбувається завдяки скороченню і розслабленню м'язів райдужної оболонки, що представляють, як було вже зазначено, систему радіальних і кільцевих волокон. Таким чином, око налаштовується на певний рівень яскравості. Розширення зіниці у разі зниження яскравості поля зору та її звуження у разі підвищення рівня яскравості сприяє більшій стійкості зорового сприйняття.

З цього приводу Леонардо да Вінчі писав у «Трактаті про око і бачення: «Природа прийшла на допомогу зоровій здібності, яка, будучи вражена надмірним світлом, має можливість скорочувати зіницю ока і, вражена різною темрявою, ширше розкривати цей світлий отвір. Природа надходить тут як той, у кого в приміщенні занадто багато світла закриває отвір, дивлячись за потребою, і коли приходить ніч, відкриває він все вікно, щоб краще бачити всередині названого приміщення».

Слід зазначити, що системи налаштування обох очей на певний рівень яскравості взаємопов'язані.

Розширення зіниці може спостерігатися і у разі інших подразнень наших органів чуття (біль, сильний звук, лоскотання), а також у різному емоційному стані людини (від страху та жахиття). Діаметр отвору зіниці зменшується також зі збільшенням кутового розміру світлового подразника.

Пристосування ока до чіткого бачення по-різному віддалених предметів називається **акомодацією ока** (лат. «комодус» – зручний, пристосований).

За загальноприйнятою думкою, акомодация цілком обумовлена еластичністю кришталика, тобто, зміна його форми за допомогою цилиарних м'язів (рис. 2.1). Під час розслаблення цих м'язів кривизна передньої поверхні кришталика зменшується і відповідно зменшується оптична сила, що дає змогу оку фокусуватися на більш віддалених предметах. Нормальне око в ненапруженому стані здатне добре бачити безкінечно віддалені предмети, а у разі повної акомодатії – на відстані близько 15 см від рогівки.

Проте американський лікар Вільям Бейтс на підставі значного досвіду лікування хвороб очей затверджує іншу позицію в цьому

питанні. Він вважає, що акомодация обумовлена не еластичністю кришталика, а зміною форми очного яблука [1]. Подовження або укорочення ока вздовж його оптичної осі відбувається під впливом м'язів, що розміщені зовні очей, і аномалії зору пов'язані з функціональним розладом дії цих м'язів.

Під час впливу на око світла, що за рівнем різко відрізняється від попереднього, системи ока налаштовуються на новий рівень. На цей процес необхідні певний час і витрати біологічної енергії.

Перебудова зорової системи для найкращого пристосування до цього рівня яскравості називається **адаптацією**. Очам доводиться працювати з яскравостями, що змінюються у надзвичайно широких діапазонах, приблизно від 10^{-6} до 10^4 кд/м², тобто, в межах десяти порядків. Під час зміни рівня яскравості поля зору, тобто та область, яку охоплює наш погляд, автоматично включаються кілька механізмів, які забезпечують адаптаційну перебудову зору. Якщо рівень яскравості тривалий час суттєво не змінюється, стан адаптації приходить у відповідність до цього рівня. У таких випадках можна говорити вже не про процес адаптації, а про стан: адаптацію ока до такого рівня яскравості.

У разі різкої зміни яскравості відбувається розрив між яскравістю і станом зорової системи, розрив, який і служить сигналом для включення адаптаційних механізмів.

Залежно від знаку зміни яскравості розрізняють **світлову адаптацію** – перебудову на більш високу яскравість, і **темнову** – перебудову на нижчу яскравість.

Світлова адаптація протікає значно швидше за темнову. Виходячи з темного приміщення на яскраве денне світло, людина буває засліплена і в перші секунди майже нічого не бачить. Око відмовляється нормально працювати протягом короткого проміжку часу. Чутливість його автоматично і досить швидко падає. Насамперед, звужується зіниця. Крім того, під безпосереднім впливом світла вицвітає зоровий пурпур паличок, внаслідок чого їхня чутливість різко падає. Починають діяти колбочки, які, мабуть, надають гальмівну дію на паличковий апарат і вимикають його. Нарешті, відбувається перебудова нервових зв'язків у сітківці та зниження збудливості мозкових центрів. У результаті вже через кілька секунд людина починає бачити в загальних рисах навколишню картину, а хвилин через п'ять світлова чутливість зору

приходить у повну відповідність з навколишньою яскравістю, що забезпечує нормальну роботу ока в нових умовах (світлочутлива функція колбочок повністю відновлюється протягом приблизно 5-7 хв).

Під час темної адаптації процеси в очах людини протікають у зворотному напрямі, але значно повільніше. Після сильного освітлення в перші хвилини темної адаптації паличковий апарат сутінкового зору повністю вимкнений, функціонує лише колбочковий апарат. Через 5-7 хв перебування у темряві частково відновлюється чутливість паличок.

Функція світлочутливості паличок відновлюється повністю протягом приблизно 30 хв. Однак, зростання чутливості спостерігається протягом 1 год. Потім цей процес припиняється, хоча деякими вченими було простежено наростання чутливості протягом темної адаптації, що тривала 24 год [1]. Збільшення чутливості під час темної адаптації в міру регенерації зорових пігментів частково зумовлено змінами в нервових шарах сітківки.

2.4. Сприйняття під час руху ока та його прояв в архітектурі

Щоб досконало пізнати роботу світлоприймачів ока, вчені провели цікавий експеримент [4] – створення оригінального пристосування на рогівці з мініатюрною лампочкою. Природно, ця лампочка рухалася разом з очним яблуком, і тому зображення джерела світла падало на одне і теж місце сітківки, на одні і ті ж рецептори. Тоді ж було помічено, що в людини відчуття світла виникає тільки в момент увімкнення та вимикання лампочки, а коли вона горить постійно, людина не бачить її. Але ми звикли безперервно бачити предмет під час його розглядання. Виявилося, що рецептори сітківки працюють по *on*-, *off*-типу, тобто, реагують лише на увімкнення чи вимкнення світлового подразника. Безперервність наших відчуттів пов'язана з тим, що око постійно здійснює мікрорухи, завдяки яким зображення переміщаються по сітківці, «вмикаючи» і «вимикаючи» щоразу нові рецептори або змінюючи їхній потенціал.

Око – найрухливіший з наших органів чуття. Він майже ніколи не буває в сталому вигляді: невеликі мимовільні рухи відбуваються навіть під час спроби фіксувати погляд на одній точці.

Під час спроби фіксації погляду розрізняють рухи трьох типів (рис. 2.4):

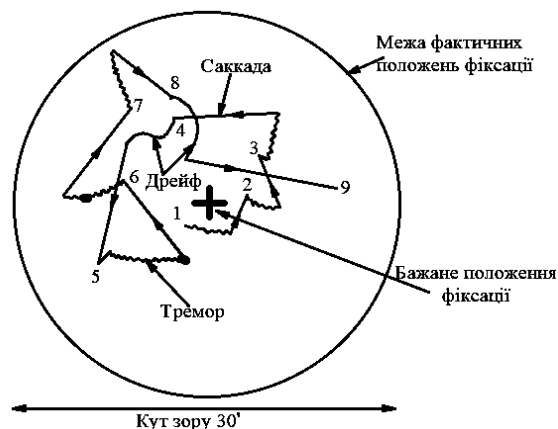


Рис. 2.4. Схема руху ока під час спроби фіксації погляду на об'єкті спостереження

з кутовою швидкістю порядку сотень градусів в секунду під час спроби фіксації погляду на будь-якій точці;

- **дрейф** – повільні рухи, що також хаотично змінюються за швидкістю і напрямком повертання очей між саккадами. Швидкість руху під час дрейфу – від 0 до 30 кутових хвилин на секунду, середня швидкість – приблизно 6 хвилин на секунду. Тривалість одного дрейфу може сягати двох секунд, але найчастіше лежить у межах від 0,2 до 0,8 с. Зображення точки, яка фіксується, переміщається по центральній ямці, але не виходить за її межі.

Ці мікрорухи очей допомагають нам бачити навколишній світ. За допомогою цього процесу погляд перекладається з яскравіших елементів на менш яскраві і навпаки. Все це відбувається з великою частотою. Таким чином, зображення з різними яскравостями, переміщаючись по різних ділянках сітківки, «вмикають» або «вимикають» відповідні рецептори (рис. 2.5). Після кожної такої взаємодії в мозок надсилається певна інформація, яка формує наші відчуття.

Природне середовище також допомагає цьому процесу. Листочки, травинки, гілки просто на тлі світлого неба або темної землі, плюс це все рухається потоками вітру, плюс нерівномірна яскравість небозводу, плюс постійно змінюється освітленість – все це допомагає нормальному сприйняттю. І людина відчуває себе комфортно.

- **тремор** – коливання зорових осей очей (дрібне тремтіння) з амплітудою близько однієї кутової хвилини і з частотою від 30 до 90 Гц. Напрямок переміщення та частота під час тремору непостійні та хаотично змінюються;

- **саккади** – швидкі стрибкоподібні рухи ока (зазвичай відповідні дузі в кілька хвилин), що відбуваються 1 – 2 рази на секунду

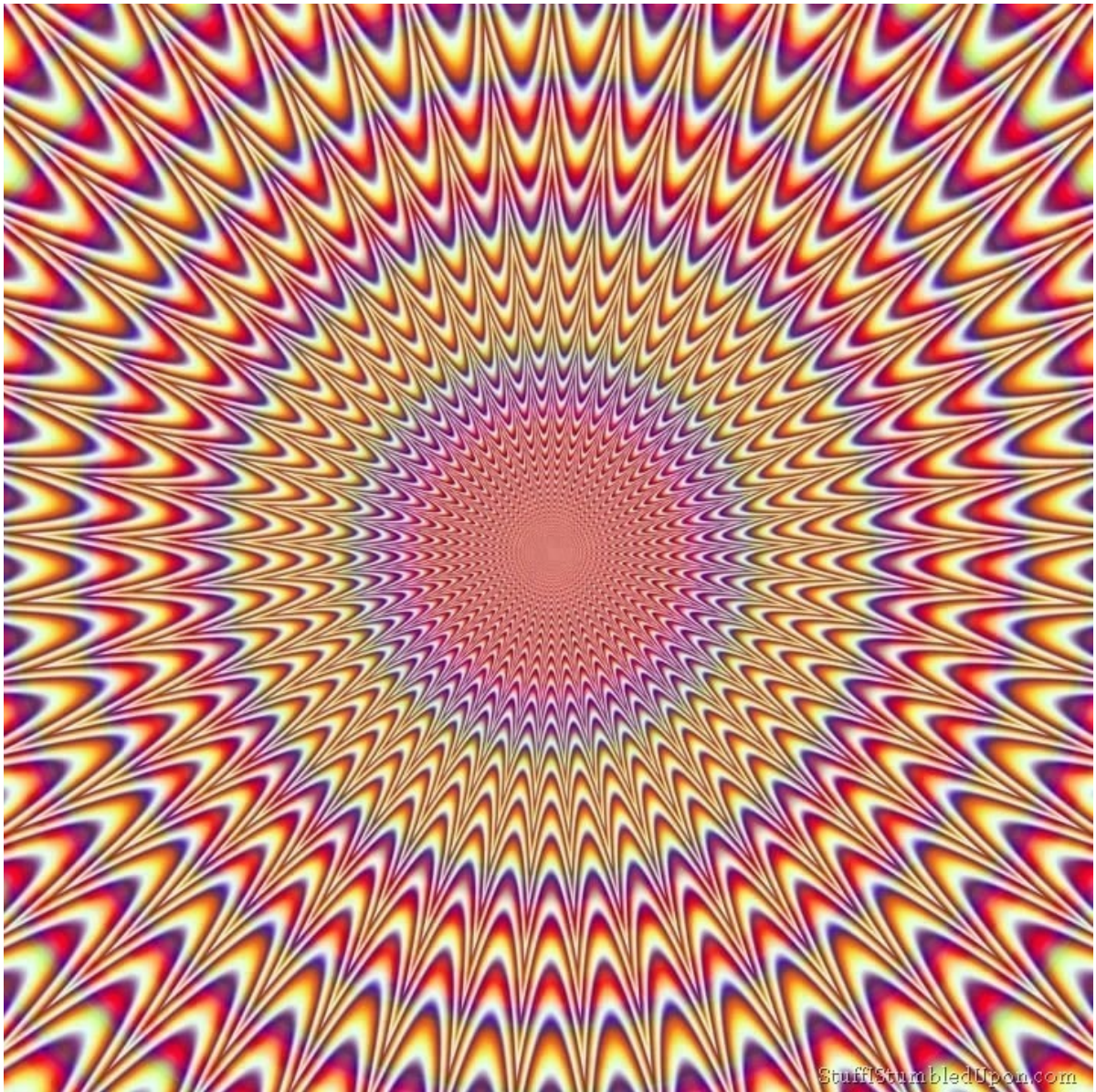


Рис. 2.5. Малюнок, який підтверджує рух очей.
Під час довгого погляду на нього здається, що його елементи рухаються

У разі величезної рівнояскравої площини око робить саккаду, а сигналу про зміну яскравості в мозок так і не надійшло. Зорова система вводиться в оману: дія є, а її підтвердження немає. Все це бентежить, стомлює зір, а може і на стані здоров'я, в тому числі на психіці, позначитися.

На жаль, подібні площини часто мають місце у сучасній архітектурі, на виробництві. Скло та бетон, стіни з рівною яскравістю великих розмірів, величезні дерев'яні панелі або інші модні поверхні в кабінетах. Це посилює дискомфорт і негативно відбивається на нервовій системі. Це явище називається **гомогенними візуальними полями**.

Щороку розміри будівельних елементів і площин скла ростуть, гомогенізуючи середовище, роблячи його все одноріднішим. Візьмемо електронну, годинникову чи приладобудівельну промисловість. Стіни, халати, шапочки – білі; столи, інструменти – світло-сірі. Плюс до цього напружена робота з високим зоровим розрядом в основному через постійне штучне освітлення. І результат – 80% працівників подібних підприємств ідуть додому з головним болем. Видиме середовище як екологічний фактор, на жаль, тут не враховано.

Для нормальної роботи органів зору пропонується все розфарбовувати у різні кольори. У кожному підприємстві потрібно створити кімнати психологічного розвантаження.

Ті ж самі гомогенні площини ми бачимо у сучасних будівлях торгових і розважальних центрів, таких як Ашани, Епіцентри, Метро та ін. (рис. 2.6).



Рис. 2.6. Приклад гомогенних площин у сучасних торгових супермаркетах

Якщо проаналізувати твори Растреллі або інших архітекторів бароко, то виявиться, що у них на кожному квадратному метрі стільки елементів, скільки необхідно для автоматії саккад, і розташовані ці елементи за естетичними законами. А у сучасній архітектурі збільшилось суцільних стін, часом без єдиного декоративного елементу.

2.5. Агресивні візуальні поля

У німецького художника Гюнтера Юккера є картина у вигляді сірого полотна розміром 2 х 1,5 м (рис. 2.7). У нього на половину довжини квадратно-гніздовим способом (кожні 2 см) вбиті цвяхи. Художник назвав цей твір «Агресивне поле». Забезпечити оком фіксацію крапки (капельюшки цвяха) неможливо. Куди не глянь – одні цвяхи. Всі однакові. Дивишся на один, і немає впевненості, що бачиш саме його. Зорова система приходить в повну оману: саккада нашаровується на саккаду, неможливо нічого виділити, відокремити одну від іншої – стан неприємний.

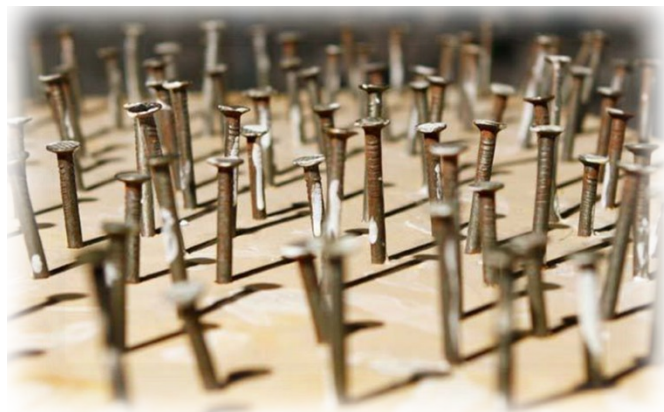


Рис. 2.7. Картина Юккера «Агресивне поле»

Ось такі агресивні поля заповнили наш простір. Вікна, подібно до цвяхів на полотні, розташовуються рівномірно. 70% мешканців нових мікрорайонів, за опитуваннями, негативно ставляться до такої ситуації. Їх легко зрозуміти: виходиш із під'їзду – перед тобою стіна з вікнами-цвяхами, праворуч – така сама стіна, ліворуч – теж. У природі за довгу еволюцію людина не зустрічалася з такими агресивними полями. Тому урбанізація, за даними ВООЗ (Всесвітня організація охорони здоров'я – міжнародна громадська організація), веде до зростання чисельності психічних захворювань.

Це явище характерно багатьом сучасним багатоповерховим житловим масивам великих і середніх міст нашої країни. Ось один із багатьох прикладів.

Поблизу станції метро Деміївська, між вулицею Велика Китаївська і провулком Феодосійським, є відносно сучасний багатоповерховий

житловий комплекс (рис. 2.8). В середині цього комплексу стоїть відокремлена житлова будівля баштового типу, теж 20 поверхів. Ось що ми бачимо із кімнати, розташованої на 14 поверсі, на відстані одного метра від вікна (рис. 2.9). Щось схоже на вікна-цвяхи, чи не так?



Рис. 2.8. Житловий комплекс (зовнішній вигляд). Фото автора



Рис. 2.9. Вид із вікна на відстані 1 м від нього. Фото автора

Які заходи треба впроваджувати, щоб привести світлове оточення до ефективної роботи саккад?

Перш за все, необхідно створити середовище відповідно до законів сприйняття оточуючого нашими органами чуття. В ідеалі воно повинне бути подібним до природного середовища. Насамперед, не можна будувати такі гомогенні, та ще й агресивні масиви. Їх розбити неважко. Веселі балкончики, вежі, шпилі. Яскраво забарвлені косими або криволінійними смугами стіни великопанельних будівель. Добре

застосувати фонтани, скульптури та ін. малі архітектурні форми. Все це має бути виконано відповідно до законів автоматизації саккад.

А в інтер'єрах приміщень важливо, щоби не було одноманітності. Тут матимуть змогу допомогти будь-які репродукції. Естампи, графіка, скульптура, кімнатні квіти. Рослини повинні бути особливо великими, щоб руйнувати гомогенність площин.

Особливо це важливо в інтер'єрі дитячої. Помічено, якщо дитина від 3 до 18 місяців перебуває в сірому, нудному, однорідному середовищі, це відбивається на її розвитку. Він не бачить світ таким, яким він є. Фарби тьмяніють. Причина в тому, що немовля бачить у кілька разів гірше за дорослого. Без яскравого, контрастного оточення трансформується закладений природою зв'язок між сенсорним і зоровим апаратами. Ставши дорослою, така людина може бути розумово відсталою, а до ряду професій (льотчик, космонавт, оператор та ін.) просто непридатною. Про це ми якраз і говорили на початку цієї лекції (досвід із мавпами).

Ще один важливий момент. Потрібно періодично робити перестановку меблів, перевішувати картини, гравюри. У цьому полягає величезний психологічний чинник. Змінюючи середовище, ми впливаємо позитивно на свій емоційний настрій. А якщо внести новий елемент – квітку, свічку, серветку, покласти на диван подушку – ефект буде посилено. Так, начебто непомітно, ми можемо боротися не тільки з гомогенними, але і агресивними полями.

Запитання для самоконтролю до 2 розділу

1. Яке основне завдання для архітекторів під час проєктування світлового середовища?
2. Чи може вважатися передача світлової інформації через очі до мозку основною функцією нашого зору?
3. Який елемент ока забезпечує його форму?
4. За допомогою чого здійснюється живлення корисними речовинами нашого ока?
5. Яка роль райдужної оболонки і що вона містить?
6. Які фоторецептори відповідають за сприйняття кольору?
7. Скільки і які фоторецептори розташовані у сітківці, за що вони відповідають?

8. В чому полягає зіничний рефлекс?
9. В чому полягає світлова адаптація?
10. Розкажіть, будь ласка, чому наші очі постійно рухаються?
11. Що таке саккада?
12. Що таке гомогенне візуальне поле і які його наслідки?
13. Що таке агресивне візуальне поле і які його наслідки?
14. Як позбутися агресивних і гомогенних полів?

Розділ 3. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ЗАКОНИ АРХІТЕКТУРНОЇ СВІТЛОФІЗИКИ

3.1. Основні поняття, величини, одиниці

Будь-яке тіло, що має температуру вище абсолютного нуля ($t_0 = -273^\circ\text{C}$), випромінює в навколишній простір енергію, звану променистою. Це випромінювання здійснюється за допомогою електромагнітних хвиль. Кількість енергії, що посилається джерелом в одиницю часу, називається інтенсивністю випромінювання або **променистим потоком**. Він вимірюється в ватах (Вт).

Оптична частина електромагнітного спектру променистої енергії включає три складові:

- ультрафіолетову (УФ) ділянку випромінювання з довжинами хвиль 280 – 400 нм. Цю ділянку спектру око людини не сприймає;
- видиму область випромінювання із довжинами хвиль 400 – 780 нм, яку око людини сприймає як видиме світло;
- інфрачервону (ІЧ) область випромінювання із довжинами хвиль 780 нм – 1 мм, яку око людини теж не сприймає.

Нанометр (нм) — це дуже маленька лінійна одиниця вимірювання довжини, яка дорівнює одній мільярдній частині метра або одній мільйонній частині міліметра. Використовується для вимірювань на атомному і молекулярному рівнях.

Діючи на око, випромінювання, що мають різну довжину хвилі, викликають відчуття того чи іншого кольору. Чутливість ока до того чи іншого кольору різна (рис. 3.1). «Середнє» людське око найбільш чутливе за денного зору до жовто-зеленого випромінювання з довжиною хвилі $\lambda = 555$ нм. Як це, середнє людське око? Це що, циклоп (як студенти з усмішкою називають) або що? Ні, безумовно.

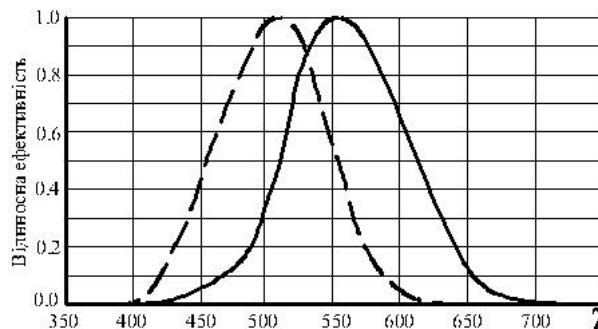


Рис. 3.1. Криві відносної спектральної світлової ефективності випромінювань для денного (суцільна лінія) і нічного зору

Коли проводились експерименти за виявленням чутливості ока від різних ділянок спектру, то для випробувань використовувалась певна кількість людей. Результати досліджень осереднювались. Це і стало умовно називатися «середнім людським оком».

Світло – такий несподіваний фізичний елемент, який кидається з однієї сторони до іншої. То він має хвильову природу, то складається із маленьких часток (фотонів), то має неперевершену швидкість, то наразі кажуть, що її можна подолати. І ось тут у нас з цим теж проблема.

Справа в тому, що з енергетичного погляду всі частини оптичного спектру мають певний енергетичний потенціал. А з погляду сприйняття людиною, як ми вже знаємо, око сприймає тільки видиму область спектру. Як же тоді бути?

У зв'язку з цим людство розробило дві гілки фізичних величин: енергетичні і світлові. Зв'язок між енергетичними і світловими величинами здійснюється таким чином. Припустимо, що джерело монохроматичного (дуже вузька однокольорова смуга спектру) світла випромінює на довжині хвилі найбільшої чутливості людського ока – 555 нм. Якщо прийняти цей потік випромінювання за 1 Вт, то йому відповідає (на основі багатьох досліджень) світловий потік 683 люменів. За відомої величини потужності джерела монохроматичного випромінювання для визначення відповідного світлового потоку треба потужність у Вт помножити на 683 лм.

Світловий потік (позначається як F) – це потужність світлового випромінювання (видима область спектру), що оцінюється за світловим впливом, який він здійснює на середнє людське око. Безумовно, кожна людина сприймає світло по-своєму. Однак, якщо провести багато досліджень з різними людьми, то після статистичної обробки результатів вимірів можна вивести середні значення світлового потоку, це і буде *середнє око людини*, відносно якого притягнуті всі світлові показники. Одиниця виміру світлового потоку – *люмен* (лм), тобто, світловий потік, що випромінюється в одиничному тілесному куті рівномірним точковим джерелом світла силою в 1 канделу.

Джерела монохроматичного випромінювання не використовуються у нашому повсякденному житті для освітлення. Освітлювальні прилади, як правило, дають широкий спектр випромінювання. Тому для визначення світлового потоку таких приладів треба підсумувати

світловий потік від кожної монохроматичної смуги спектру, який визначається за наведеною вище методикою.

Наступною величиною є сила світла (I), яка оцінює світлову дію джерела в якомусь напрямку. Тобто, іншими словами, сила світла – це просторова (кутова) щільність світлового потоку джерела світла, що випромінюється в цьому напрямку. Звідси видно, що сила світла прямо пропорційна щільності світлового потоку і обернено пропорційна величині тілесного кута.

Тепер згадаємо, що таке тілесний кут. Всі ми добре знаємо про кут між двома лініями. А тілесний кут належить до кута в просторі. Він дуже добре характеризує розподіл у просторі різного роду випромінювання, бо розповсюджується з розширенням у частині простору, обмеженим певним конусом.

Тілесний кут (ω) – частина простору, обмежена конічною або пірамідальною поверхнею з вершиною у точці розташування джерела випромінювання. Вимірюється в стерadianах (ср).

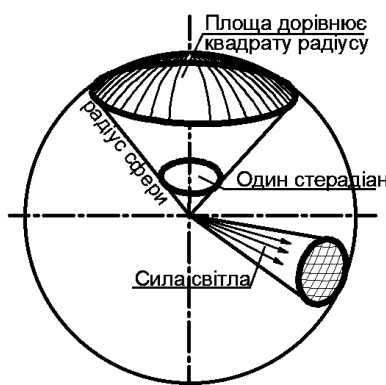


Рис. 3.2. Схема визначення тілесного кута

Якщо взяти сферу з якимось радіусом і вирізати на цій сфері ділянку площею, яка дорівнює квадрату радіуса (рис. 3.2), то це буде тілесний кут, значення якого буде дорівнювати одному стерadianу. Тому тілесний кут прямо пропорційний площі сферичної поверхні, яку він вирізає, і обернено пропорційний квадрату радіусу цієї сфери.

Сила світла вимірюється в *канделах* (кд). Кандела – це інтенсивність світла, що випромінюється в перпендикулярному напрямку з площі в $2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ чорного тіла у разі відповідних значень температури і тиску.

Ще одна величина, яка характеризує розподіл випромінювання у просторі, це *освітленість*, яка найбільш поширена під час розрахунків і нормування. Освітленість характеризує розподіл світла по певній площині або поверхні.

Освітленість (E) – поверхнева щільність світлового потоку, що падає на цю поверхню. Одиниця вимірювання освітленості – *люкс* (лк), який є освітленістю поверхні, на 1 м^2 якої падає і рівномірно розподіляється по ній світловий потік, що дорівнює 1 люмен.

Це для розподілу за площинами або поверхнями. Але часто буває так, що треба визначити освітленість від дуже маленького окремого джерела світла або від маленького елемента площини або поверхні, який можна назвати точковим відносно відстані до площини або поверхні, по якій розподіляється світловий потік. Його можна назвати точковим джерелом, або точковим елементом, що світиться. Для точкових джерел світла (рис. 3.3) освітленість прямо пропорційна силі світла I_α і обернено пропорційна квадрату відстані від джерела світла до точки, в якій треба визначити освітленість d .

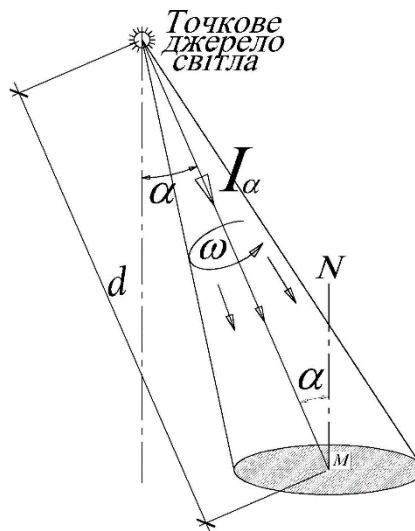


Рис. 3.3. Схема визначення освітленості від точкового джерела світла

Це так званий *закон обернених квадратів*, оскільки один і той же світловий потік розподіляється по більшій площі поверхні (рис. 3.4). Така залежність справедлива тоді, коли напрямок сили світла перпендикулярний до площини, на яку падає світловий потік. Якщо площина, на яку падає світло, відхиляється від перпендикулярності, то треба урахувувати, що той самий світловий потік розподіляється на більшу площу, а значить освітленість буде залежати від косинусу кута між перпендикуляром до площини і напрямком сили світла α . Це для точкових джерел світла.

А як бути з поверхневими джерелами світла? У цьому випадку треба розділити всю поверхню або площину, яка світиться, на

елементарні частини, які будуть точковими, і визначати освітленість від кожного елемента, а потім підсумувати елементарні освітленості.

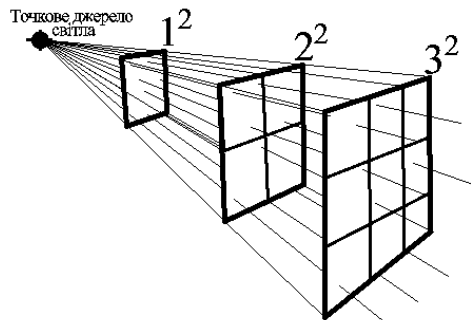


Рис. 3.4. Схема до закону обернених квадратів

Яскравість (L) є поверхневою щільністю сили світла в заданому напрямку (рис. 3.5). Визначається відношенням сили світла елемента поверхні (S), що світиться (у напрямку до ока спостерігача), до площі проєкції цього елемента (S') на площину, перпендикулярну тому ж напрямку. Яскравість вимірюється в канделах, віднесених до 1 м^2 площі, $\text{кд}/\text{м}^2$.

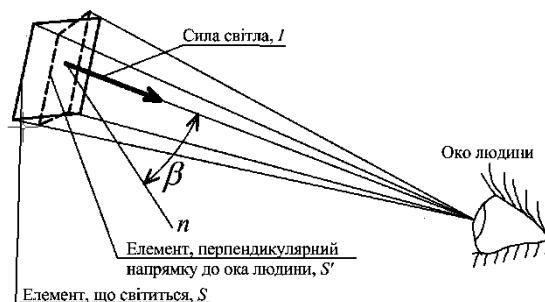


Рис. 3.5. Схема до визначення яскравості елемента, що світиться (тут β – кут, між напрямком лінії зору і нормаллю n до поверхні, що світиться град.)

Яскравість – світлова величина, яку безпосередньо сприймає око людини.

Середні значення деяких світлових величин представлені у табл. 3.1.

Це основні величини та одиниці, які використовуються у загальній світлотехніці. У архітектурно-будівельній світлотехніці під час проєктування природного світлового середовища в будинках використовувати абсолютні критерії незручно з тієї причини, що джерелом випромінювання світла є небозвід. Параметри природного випромінювання постійно змінюються протягом року, сезону та доби. Тому зручніше використовувати відносні критерії.

Таблиця 3.1

**Усереднені значення світлових величин
у повсякденній практиці**

Джерело світла	Світловий потік, лм
Велосипедна фара	10
Лампа розжарювання (150 Вт)	1950
Лампа денного світла (40 Вт)	2800
Натрієва лампа (140 Вт)	13000
Ртутна лампа	20000
Характерні природні умови	Освітленість, лк
Ясний сонячний день під відкритим небом	100000
Похмурий день під відкритим небом	5000
Помірно освітлений письмовий стіл	300
Середній рівень загального освітлення кімнати	100
Місячне освітлення горизонтальної площини	0,2
Поверхні, що світяться й освітлені світлом	Яскравість, кд/м ²
Сонце	$1,65 \cdot 10^9$
Хмарне небо в зеніті у середині дня	7000 – 8000
Повний місяць	2500
Полум'я стеаринової свічки	5000
Вольфрамова нитка лампи розжарювання	$6 \cdot 10^6$
Люмінесцентні лампи	5000 – 10000
Папір під час освітлення 400 лк:	
Білий (коефіцієнт відбиття світла $\rho = 0,8$)	100
Сірий (коефіцієнт відбиття світла $\rho = 0,4$)	50
Чорний (коефіцієнт відбиття світла $\rho = 0,04$)	5

3.2. Коефіцієнт природного освітлення (КПО)

Критерієм оцінки змінного природного освітлення служить величина, яка називається **коефіцієнтом природної освітленості** (КПО, D , %) і показує, яку частку освітленості через світлопроріз в цій точці приміщення становить від одночасної зовнішньої освітленості горизонтальної поверхні під відкритим похмурим (хмарність 8 – 10 балів) небозводом, виражається у відсотках. Іншими словами, це відношення внутрішньої освітленості в середині приміщення до одночасної зовнішньої освітленості під відкритим похмурим небом.

Давайте уточнимо, що таке «критерій оцінки»? У загальному плані це така величина або параметр, який, з одного боку, можна розрахувати або виміряти, а з другого боку, цей параметр має нормативну або стандартну величину, яка узгоджена на державному рівні, і з нею треба порівняти розрахункову величину, щоб отримати відповідь на запитання, задовольняє вона нормативні вимоги чи ні.

Так ось, критерій оцінки природного освітлення – КПО – визначається відношенням освітленості точки в приміщенні E_v до **одночасної** освітленості цієї ж точки під відкритим небом E_z , вимірюється у відсотках. При цьому прямі сонячні промені не враховуються. Вимірювати або розраховувати освітленість треба в один і той же час, наприклад, в 11:30 (рис. 3.6, а). Основна причина обрання КПО як критерію оцінки – значення КПО впродовж дня у разі похмурого небозводу незмінне (рис. 3.6, б). Тому усунено такий незручний фактор природного освітлення, як його змінність впродовж доби.

Коефіцієнт природного освітлення – це дуже маленька величина. Максимальне значення нормованої його величини – 10%, а в середньому її значення може коливатися в межах 0,5 – 4% для різних приміщень.

Звісно, КПО це у загальному плані фізична величина. Але левову її частину містить її геометрична складова, яка залежить від геометричних параметрів: розмірів (площі) світлопрорізів, їхньої кількості, розташування у просторі (похиле, вертикальне та ін.) і відносно розрахункових точок.

Тому цю величину вирішили виділити окремо і вона називається *геометричним коефіцієнтом природного освітлення*.

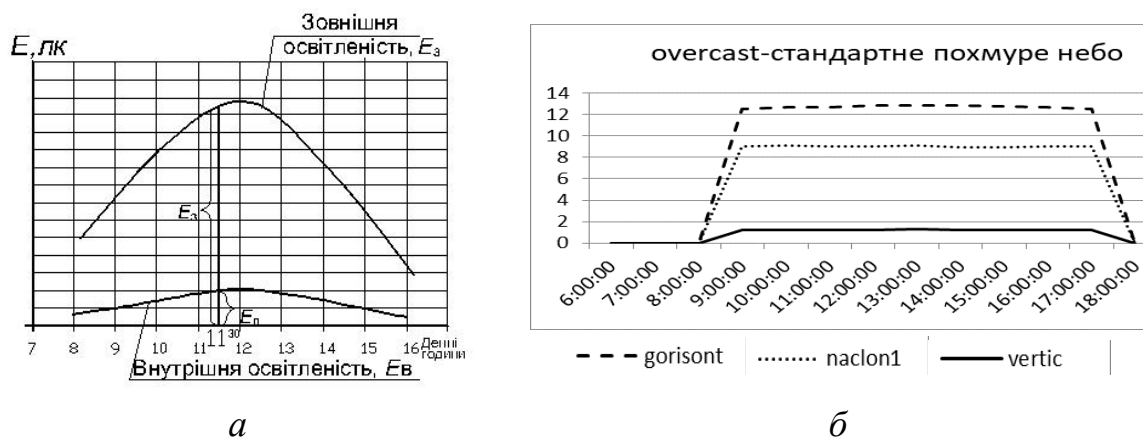


Рис. 3.6. Розподіл КПО впродовж дня:

а – визначення КПО у разі одночасного вимірювання величин;
 б – під час похмурого небозводу для вертикального, похилого і горизонтального світлопрорізів

Геометричний коефіцієнт природної освітленості (ГКПО), $[D_s]$ – відношення площі ортогональної проєкції ϵ_v на горизонтальну площину ділянки умовної небесної півсфери, видимої з розрахункової точки M

через незаповнений світлопроріз або його частину $\varepsilon_{\text{сф}}$, від якої розраховується освітленість, до площі основи небесної півсфери ε_3 . Іншими словами, ГКПО показує *долю світла неба в коефіцієнті природної освітленості D* (рис. 3.7).

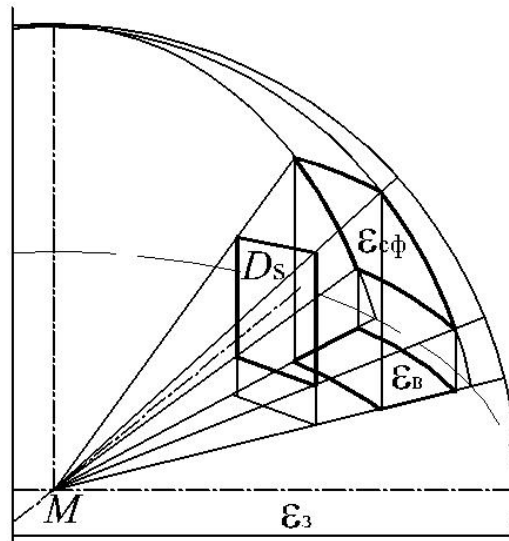


Рис. 3.7. Геометрична складова коефіцієнта природного освітлення

3.3. Закони архітектурно-будівельної світлофізики

Освітленість у будь-якій точці приміщення створюється світловим потоком, який випромінюється з ділянок небозводу, видимих з цієї точки через світлопрорізи, розташованих в огорожувальних конструкціях будівлі. У зв'язку з цим виникає запитання, від яких параметрів залежать світлотехнічні показники і як їх можна визначити. Це дають змогу зробити чотири основні закони архітектурно-будівельної світлофізики, які формують теоретичну базу цієї науки.

3.3.1. Закон проєкції тілесного кута

Помістимо приміщення з розрахунковою точкою M під небозвід, який є півсферою одиничного радіусу, тобто $R = 1$ (рис. 3.8). Причому точка M збігається із центром півсфери.

Для спрощення виведення закону приймемо такі три припущення:

- 1) яскравість небозводу у всіх точках однакова;
- 2) вплив відбитого світла від землі і внутрішніх поверхонь приміщення не враховується;
- 3) віконне заповнення світлопрорізу відсутнє.

Ці припущення говорять про те, що ми будемо розглядати в цьому випадку геометричний коефіцієнт природної освітленості, оскільки тут беруть участь тільки геометричні параметри і не враховуються такі фізичні параметри, як нерівномірна яскравість небозводу, зниження інтенсивності світла під час проходження його через віконне заповнення та відбиття від землі і внутрішніх поверхонь приміщення.

Світло до точки M приміщення надходить від ділянки неба $AB\Gamma$, видимої із цієї точки через світлопроріз (рис. 3.8). Розділімо цю ділянку по вертикалі на n_1 , по горизонталі на n_2 частинок таким чином, щоб елементи були точковими джерелами площею ds . Кожний елемент випромінює світло силою dI . Буква d кожного параметру означає, що параметр дуже маленький (точковий).

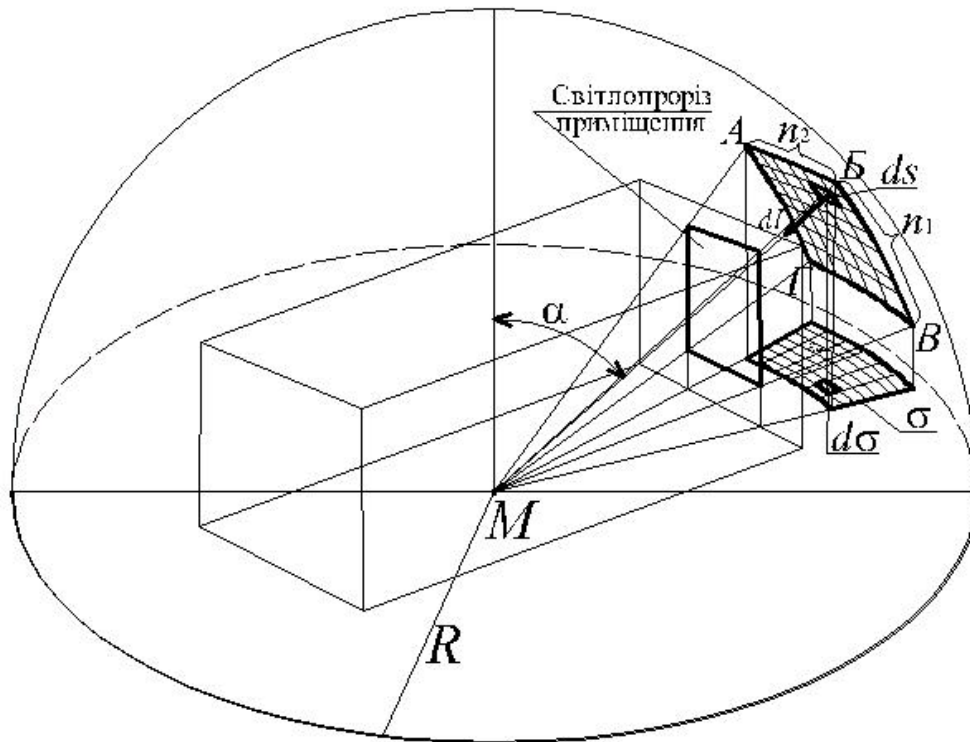


Рис. 3.8. Схема до закону проекції тілесного кута

Освітленість від такого точкового елемента dE_M буде дорівнювати, згідно із законом обернених квадратів, відношенню елементарної сили світла до квадрата радіусу півсфери, який ми прийняли одиничним. Але це в похилому напрямку. Нам же потрібна горизонтальна освітленість, тобто в перпендикулярному до площині основи півсфери напрямку. Щоб отримати освітленість в цьому напрямку, треба урахувати кут нахилу розташування точкового елемента ds до нормалі до основи півсфери в точці M , тобто, елементарне значення сили світла помножити на площу

ds і на косинус кута α між напрямком випромінювання і перпендикуляром до основи півсфери.

Але нам врешті-решт потрібна яскравість небозводу L , визначена певними стандартами [2]. Згідно з рис. 3.3 і 3.5, яскравість у цьому випадку визначається відношенням сили світла елемента сферичної поверхні ds , що світиться (у напрямку до т. M), до площі проєкції цього елемента на площину, перпендикулярну тому ж напрямку, які співпадають, тому що кут між проєкцією на цей напрямок і самим елементом дорівнює нулю, бо це сферична поверхня. Тому косинус нуля дорівнює одиниці. У результаті елементарна сила світла dI прямопропорційна яскравості сферичного елемента L та його площині ds .

Відношення площі сферичної поверхні до квадрата радіуса – тілесний кут ω елемента ds . Якщо помножити цей тілесний кут на косинус площинного кута α , то це буде проєкція тілесного кута $d\sigma$ на горизонтальну площину, на якій лежить точка M .

Таким чином, освітленість від одного елемента прямопропорційна яскравості небозводу і площі проєкції тілесного кута цього елемента на його горизонтальну площину. Просумувавши площі проєкції тілесного кута всіх елементів, отримаємо освітленість від всього світлопрорізу.

Освітленість в розрахунковій точці горизонтальної площини кімнати, яка створена рівномірно яскравим небом, прямопропорційна яскравості неба L та величині проєкції тілесного кута світлопрорізу σ на горизонтальну площину, яка освітлюється. Це і є закон проєкції тілесного кута.

З цього закону можна визначити значення КПО у точці M під відкритим небозводом (без участі приміщення). Площа проєкції тілесного кута від всього небозводу дорівнює площі основи півсфери у вигляді кола з радіусом $R = 1$, а його площа дорівнює, як відомо, $\pi \cdot R^2$, тобто π . В результаті зовнішня освітленість буде дорівнювати яскравості неба L на добуток π . Звідси можна зробити висновок, що **геометричний КПО D_s** дорівнює відношенню проєкції тілесного кута світлопрорізу σ до числа π і вираженому у відсотках.

Практичне значення цього закону дуже велике: користуючись ним, можна порівнювати освітленості, створювані одним і тим же світлопрорізом, розташованим по-різному відносно робочої площини, а також виконувати багато інших світлотехнічних завдань.

На основі цього закону розроблено низку графічних та аналітичних методів розрахунку природного освітлення (зокрема, метод Данилюка), які отримали широке поширення в нашій та світовій архітектурній практиці.

3.3.2. Закон світлотехнічної подоби

Якщо небозвід має однакову яскравість у всіх точках, то поверхні різних розмірів, що світяться, можуть створити в точці M однакову освітленість, якщо площі проєкції їхніх тілесних кутів σ будуть рівні.

Розглянемо освітленість у точці M , створювану декількома поверхнями, що світяться і мають яскравості $L_1, L_2, \dots, L_k$ та площі проєкцій тілесних кутів на освітлювану площину $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k$. Тоді освітленості від цих поверхонь у цій точці $E_1; E_2; \dots E_k$ дорівнюватимуть добутку яскравостей і площ проєкцій тілесних кутів на освітлювану площину. Якщо прийняти півсферу рівномірної яскравості, то поверхні створять рівні освітленості $E_1 = E_2 = \dots = E_k$, тоді, коли будуть рівними їхні площі проєкцій тілесних кутів $\sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_k$. Пам'ятаємо, що тілесний кут це відносна величина площі сферичної поверхні до квадрату її радіусу. Тобто, освітленість у приміщенні з одним вікном залежить не від абсолютних його розмірів, а від відносних (відносно розрахункової точки).

У результаті **закон світлотехнічної подоби** можна сформулювати так: **освітленість у точці від поверхні, що світиться, залежить не від абсолютних її розмірів, а від відносних.**

Або так: поверхні різних розмірів, які світяться однаковою яскравістю, можуть створити в точці однакову освітленість, якщо площі проєкції їхніх тілесних кутів будуть рівні.

На схемі (рис. 3.9) представлені два світлопрорізи. Хоча абсолютні їхні розміри різні $S_2 > S_1$, але $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$, тому і освітленості від цих двох світлопрорізів будуть рівні.

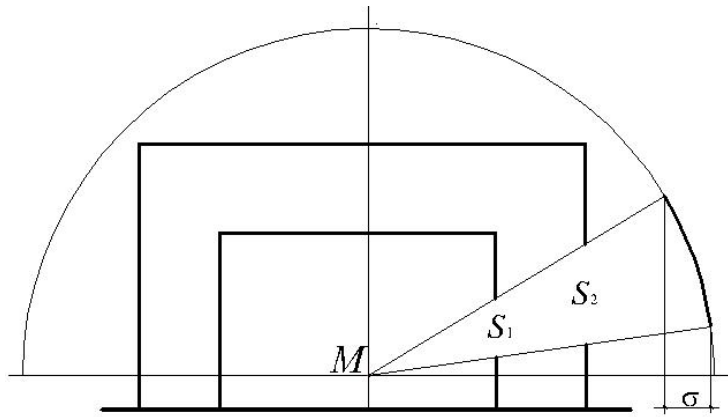


Рис. 3.9. Схема до закону світлотехнічної подоби

Цей закон має важливе значення для розрахунків природного освітлення. Для цього розроблені спеціальні графіки А.М. Данилюка. Студенти часто запитують, яким масштабом планів і розрізів необхідно користуватись під час використання цих графіків. Відповідь – будь-яким. Необхідно тільки, щоб і план, і розріз були в однаковому масштабі, тому що кут (і площинний, і просторовий) не залежить від масштабу.

3.3.3. Закон ефективності світлопрорізів

Світлопрорізи, розташовані під меншим кутом нахилу до горизонтальної площини, дають більшу освітленість у розрахунковій точці M , ніж світлопрорізи, що мають більший кут нахилу.

Відповідно до цього закону, можна одразу визначити світлотехнічну ефективність того чи іншого світлопрорізу, що важливо для архітекторів.

На представлений схемі (рис. 3.10) є три однакових будівлі, які мають по одному світлопрорізу з рівною площею, тобто, $s_1 = s_2 = s_3$, але отвір s_2 трохи нахилений до горизонтальної площини ($\alpha_1 > \alpha_2$), а отвір s_3 має горизонтальне розташування. Здавалося би, вони повинні давати однакову освітленість, але це не так. Як видно із схеми, проєкція $\sigma_3 > \sigma_2 > \sigma_1$, отже, освітленість у другому і у третьому випадках буде більшою.

Тобто, іншими словами, чим менший кут розташування світлопрорізу до освітлюваної площини, тим більшу ефективність він має, і навпаки. Таким чином, найбільшу світлову ефективність будуть мати так звані zenітні ліхтарі, а найменшу – вертикальні світлопрорізи у разі рівної площі.

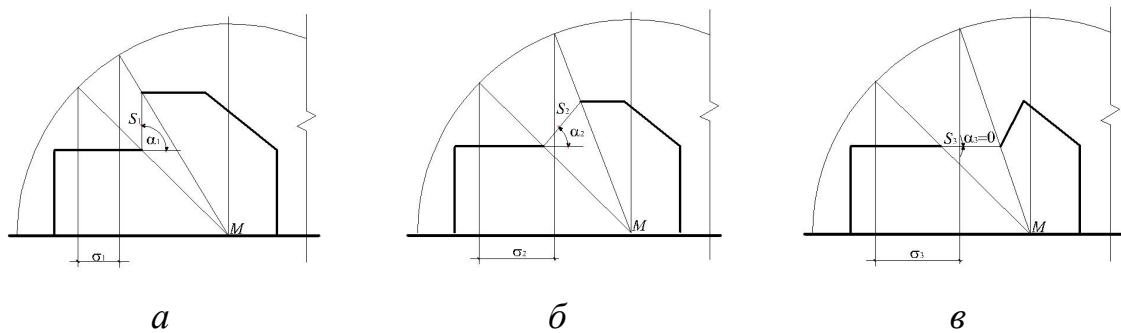


Рис. 3.10. Схема до закону ефективності світлопрорізів:

a – у разі вертикального світлопрорізу;

б – у разі похилого світлопрорізу;

в – у разі горизонтального світлопрорізу

3.3.4. Закон додавання освітленості

Освітленість площини – величина скалярна, тому закон додавання освітленостей формулюється так.

Освітленість у розрахунковій точці певної площини приміщення від кількох світлопрорізів дорівнює сумі освітленостей від кожного світлопрорізу окремо.

Іншими словами: сумарна природна освітленість у приміщенні дорівнює додаванням освітленостей від кожного природного джерела.

Те ж саме стосується і КПО. Якщо у приміщенні декілька світлопрорізів, то, підрахувавши величину КПО від кожного світлопрорізу і взявши їхню суму, отримаємо загальну величину КПО у приміщенні.

Взагалі світло (світловий потік) має напрямок дії у просторі, і це дуже важливо під час формування комфортного світлового середовища. Але площинна, наприклад, горизонтальна, освітленість не має напрямку.

3.4. Основна ідея методу розрахунку геометричного КПО на основі графіків

Ми в цьому розділі розглянули основні загальні світлотехнічні величини і закони архітектурно-будівельної фізики, які сформували базу для розглядання методів світлотехнічного розрахунку систем природного освітлення будівель.

Методів розрахунку КПО багато, але найбільш поширеним в нашій і в інших країнах є інженерний графо-аналітичний метод, який був розроблений 100 років тому і постійно удосконалюється.

Джерелом випромінювання у разі природного освітлення є небозвід, модель якого виглядає як півсфера. Її поверхню було розбито на 10000 майданчиків двома групами площин (100 × 100). Перша група (червоні лінії) – площини, які проходять через основний діаметр (рис. 3.11). Друга група (сині лінії) – площини, що проходять паралельно до основного вертикалу півсфери перпендикулярно першій групі площин.

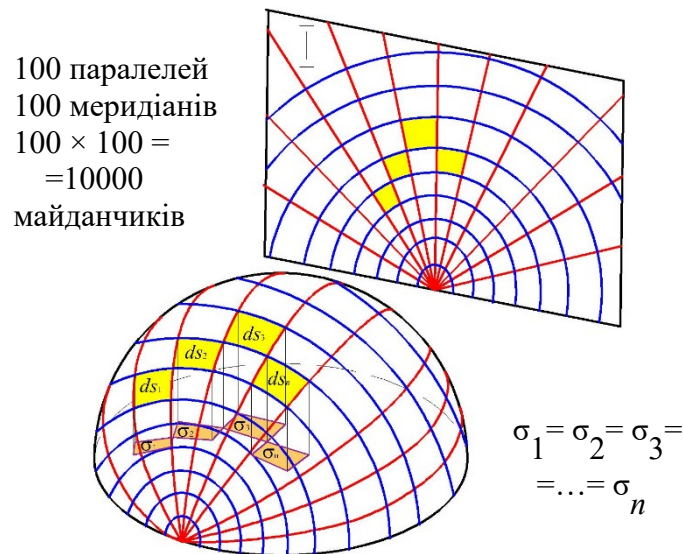


Рис. 3.11. Схема, яка пояснює ідею метода розрахунку геометричного КПО

Причому, розбивка здійснювалася у такий спосіб, щоб проєкції тілесних кутів кожного майданчика на горизонтальну площину були однаковими, тобто, $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \dots = \sigma_n$.

Отже, на основі закону проєкції тілесного кута, кожен майданчик створює однакову освітленість у центрі півсфери, тепер можна прийняти, що з центру кожного майданчика виходить по одному світловому променю. Тоді освітленість розрахункової точки, що перебуває під відкритим небозводом, можна вважати рівною $E_n = 10000$ променів (або одиниць).

Поміщаємо цю розрахункову точку в приміщення, наприклад, з одним світлопрорізом. Більшість променів світла не доходять до розрахункової точки, бо огорожі приміщення не світлопрозорі. Тільки кілька променів проходить через отвір у цю точку, а саме, від прямокутника $AB\Gamma$ (див. рис. 3.8), що є основою тілесного кута

світлопрорізу з вершиною в розрахунковій точці M . Щоб визначити кількість променів, що проходять від ділянки небозводу $AB\Gamma$ через проріз, необхідно визначити її площу у променях, для чого кількість променів по вертикалі BB (n_1) помножується на кількість променів по горизонталі $AB(n_2)$. Це і буде освітленість в променях від світлопрорізу. А щоб отримати геометричний КПО, необхідно цю величину поділити на 10000 (загальна освітленість в променях від всього небозводу) і помножити на 100, оскільки КПО вимірюється у відсотках.

Розбита на майданчики півсфера (рис. 3.11) була спочатку спроектована на вертикальну площину, де перша група площин перетворилася на радіальні лінії, а друга група – на концентричні півкола. У результаті з'явився графік I (рис. 3.12).

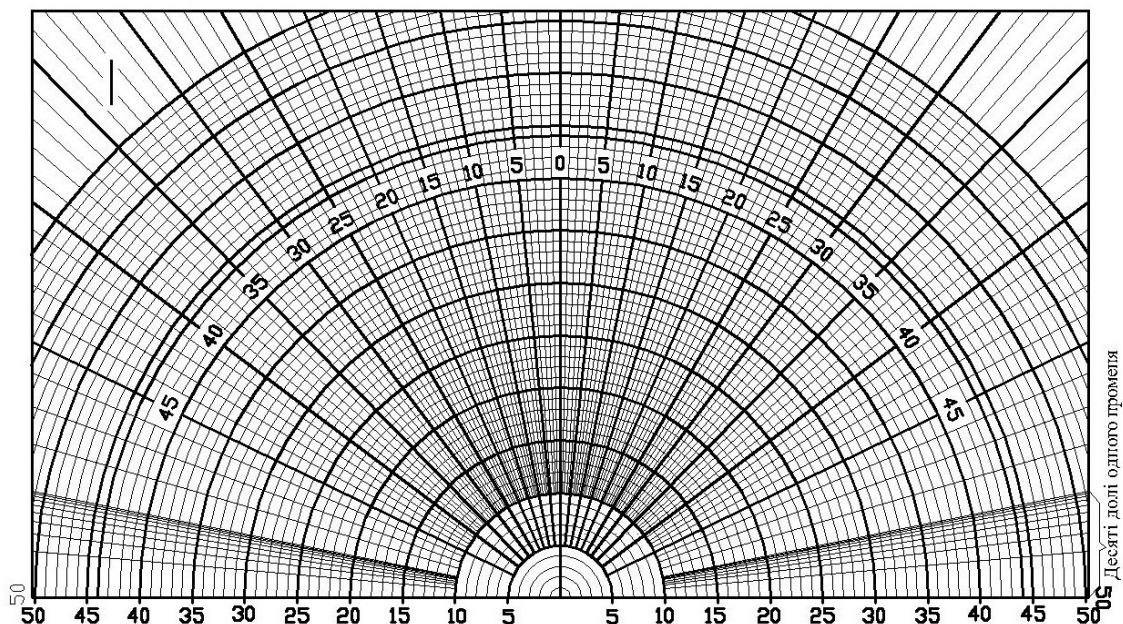


Рис. 3.12. Графік I для підрахунку кількості променів, що проникають через світлові прорізи на поперечному розрізі приміщення

Потім півсфера була спроектована на горизонтальну площину, де за певною залежністю побудовані радіальні лінії, а друга група площин перетворилася на горизонтальні лінії. Таким чином, отримано графік II (рис. 3.13).

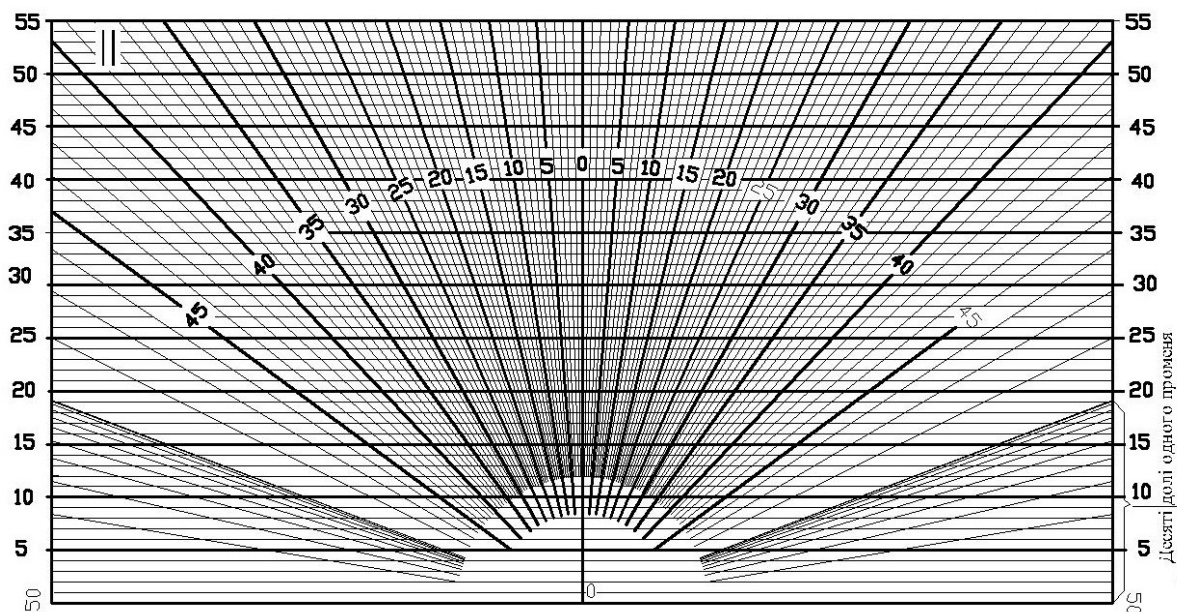


Рис. 3.13. Графік II для підрахунку кількості променів, що проникають через світлові прорізи, на плані чи поздовжньому розрізі приміщення

3.5. Основні положення теорії світлового поля

Під час проектування світлового середовища важливим є перехід до оцінки світлового середовища за просторовими характеристиками світлового поля, на відміну від сучасного проектування за площинними показниками. Це насамперед пов'язано з тим, що критерій оцінки – коефіцієнт природної освітленості (КПО) – площинна характеристика, яка може ефективно оцінювати освітлення тільки тих об'єктів, які мають площинну форму і перебувають у площині, наприклад, аркуш на столі, креслення на похилій площині і т.п. Однак він не може достатньо оцінити умови розподілу світлових потоків у просторі по об'ємних об'єктах з рельєфною поверхнею.

Використання КПО як нормованого параметра призводить до роздільного нормування бічного і верхнього природного освітлення, природного і штучного. Це призводить до значних похибок під час оцінювання систем природного та суміщеного освітлення і, як результат, до невиправданих енергетичних та економічних витрат [3]. Це положення підтверджується деякими роботами з застосуванням теорії світлового поля до проектування систем природного освітлення будівель. Багато дослідників стверджують, що оцінка світлового середовища повинна здійснюватися за допомогою комплексу кількісних і якісних параметрів світлового поля.

Світлове поле – це область простору, з однієї точки якого в іншу здійснюється перенесення світлової енергії.

Ефективну оцінку умов освітлення можна здійснювати наступними основними просторовими характеристиками світлового поля.

Кількісні характеристики:

Середня сферична освітленість ($E_{4\pi}$) – середня щільність світлового потоку на поверхні сфери, радіус якої прагне до нуля. Ця величина є функцією тільки точки, тобто, як сферу не повертай навколо свого центру, значення освітленості залишатиметься одним і тим самим. Якщо у разі площинної характеристики, наприклад, горизонтальної освітленості, бічні світлопрорізи мають малу освітленість, оскільки кут падіння світлового потоку на площину малий, а верхні – мають велику освітленість у зв'язку з великим кутом падіння, то середня сферична освітленість однозначно оцінює як бічні, так і верхні світлопрорізи. У цьому полягає перевага середньої сферичної освітленості. Цю характеристику найкраще використовувати під час оцінювання умов освітлення об'ємних об'єктів спостереження, розташованих над площиною, що спостерігається в більшості промислових підприємств.

Середня напівсферична освітленість ($E_{2\pi}$) – середня щільність світлового потоку на поверхні півсфери, радіус якої прагне до нуля. Ця величина є функцією точки та напрямку, тобто, під час обертання півсфери значення освітленості змінюватиметься. Середню напівсферичну освітленість краще використовувати під час оцінювання умов освітлення об'ємних об'єктів спостереження з рельєфною поверхнею, розташованих на площині.

Середня циліндрична освітленість (E_{π}) – середня щільність світлового потоку на бічній поверхні вертикально розташованого циліндра, діаметр і висота якого прагнуть до нуля. Ця величина також є функцією точки та напрямку, бо у разі відхилення осі циліндра від вертикального її положення значення освітленості змінюватиметься. Середню циліндричну освітленість краще за все використовувати в тих приміщеннях, де зорові операції здійснюються на горизонтальній лінії зору, а об'єкти спостереження розташовуються на вертикальній площині (виставкові павільйони, музеї, картинні галереї і т. п.). Слід зазначити, що середня циліндрична освітленість для деяких приміщень нормується в діючому в даний час ДБН [4].

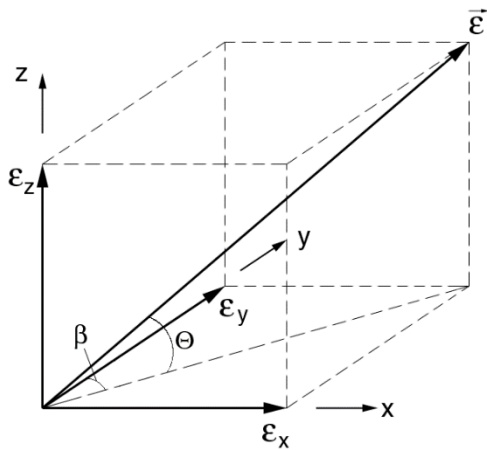


Рис. 3.14. Схема визначення параметрів світлового вектора

Світловий вектор визначає у будь-якій точці поля модуль і напрямок вектору перенесення світлової енергії в одиницю часу через одиницю площі, перпендикулярно напрямку перенесення.

Світловий вектор характеризується модулем $|\vec{\epsilon}|$, тобто величиною в цьому напрямку і кутовими параметрами (рис. 3.14).

На цьому рисунку позначено ϵ_x , ϵ_y , ϵ_z – складові світлового вектора, відповідно, по осях X , Y , Z , які визначаються різницею освітленості протилежних сторін майданчиків, перпендикулярних цим осям.

Модуль світлового вектора є кількісною характеристикою.

Якісною характеристикою є напрямок світлового вектора, який визначає переважний напрямок світлових потоків у цій точці у приміщенні.

Напрямок світлового вектора найкраще визначати двома параметрами: кутовою висотою Θ та азимутом β від будь-якої осі (наприклад, осі Y). Напрямок вектора має дуже важливе значення для сприйняття світлової обстановки, особливо коли необхідно розрізнити дрібні деталі на об'ємних предметах.

Контрастність освітлення K_o – якісна характеристика, що оцінює тінеутворюючі властивості світлового поля, в результаті яких виявляється форма об'єкта і структура його поверхні. Контрастність освітлення може визначатися відношенням різних величин, але найбільш ефективним і універсальним є відношення модуля світлового вектора до середньої сферичної освітленості.

Контрастність може приймати значення від 0 до 4. Перше значення може мати місце, наприклад, у сферичному приміщенні, внутрішня поверхня якого рівномірно випромінює світло у всіх напрямках. Тут модуль світлового вектора дорівнює нулю і контрастність, відповідно, теж дорівнює нулю. Тут тіней або немає, або вони зовсім маленькі. Це не дуже гарна ситуація, бо за допомогою тіней ми виявляємо форму різних об'єктів і структуру їхніх поверхонь.

Друге крайнє значення має місце, наприклад, темної ночі на вулиці із самотнім ліхтарем. У цій ситуації тіні чорні і різкі, величина модуля світлового вектора має максимальне значення, а величина середньої сферичної освітленості набуває мінімального значення. Тут має місце наступна картина. Контраст між тінями і світлими плямами великий. Пам'ятаємо, що очі дуже швидко рухаються і зір переходить з темних місць на світлі і навпаки. І якщо часто розташовані світлі і темні плями, то з'являється агресивне світлове поле. Здійснюється часта переадаптація зору, що, як ми вже знаємо, негативно позначається на роботі очей. Тобто, шановні архітектори, як в цих випадках, так і в інших, треба шукати «золоту» середину, яка називається оптимізацією.

Таким чином ми бачимо, що прямі потоки здебільшого враховує модуль світлового вектора, розсіяні і відбиті потоки враховуються середньою сферичною освітленістю.

Ще один приклад. Представимо звичайну кімнату зі звичайним вікном. Тут контраст між вікном і стіною, яка його оточує, невеликий, особливо коли орієнтація вікна північна. Далі ми будемо поступово збільшувати розміри приміщення (ширину і глибину), залишивши розміри вікна незмінними. Проаналізуємо цю ситуацію. Величина світлового вектора залишається незмінною (якщо розрахункова точка не змінилась), а середня сферична освітленість буде зменшуватись, контрастність освітлення між площиною вікна і стіною поруч тоді буде зростати. Знову виникає часта переадаптація зору, яка призводить до несприятливої ситуації, особливо у місцях біля стіни з вікном. Хоча розрахункове значення може бути достатнім. У цьому і в інших подібних випадках у архітекторів і дизайнерів має місце такий прийом: підсвітка простінків світильниками штучного освітлення ковзним світловим потоком. Таких прикладів можна навести багато і їх легко можна аналізувати за допомогою просторових характеристик, які можуть навести на ефективний метод створення сприятливого середовища.

З усіх перелічених характеристик найбільш універсальними, особливо в оцінці умов природного освітлення у промислових будинках, є такі: середня сферична освітленість, модуль світлового вектора, його кутова висота і азимут, а також контрастність освітлення. Оцінка за допомогою цього комплексу характеристик, як показало багато досліджень, дає змогу запроєктувати найбільш ефективну систему природного освітлення для цього приміщення.

3.6. Світлотехнічні характеристики матеріалів

3.6.1. Світлотехнічні властивості матеріалів

Відомо, що близько 90 % інформації людина сприймає через органи зору. Сприйняття зорової інформації залежить від багатьох факторів, зокрема, форми предметів, їхнього кольору, матеріалів, із яких вони вироблені, структури їхніх поверхонь та інших властивостей. **Все те, що ми бачимо навколо себе – результат взаємодії світла з елементами оточуючого простору (предметами, матеріалами, рідинами та ін.) і перетворення його в мозку людини.** Якість зорового сприйняття залежить від якості світлового середовища, і в цьому немала доля залежить від властивостей матеріалів, із яких зроблені елементи навколишнього середовища.

Матеріали посідають дуже важливе місце серед багатьох факторів, що визначають якість середовища, його архітектурно-просторову і художню цінність, впливають на ефективність дизайнерських рішень та техніко-економічні показники.

Якість вибору матеріалів визначає безпосередній вплив на технічні, естетичні переваги об'єкта на його сприйняття. Тим більш, що наразі з'являються багато нових матеріалів з новими властивостями. Тому архітектору важливо знати основні світлотехнічні властивості матеріалів та характеристики їхніх поверхонь.

Якщо на яке-небудь тіло падає світловий потік F , то у загальному випадку частина потоку відбивається F_p , частина поглинається F_a і частина пропускається F_t . Згідно з законом збереження енергії, сума цих частин потоків дорівнює загальній величині потоку, який падає на тіло. Відношення цих частин світлового потоку до його загальної величини називається відповідними коефіцієнтами:

- ρ – коефіцієнт відбиття світлового потоку, рівний відношенню **відбитого** світлового потоку до того, який падає на тіло;
- α – коефіцієнт поглинання світлового потоку, рівний відношенню **поглинутого** світлового потоку до того, який падає на тіло;
- τ – коефіцієнт пропускання світлового потоку, рівний відношенню **пропущеного** світлового потоку до того, який падає на тіло.

Сума всіх трьох коефіцієнтів дорівнює одиниці. Значення цих коефіцієнтів для деяких матеріалів надано в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

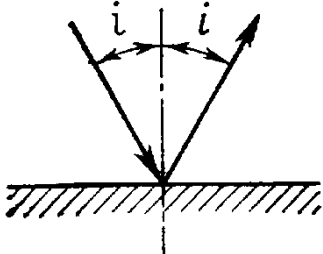
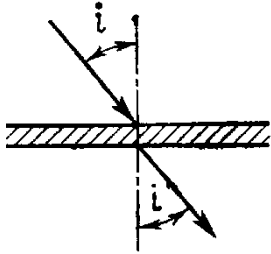
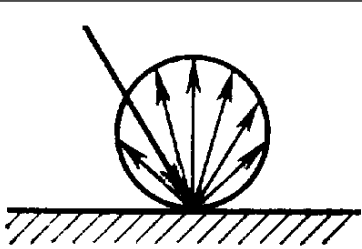
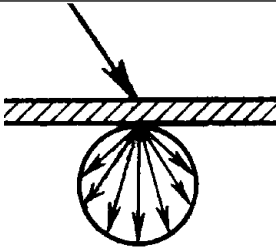
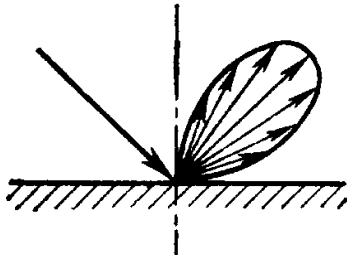
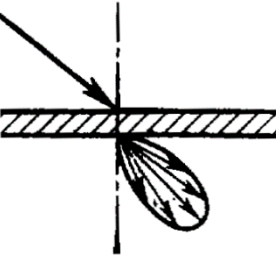
**Приклади коефіцієнтів відбиття, поглинання і пропускання
деяких матеріалів**

№ п/п	Матеріал	Коефіцієнти		
		відбиття, ρ	поглинання, α	пропускання, τ
1	Закис магнію	0,98	0,02	-
2	Біла клейова фарба	0,80	0,20	-
3	Білий папір	0,70	0,20	0,1
4	Чорний оксамит	0,005	0,995	-
5	Листове віконне скло ($\delta = 2-3$ мм)	0,08	0,02	0,90
6	Візерункове прокатне скло ($\delta = 3-6$ мм)	0,20	0,10	0,70
7	Молочне скло ($\delta = 2-3$ мм)	0,45	0,15	0,40
8	Дзеркало посріблене ($\delta = 3-6$ мм)	0,85	0,15	-
9	Тонкі мармуровані плити ($\delta = 8-9$ мм)	0,55	0,40	0,05

Важливе значення для сприйняття світлового середовища має розподіл світла у просторі під час його взаємодії з тілами і рідинами та з їхніми поверхнями. Схеми такої взаємодії представлено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

**Характер розподілу світлових потоків
під час їхньої взаємодії з тілами**

Відбиття	Пропускання	Матеріали
Направлене		Дзеркало, поверхня води, скло звичайне, полірований метал
		
Розсіяне		Гіпс, клейова фарба, дерево, бетон, молочне скло з внутрішнім розсіюванням, цегляна кладка, різного роду штукатурки, папір, шпалери та ін.
		
Розсіяно-направлене		Масляна фарба, рифлене скло, склоблоки, скло-профіліт
		

Під час спрямованого пропускання величина тілесного кута, в межах якого поширюється минулий світловий потік, також залишається незмінною. Тіла, що мають спрямоване пропускання, називаються прозорими. Через них можна бачити обриси предметів, що перебувають за ними (прозоре скло).

У природі немає ідеальних дзеркально-, дифузно-відбиваючих, або тих, що дифузно пропускають світло матеріалів. Існують матеріали, властивості яких тільки більш-менш наближаються до ідеально дифузного або дзеркального відбиваючих або тих, що пропускають світло. У реальних матеріалів завжди спостерігається наявність обох різновидів, що зумовлюють розсіяно-спрямоване відбиття або пропускання.

Для рівномірно дифузно-відбиваючих світло або дифузно-проникаючих матеріалів (другий рядок у табл. 3.3), діє проста залежність між яскравістю L поверхні та її освітленістю E . Яскравість прямо пропорційна освітленості та коефіцієнту відбиття ρ (для відбитих потоків) або коефіцієнту проникнення τ (для пропущених світлових потоків) і обернено пропорційна величині π .

Це дуже корисна залежність. По-перше, вона має широке використання і, по-друге, вона дає змогу просто визначити багаторазове відбиття світлових потоків від внутрішніх поверхонь приміщення, і таким чином отримати додаткову освітленість, яка впливає на багато сфер сприйняття простору.

3.6.2. Світлопрозорі матеріали і вироби

Неможливо уявити собі сучасне будівництво без застосування скла, цього древнього матеріалу, який за багато століть пройшов довгий шлях перетворення від мало прозорих і часом непоказних невеликих плиток до сучасного ефективного будівельного матеріалу. Величезні зміни відбулися і в галузі фізико-механічних властивостей скла. Сучасне скло має велику різноманітність властивостей, причому деякі з них є настільки новими для будівництва, що знання властивостей скла і особливостей його застосування є абсолютно необхідним для архітектора.

Сучасне скло – це продукт, заснований на досягненнях в галузі фізики, хімії, матеріалознавства і технології, що надзвичайно

розвивається. За допомогою різноманітних та численних технологічних прийомів можна отримати такі властивості скла, які не тільки заздалегідь задаються, а й розраховуються.

Ліхтарі та вікна значно легші за інші огорожувальні конструкції, але їхня вартість майже завжди перевищує вартість стін або покриттів. Це пояснюється в першу чергу відносно більшою ціною світлопрозорих матеріалів. Експлуатаційні витрати на світлопрозорі огороження також досить великі. Крім великих тепловтрат через такі конструкції, вони вимагають регулярного очищення від пилу і бруду, порівняно частого ремонту, заміни частин, що вийшли з ладу (особливо силікатного скла) і т.п. Все це вимагає детального аналізу під час вибору виду світлопрозорого матеріалу.

Світлопрозорі елементи без рамних конструкцій можна виготовляти як із силікатного скла (склопрофіліти, склозалізобетонні елементи, скляні куполи, склопакети та ін.), так і з світлопрозорих полімерних матеріалів (цільноформовані та клеєні панелі, пластмасові куполи, склепінні оболонки та ін.).

Найбільш перспективними полімерними світлопрозорими матеріалами є поліметилметакрилати, полістироли, склопластики на основі ненасичених полієфірних смол та полівінілхлориди.

Поліметилметакрилат (органічне скло). Оргскло – термопластичний матеріал, що отримується полімеризацією мономеру метилметакрилату в присутності каталізатора.

Блокове оргскло випускають у вигляді плоских листів, що виготовляються у формах з листового силікатного скла. Виготовляють також хвилясті і гофровані листи.

Безбарвне оргскло рівномірно пропускає світло по всій видимій ділянці спектру (коефіцієнт світлопроникнення $\tau = 0,92$), сумарні втрати на відбиття від обох поверхонь листа – не більш ніж 0,07. Під час виготовлення оргскло легко забарвлюється в масі (кольорове та молочне скло), поверхня його піддається обробці (матоване скло). Такі скла пропускають менше світла, і величина коефіцієнта їхнього світлопроникнення залежить від інтенсивності забарвлення і кольору.

Полієфірні склопластики. Основні компоненти полієфірних склопластиків – ненасичені полієфірні смоли та різні види скловолокнистих наповнювачів.

Форми світлопрозорих конструкцій із поліефірних склопластиків, що застосовуються у будівництві, відрізняються різноманіттям. Найбільшого поширення набули листові склопластики: плоскі, хвилясті та профільовані. Світлопрозорі листові склопластики застосовують у поєднанні з іншими покрівельними та стіновими матеріалами для заповнення світлових прорізів у покриттях та стінах будівель.

Товщина склопластику зазвичай 1,5-2,5 мм, довжина може бути будь-якою, а ширина залежить від пристрою механізованої установки та зазвичай становить 1-1,5 м.

Листові склопластики часто забарвлені в різні кольори. Залежно від фарбування, поліефірні склопластики пропускають від 32 до 85% світлових променів видимої частини спектру.

Для найкращих зарубіжних листових поліефірних склопластиків $\tau = 0,85$. У наших лабораторіях були отримані зразки листових поліефірних склопластиків $\tau = 0,9$. Якість вітчизняних світлопрозорих поліефірних склопластиків може бути значно підвищена за рахунок використання освітленої смоли.

Полівінілхлорид (ПВХ). Прозорий ПВХ набув великого поширення у США, Японії, Англії, ФРН, Італії та інших країнах. ПВХ – важкозаймистий і самозагасаючий матеріал, і в цьому відношенні значно перевершує оргскло. З нього можна отримувати профільовані листи необмеженої довжини. Плоскі листи ПВХ легко переробляються у великогабаритні об'ємні світлопроникні елементи. Прозорий ПВХ пропускає близько 80% світлових променів. Високі значення τ зберігаються і для матеріалу, забарвленого у світлі тони.

Полівінілхлорид рекомендують застосовувати при температурі від -20 до $+70^{\circ}\text{C}$.

Атмосферна стійкість світлопрозорого ПВХ значно менша, ніж у оргскла і поліефірних склопластиків, бо крім деструкції полімеру під впливом УФ-радіації через температуру відбувається інтенсивне старіння. Для продовження терміну служби в нього вводять різні добавки.

Силікатне скло. Це найпоширеніший світлопрозорий матеріал. У будівництві застосовують такі види скла: листове віконне, вітринне, армоване листове, візерункове, хвилясте, загартоване, гнуте (моліроване), увіолеве, сонцезахисне.

Віконне листове скло – найбільш використовуваний вид скла для заповнення світлопрорізів, виготовлення склопакетів і створення різних світлопрозорих огорож. Воно відрізняється високим коефіцієнтом світлопроникнення і досить широким діапазоном значень лінійних розмірів і товщини листів (табл. 3.4) [5].

Візерункове скло використовують у тих випадках, коли потрібно виключити видимість через світлопрорізи або засклені перегородки.

Візерункове кольорове і прозоре скло має на поверхні рельєфний малюнок, нанесений під час виготовлення витягуванням або прокаткою, має часткову або повну світлопрозорість. Світлопроникнення безбарвного візерункового скла коливається від 40 до 60%, а світлопроникнення кольорового візерункового скла не нормується. До візерункового скла належить скло «мороз» і «метелиця». Морозне скло виготовляється з нешліфованого віконного або вітринного скла шляхом спеціальної обробки, в результаті якої на поверхні утворюється малюнок, що нагадує матове скло. Випускають листи товщиною 4 і 5 мм. Максимальний розмір 1000×1800 мм.

Таблиця 3.4

**Асортимент листового віконного скла, яке виробляється
вітчизняною скляною промисловістю**

Скло	Товщина скла, мм	Допуск за товщ., мм	Ширина і довжина листів, мм		Допуск за лінійним розм., мм	Світлопроникнення, %
			мінімум	максимум		
Віконне	2	0,2	400×500	700×1450	+2 -3	87
	2,5	-	400×500	1000×1600		87
	3	-	400×600	1200×1800		85
	4	0,3	400×600	1500×2500		85
	5	0,4	400×600	1600×2500		84
	6	-	400×600	1600×2500		84
Вітринне: неполіроване	6,5 – 8	±0,5	2350×1950	3000×4000	±5	84
поліроване	6,5 - 7	±0,4	2350×1950	4450×2950	±5	84
Візерункове	3 – 6,5	-	400×400	1200×1800	±3	40 - 60
Армоване: безколірне	5,5	±0,7	300×500	1400×1800	±3	60
	6	±1	300×600	800×1500	±3	-

Декоративне скло «метелиця» виготовляється шляхом формування стрічки на розплаві металу або солей металу і може бути безбарвним, кольоровим або мати поверхневий шар, забарвлений

електрохімічним методом в результаті іонного обміну та дифузії іонів металу в скло. Одна поверхня скла термополірована, інша має неповторюваний візерунок у вигляді хвилястих ділянок, що виступають над поверхнею листа, характер і регулярність якого можна уточнити під час виготовлення. На поверхні скла можна намалювати малюнок з ліній і хвиль різної ширини, крім того, на одну з поверхонь можна нанести металевий дзеркальний шар. Скло з такими покриттями з успіхом можна використовувати для декоративної обробки інтер'єрів. Розміри виготовлених листів скла «метелиця»: 1900×800 мм та 1500×800 мм товщиною 6,5 мм.

Поєднуючи в собі властивості світлорозсіювання та багаті декоративні якості, візерункове та декоративне скло дають змогу створювати виразні інтер'єри.

У тих випадках, коли особливо важливо запобігти випаданню уламків під час руйнування скління, застосовують **армоване скло**.

Армоване листове скло отримують способом горизонтального прокату стрічки скла із запресуванням всередину листа металевої сітки з випаленого дроту діаметром 0,45-0,5 мм. Розміри осередку сітки 12,5×12,5 мм та 25×25 мм. Таке скло широко використовують у промисловому будівництві для скління вікон та ліхтарів. Армоване скло випускається як безбарвним, так і кольоровим. Товщина першого 5,5 мм, світлопроникнення не менш ніж 60%. Для кращого світлорозсіювання зарубіжні фірми випускають армоване безбарвне скло з орнаментною поверхнею. Кольорове армоване скло, забарвлене в масі, випускається товщиною 6 мм з гладкою і візерунковою поверхнею, світлопроникнення не регламентується. Безбарвне армоване скло в основному застосовується у склінні прорізів верхнього світла, кольорове – в огороженнях балконів, для влаштування внутрішніх перегородок.

У армованого скла в порівнянні з іншими видами будівельного скла нижчі міцнісні та світлотехнічні показники. Однак таке скло вогнестійке і є практично безуламковим.

У загартованого скла за рахунок термічної обробки (загартування) більш висока механічна міцність. Під час руйнування загартоване скло утворює уламки з неріжучими краями. Складною промисловістю освоєно випуск плоского загартованого скла розміром до 3000×1500 мм.

Сонцезахисне скло призначене для зниження рівня сонячної радіації, що проникає у приміщення. До сонцезахисного скла відносять теплопоглинальне, контрастне скло з аерозольним покриттям, світлорозсіювальне та ізолююче.

Теплопоглинальне скло знижує інтенсивність сонячної радіації, що проникає в приміщення, за рахунок поглинання оксидами заліза довгохвильових ІЧ-променів, що володіють найбільшою енергією. Присутність 0,5 – 0,8% оксидів заліза у склі надають йому синьо-зеленого або сіруватого відтінку. Коефіцієнт світлопроникнення перебуває в межах 0,7 – 0,75; коефіцієнт поглинання в інфрачервоній ділянці спектра $\tau_{\text{іч}} = 0,75 - 0,65$; коефіцієнт пропускання інфрачервоних променів $\tau_{\text{іч}} = 0,25 - 0,35$.

Акумуляована в теплопоглинальному склі промениста енергія перетворюється на тепло, у зв'язку з чим це скло сильно нагрівається і піддається великим температурним деформаціям. З огляду на це необхідно призначити проміжки між палітуркою і склом. У подвійному склінні теплопоглинальні скла бажано розташовувати зовні.

Склу з аерозольним покриттям сонцезахисні властивості надають нанесені на його поверхню плівки з оксидів деяких металів (кобальту, олова, заліза, титану, хрому та ін.) товщиною в десятки долі мікрона. Покриття наносять з одного або двох боків скла. Таке скло зменшує теплонадходження від сонячної радіації з шибкою не менш ніж на 50%. Покриття змінює вибіркове та загальне світлопроникнення скла, а також підвищує коефіцієнт відбиття.

Сонцезахисне скло широко застосовують у США, Японії, Бельгії, Франції та інших країнах.

Світлорозсіювальне скло складається з герметично з'єднаних між собою двох листових стекол, між якими розміщена прокладка товщиною 1 – 3 мм зі скловолкна. Світлорозсіювальне скло поглинає до 95% теплових променів, згладжує різкі контрасти в освітленості, рівномірно розподіляючи світло завширшки та за глибиною. Поблизу світлопроріза освітленість крізь таке скло приблизно в 3 – 4 рази менша, на відстані 1,7 м вона приблизно однакова, а на великих відстанях більша, ніж крізь звичайне скло.

Склопакети. Склопакет – це є виріб, виконаний з двох або більше стекол, з'єднаних між собою так, що між ними утворюються замкнуті повітряні прошарки.

Застосування пакетного скління зменшує витрату матеріалів на виготовлення переплету до 40%. Герметично замкнутий повітряний прошарок оберігає внутрішні поверхні скла від забруднення та утворення конденсату, що покращує світлотехнічні показники скління, а також знижує витрати на їхню експлуатацію.

Під час пакетного скління звукоізоляційні показники вікна порівняно зі склінням у подвійних палітурках збільшуються в 1,5 рази, а теплоізоляційні показники – на 10-15%, підвищується здатність скла, що несе навантаження, приблизно в 1,4 рази, зменшується також бій скла.

За способом виготовлення склопакети поділяють на клеєні, паяні та зварні.

Тришарові склопакети «супертрівер» (Франція) складаються з трьох стекол з двома тонкими повітряними прошарками завтовшки 1,5-2 мм. У вітчизняних зразках скло приклеюється до рамки з алюмінієвого швелера, товщина повітряного прошарку 15-20 мм.

Скляні блоки. Вони являють собою вироби з герметично закритою порожниною, утвореною в результаті зварювання двох відпресованих коробок (напівблоків) з наступним віджиманням у спеціальних печах (лерах).

Класифікація блоків:

- за формою – квадратні, прямокутні, кутові та круглі;
- за світлотехнічними властивостями – світлорозсіювальні, світлопрозорі, світлонаправляючі;
- за конструктивним рішенням – однокамерні та двокамерні.

Розміри блоків: 244 × 244 × 98; 294 × 294 × 98; 194 × 94 × 98; 194 × 194 × 98; 194 × 194 × 60.

Класифікація різних видів скла та виробів з нього представлена у табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Класифікація архітектурно-будівельного скла

№ п/п	Скло та вироби із нього	Асортимент	Сфера застосування
1	2	3	4
1	Листове будівельне і декоративне	Віконне і вітринне неpolіроване	Засклення вікон, дверей, вітрин, ліхтарів верхнього світла
		Вітринне polіроване	Засклення вітрин, вікон, дверей, виготовлення дзеркал, меблів

Продовження табл. 3.5

1	2	3	4
1	Листове будівельне і декоративне	Візерункове кольорове і безкольорове, «мороз» і «метелиця»	Засклення світлових прорізів у стінах і покриттях, улаштування внутрішніх перегородок, напівпрозорих екранів і світлопрозорих огорожень
		Армоване кольорове і безкольорове	Засклення прорізів стін і ліхтарів верхнього світла, улаштування внутрішніх перегородок і огорожень балконів
2	Листове зі спеціальними властивостями	Пропускає ультрафіолетові промені (увіолеве)	Скління віконних отворів шкіл, дитячих та лікувальних установ, спортивних та оздоровчих будівель
		Поглинає ультрафіолетові промені	Скління книгосховищ, архівів, музеїв, виставкових залів, бібліотек тощо
		З напівпрозорими дзеркальними покриттями	Скління, що унеможливорює односторонній перегляд приміщень, скління внутрішніх перегородок
		Теплопоглинальне, тепловідбивне	Скління отворів будівель, що потребують сонцезахисту
		Теплозахисне	Зниження тепловтрат через скління в зимовий час
		Зміцнене гартуванням або електрохімічною обробкою	Скління навчально-виховних, спортивних видовищних, торгових будівель, улаштування внутрішніх перегородок, скляні навісні огороження різних будівель
3	Кольорове художнє скло	Вітражне, пофарбоване в масі або накладне, пофарбоване електрохімічним способом. Кольорове скло «мороз», «метелиця»	Виготовлення художніх вітражів, напівпрозорих екранів, декорування стін, стелі, перегородок. Декоративне скління прорізів, перегородок, екранів, виготовлення художніх вітражів
		Скляна мозаїка, смальти	Зовнішнє та внутрішнє оздоблення будівель, виготовлення художніх панно та картин
4	Облицювальне скло	Марблінг (прозоре, пофарбоване в масі потовщене листове скло чорного, світло-кремового і молочно-білого кольору з полірованою або візерунковою поверхнею)	Облицювання фасадів та поверхонь інтер'єрів

Закінчення табл. 3.5

1	2	3	4
4	Облицювальне скло	Пресовані облицювальні плити, пофарбовані в масі	Облицювання фасадів та поверхонь інтер'єрів
		Емальоване скло (стемаліт)	Облицювання фасадів, внутрішнє облицювання деяких видів приміщень
		Килимово-мозаїкові плити	Зовнішнє та внутрішнє облицювання
		Триплекс кольоровий	Зовнішнє та внутрішнє облицювання будівель
		Склоармур	Внутрішнє облицювання стін
		Шлакоситалові листи та плити	Зовнішнє та внутрішнє облицювання стін, влаштування підлог
5	Будівельні вироби зі скла	Скляні пустотілі блоки	Заповнення світлопрорізів у стінах, перегородках, покриттях. Великорозмірні склозалізобетонні панелі для стін і покриттів
		Призми, лінзи, плити	Склозалізобетонні панелі стін, покриттів та перекриттів
		Профільне скло: кольорове та безбарвне; армоване та неармоване: коробчастого, швелерного та ребристого перерізу	Влаштування стін неопалюваних будівель, заповнення віконних отворів, влаштування внутрішніх перегородок, ліхтарів верхнього світла, козирків-навісів, огорожень балконів, лоджій тощо
		Склопакети: зі звичайного скла та скла зі спеціальним склом	Заповнення світлопрорізів стін та покриттів
		Скляні загартовані дверні полотна	Обладнання входів та інтер'єрів громадських будівель

Деякі світлопрозорі матеріали, пропускаючи світловий потік, здатні змінити його напрямок, тобто заломити. Такими матеріалами можуть бути спеціальні рифлені призматичні стекла та пустотілі скляні блоки. Це має велике практичне значення. Так, наприклад, під час освітлення підвалу через прямокутний отвір у разі звичайного скління достатній рівень освітленості спостерігається тільки в привіконній ділянці приміщення. Застосування призматичного скла дає змогу значно розширити зону достатньої освітленості, що підтверджується схемами на рис. 3.15 і 3.16. Інший приклад, застосування склоблоків із призматичним рифленням дає змогу збільшити освітленість на стелі приміщення. Оскільки

поверхня стелі має високий коефіцієнт відбиття, то загальна освітленість у приміщенні буде значно вищою (рис. 3.17 і 3.18).

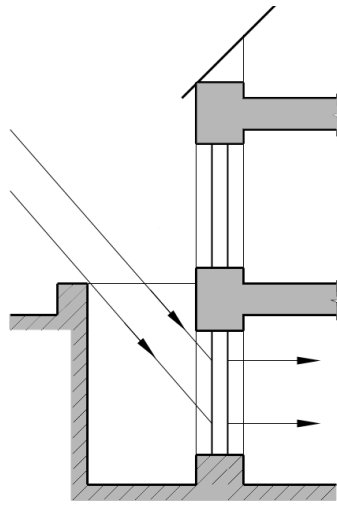
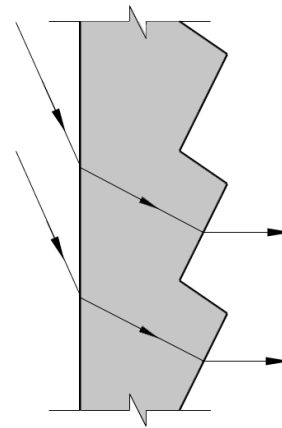
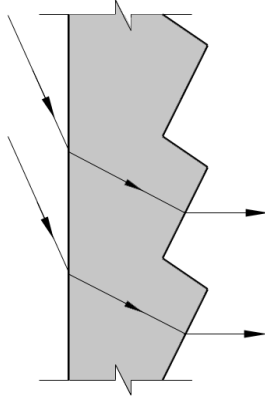


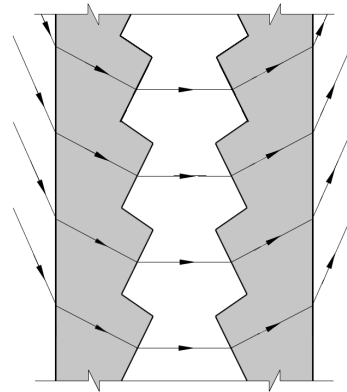
Рис. 3.15. Застосування призматичного скла для освітлення підвалу



3.16. Схема заломлення променів призматичним склом



3.17. Схема заломлення променів склоблоками із призматичним рифленням



3.18. Застосування склоблоків для збільшення освітленості на стелі приміщення

Полікарбонатні (пк) листи і плити. За зовнішнім виглядом монолітний полікарбонат схожий на акрилове скло, однак, за механічними властивостями – немає аналогів серед застосовуваних полімерних матеріалів. Цей матеріал **поєднує в собі високу термостійкість, унікальну ударостійкість і, одночасно з цим, – високу прозорість.**

У зв'язку з цим полікарбонат (рис. 3.19) використовується головним чином як захисне скління (під час скління житлових і промислових будівель, будівництва спортивних споруд, об'єктів сільськогосподарського призначення, лікарень, магазинів, критих автостоянок, виготовлення захисних екранів, щитів і огорожень).

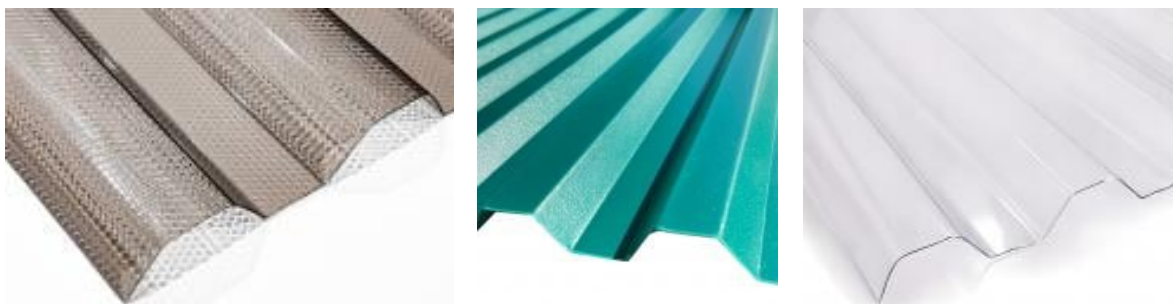


Рис. 3.19. Види полікарбонатних листів

Його використовують і для монтажу зенітних ліхтарів, веранд, зимових садів, виготовлення освітлювального обладнання, пристроїв шумозахисних бар'єрів на автострадах, вивісок і знаків.

Монолітний полікарбонат є ідеальним матеріалом для елементів криволінійної форми, які отримують шляхом гарячого формування. Це різні куполи з круглою, квадратною або прямокутною підставою, протяжні модульні світлові ліхтарі з необмеженою довжиною і окремі секції величезних куполів, що досягають 8–10 м в діаметрі.

На думку фахівців, монолітний полікарбонат – унікальний матеріал, однак, у горизонтальних перекриттях сьогодні він все-таки використовується рідко. У першу чергу це пов'язано з його вартістю, що є значно вищою за вартість стільникового полікарбонату. До того ж, цей матеріал не забезпечує такої теплоізоляції, як стільниковий (сотовий).

Стільниковий полікарбонат (іноді його ще називають комірчастим) широко застосовується в будівництві, являє собою полімер, профільований у дво-, тришарові або більше панелі з внутрішніми поздовжніми ребрами жорсткості. Спочатку листовий матеріал незвичайного перетину (багатоперегородчастий) був розроблений для стійких до градобоя і снігових навантажень покрівельних конструкцій – міцних, прозорих і одночасно з цим легких. Сьогодні стільниковий полікарбонат служить не тільки для покрівельного і вертикального скління будівель, парників, зимових садів і вітрин, але і для виготовлення різного роду захисних та декоративних, плоских і профільних перегородок, а також різних елементів із внутрішньою підсвіткою.

Різноманітність декорацій інтер'єрів може бути забезпечена не тільки фантазією дизайнера, але і правильно підібраним кольором матеріалу (рис. 3.20).



Рис. 3.20. Листи стільникового полікарбонату у різних кольорах

Полікарбонат за європейською класифікацією належить до класу В1 – важкозаймистих матеріалів. Панелі мають високу стійкість до граду, перепадів температур в діапазоні від -40 до $+120$ °C і впливу сонячної радіації. Панелі ряду виробників зокрема, Macrolux Longlife (Швейцарія) і Makrolon компанії Makroform (Німеччина), для захисту від ультрафіолетового випромінювання покриті невіддільним від них спеціальним захисним шаром. До того ж, листи Makrolon на внутрішній стороні мають покриття «no drop», що запобігає утворенню крапель води на внутрішній стороні панелі. Волога в цьому випадку рівномірно розподіляється по поверхні листа тонким шаром, що не порушує світлопроникну здатність полікарбонатного матеріалу. Гарантований термін служби 10–12 років.

Основні переваги застосування полікарбонатних листів:

- ✓ захист від ультрафіолетового (УФ) випромінювання; аркуші та плити в результаті природних факторів (сонце, дощ, град, мороз) протягом 10 років не змінюють своїх характеристик;
- ✓ пожежостійкість (за європейською класифікацією вони належать до класу В1 – важкозаймисті самозатухаючі матеріали; під час горіння матеріали не виділяють токсичних газів);
- ✓ світлопроникність досягає 90% і обумовлена товщиною листа;
- ✓ полікарбонат найбільш міцний серед усіх відомих полімерів, за товщини від 8 мм (монолітний) він куленепробивний;
- ✓ маса 1 м² сотового полікарбонату товщиною 4 мм становить лише 0,8 кг, скло такої ж товщини важить 10 кг;

✓ полікарбонат характеризується високою хімічною стійкістю до більшості агресивних речовин. Він стійкий до дії кислотних дощів та вихлопних газів автомобілів;

✓ стійкість до температурних змін (листи з полікарбонату можна застосувати в температурному діапазоні: $-40^{\circ}\text{C} \dots +120^{\circ}\text{C}$);

✓ полікарбонат стійкий до вологи (водопоглинання складає лише 0,15%, але існує небезпека попадання вологи в канали, що може призвести до зниження прозорості, а взимку до розтріскування листа. Для запобігання цих явищ використовується самоклеюча стрічка.

Застосування сотового полікарбонату:

✓ улаштування прозорих покрівель промислових споруд, переходів, торгових центрів, ринків, теплиць, басейнів;

✓ улаштування покрівель, у тому числі і розсувних, спортивних.

Застосування монолітного полікарбонату:

✓ улаштування куполів і склепінь у місцях великого скупчення людей. Як приклад можна навести Майдан Незалежності і Севастопольську площу у Києві.

Самовідновлюване скло. Ізраїльські вчені випадково винайшли самовідновлюване скло. Група вчених-матеріалознавців з Тель-Авівського університету та Університету Бен-Гуріона в Негеві, спільно з колегою з Каліфорнійського технологічного інституту, виявили дивовижну властивість короткого ароматичного трипептиду YYY (рис. 3.21).

Змішавши цей пептид із водою, вони отримали скло, що самозбирається і самовідновлюється. Це відкриття, опубліковане в журналі *Nature Communications*, сталося випадково, коли дослідники вивчали властивості інших білків.

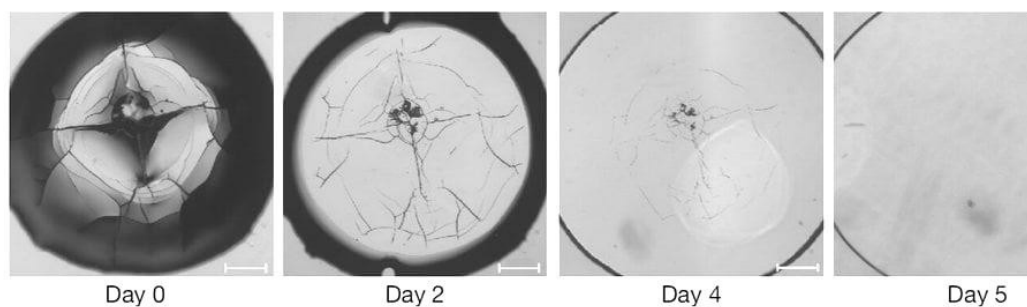


Рис. 3.21. Етапи самовідновлення пептидного скла

Дослідивши властивості нового матеріалу, вчені виявили, що він не тільки самовідновлюється, а й має високу міцність і прозорість, порівняно з традиційним склом. Новий матеріал також виявився клейким і здатним створювати гідрофільні поверхні. Його можна використовувати для виготовлення скляних панелей і покриттів, а також для виробництва оптичних лінз з високим рівнем збільшення.

Дослідницька група припускає, що подальші випробування можуть призвести до широкого спектру застосувань нового типу скла. Важливою перевагою нового матеріалу є те, що його виробництво потребує значно менше енергії порівняно з традиційними методами виготовлення скла.

Запитання для самоконтролю до 3 розділу

1. Навести складові оптичного спектру променистої енергії і як їх сприймає людське око.
2. Навести чотири основні світлотехнічні величини та їхні одиниці.
3. Що таке світловий потік і чим він відрізняється від потоку випромінювання?
4. Дайте визначення сили світла та її одиниці.
5. Що таке тілесний кут і в яких одиницях він вимірюється?
6. Чим відрізняються освітленість від яскравості?
7. За яким критерієм оцінюється природне освітлення у приміщеннях і як він визначається?
8. Чому природне освітлення оцінюється відносним критерієм?
9. Чим відрізняється геометричний коефіцієнт природної освітленості (ГКПО) від його фізичної величини?
10. Від яких параметрів залежить величина КПО у загальному плані?
11. Від яких параметрів залежить геометричний КПО згідно із законом проєкції тілесного кута?
12. Назвіть основний висновок згідно із законом світлотехнічної подоби.
13. Який світлопроріз дасть більшу освітленість: вертикально розташований або під кутом 30° від горизонтальної площині (у разі рівної площини)?
14. Як інтерпретується закон збереження енергії під час взаємодії світла з тілом?
15. Що собою представляє коефіцієнт світловідбиття?

Розділ 4. СВІТЛОВИЙ КЛІМАТ

Як ми бачили в попередніх розділах, внутрішня і зовнішня освітленості пов'язані між собою. Саме зовнішня освітленість формує відповідний внутрішній режим освітленості, і саме від нього залежить комфорт світлового середовища, параметри якого впливають на стан людини. Природне світло, яке сформовано зовні, через прозорі огорожувальні конструкції проникає у середину приміщення, взаємодіє з предметами і внутрішніми поверхнями приміщень і будівель, формує відповідний світловий режим.

Природне світло є не тільки важливою умовою виконання зорових задач, просторового орієнтування людини, але й біологічним фактором розвитку організму людини загалом. Освітлення впливає на циркадні цикли як людини, так і багатьох інших організмів. День і ніч, світло і темрява визначають біологічний ритм – бадьорість та сон. За їхню зміну відповідає низка гормонів: кортизол відповідає за активність; мелатонін відповідає за розслаблення і сон; дофамін нормалізує загальний психічний стан. Еволюційно склалося так, що циркадні цикли залежать від кількості світла. Настає вечір, стає темніше, людина розслабляється і готується відійти до сну. Знижується активність всіх психічних та фізіологічних процесів, різко падає працездатність. А ранкове сонце викликає хвилю активності, людина зі свіжими силами починає новий день. Порушення біологічних циклів відбивається на стані людини та її здоров'ї.

Атмосфера Землі, яка формує зовнішню освітленість, є динамічною оболонкою природного середовища. Її стан визначається хімічним складом, безліччю фізичних характеристик та процесів, взаємодією із зовнішніми та внутрішніми факторами, а також впливом наслідків людської діяльності. Це дуже складні процеси, і їх вивчають і досліджують фахівці багатьох спеціальностей.

Вивчення зовнішнього світлового режиму базується на двох принципово важливих підходах. З одного боку, широко використовуються дані спостережень та вимірювань, на основі яких встановлюються закономірності формування та розвитку атмосферних процесів, вивчаються склад, властивості та будова атмосфери і їхній вплив на освітленість.

Інший підхід пов'язаний з розвитком теоретичних моделей атмосферних явищ і процесів, які впливають на зовнішню освітленість, на основі широкого використання різноподібних математичних методів та сучасної обчислювальної техніки.

Природна освітленість, як ми вже знаємо, є одним із найважливіших елементів клімату, а її характеристики широко використовують у практичній роботі (сільське господарство, будівництво, архітектура), а також у дослідницькій діяльності.

З практичних міркувань багатогранні характеристики і процеси, які впливають на природну освітленість, узагальнюють і спрощують для того, щоб розробити інженерні методи розрахунків і рекомендації.

Світловим кліматом називається сукупність даних про природні ресурси світлової енергії в тому чи іншому районі будівництва за період не менше десяти років.

Чому різні регіони мають різний світловий клімат? Щоб відповісти на це запитання, розглянемо спочатку гіпотетичну (теоретичну, спрощену) модель Землі, на яку паралельним потоком падають світлові промені. На екваторі, якщо брати, наприклад, полуденні години, сонячні промені падають перпендикулярно до землі, і освітленість тут максимальна, бо вона прямопропорційна косинусу кута між променем і нормаллю до поверхні, цей кут дорівнює нулю, а косинус нуля дорівнює одиниці, тобто максимальному значенню.

Під час переміщення до полюсів земної кулі цей кут збільшується і освітленість стає все меншою. На північному полюсі цей кут буде максимальним (90°), косинус 90° дорівнює нулю, тобто в цьому місці освітленість буде мінімальною. Отже, певній широті місцевості відповідає свій рівень освітленості.

З іншого боку, подивимось, яку відстань долають промені, проходячи через атмосферу, від екватора до північного полюса. На екваторі сонячний промінь минає мінімальну відстань в атмосфері A_0 і, відповідно, буде мінімальне поглинання (рис. 4.1), тобто максимальна кількість променів буде доходити до земної поверхні. До полюсів відстань проходження через атмосферу A_3 збільшується, і до поверхні світловий потік доходить сильно ослабленим. Тому поруч із кутом падіння діє чинник ослаблення світла атмосферою залежно від широти місцевості. Це чинники загального плану.

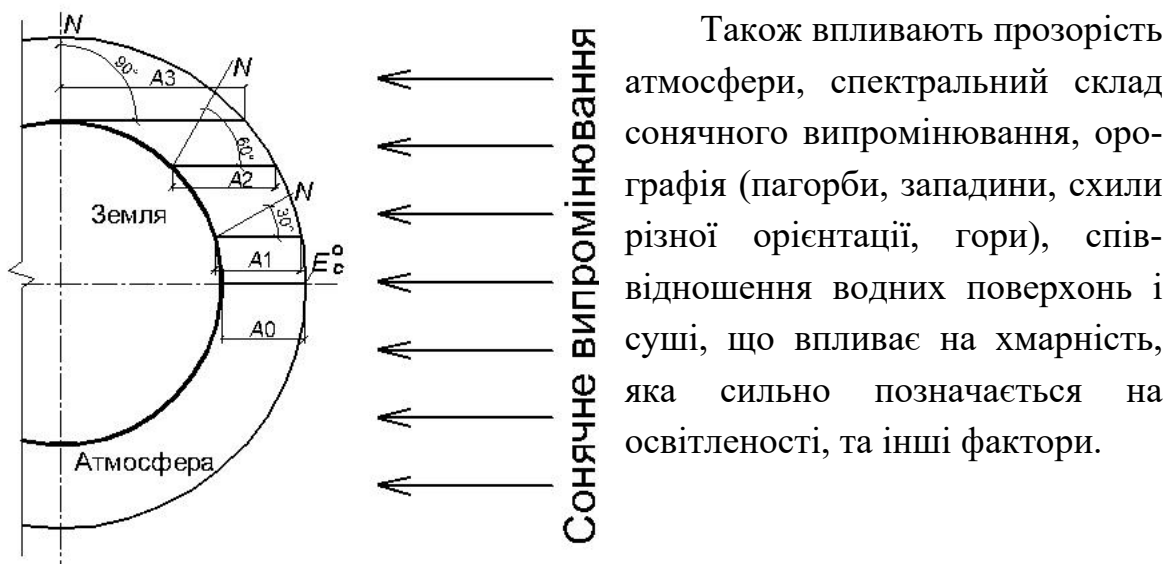


Рис. 4.1. Схема розподілу освітленості по поверхні Землі

4.1. Основні характеристики світлового клімату

Як бачимо, в результаті впливу численних факторів кожен регіон має свої природні світлові ресурси, як за кількісними, так і якісними характеристиками.

Світловий клімат включає такі характеристики:

- інтенсивність природної світлової енергії;
- співвідношення між прямою, розсіяною та відбитою складовими;
- яскравість небозводу;
- розподіл яскравості за різним його станом;
- спектральний склад природного освітлення;
- динаміка освітлення.

Сонячне випромінювання, що проникає через атмосферу до Землі, зазнає змін внаслідок його розсіювання, поглинання атмосферою та відбиття від земної поверхні і об'єктів, які перебувають на поверхні. Тому основними складовими денного освітлення під відкритим небозводом є:

- пряме сонячне світло, E_c ;
- розсіяне (дифузне) світло від неба E_n ;
- відбите світло від землі та наземних об'єктів E_z .

Пряме сонячне світло являє собою світловий потік, який йде безпосередньо від диску Сонця, що належить до жовтих зірок-карликів, і віддаленого в середньому від Землі на $149,6 \cdot 10^6$ км. Ця відстань

приймається за одиницю (астрономічна одиниця). Радіус сонячної кулі становить 696000 км, що в 109,1 рази більше за середній радіус Землі. Не дивлячись на такі колосальні розміри, сонячний диск на небосхилі невеликий, і його видимий, кутовий діаметр становить в середньому $0^{\circ}31'59''$, а тілесний кут дорівнює $1,6989 \cdot 10^{-5}$ стерadian. Основними характеристиками, які визначають випромінювальну здатність Сонця, служать сонячні постійні – світлова та теплова.

Світлова сонячна стала E_c^0 являє собою освітленість майданчика, розташованого перпендикулярно сонячним променям і віддаленого від Сонця на відстань, що дорівнює астрономічній одиниці (тобто майданчик розташований на зовнішній межі атмосфери Землі). Наближене значення світлової сонячної постійної зовнішньої межі атмосфери становить 1,338 клк. Відповідна цій освітленості середня яскравість Сонця, як зазначалося, $L_c = 2 \cdot 10^9$ кд/м².

Пряма освітленість на горизонтальній поверхні Землі E_c залежить від кутової висоти стояння Сонця над горизонтом h_0 , світлової сонячної сталої E_c^0 , прозорості повітря p (для великих міст із забрудненою атмосферою $p = 0,6$; для сільських регіонів $p = 0,7$; для гірських областей $p = 0,8$) та повітряної маси M , яку необхідно подолати сонячним променям під час проходження через атмосферу в залежності від кутової висоти Сонця h_0 (рис. 4.2).

Під час проходження через атмосферу прямі промені Сонця розсіюються і доходять до поверхні Землі як дифузна складова неба. Розсіювання в атмосфері буває двох видів. Молекулярне – розсіювання частинками, розміри яких значно менші за довжину хвилі падаючого світла. Це розсіювання відбувається у короткохвильовій частині спектра ($\lambda = 475 - 490$ нм), що відповідає синьому кольору. Аерозольне – розсіювання частинками, розміри яких більші за довжину хвилі падаючого світла. Спектральний склад цього розсіювання зміщується в довгохвильову частину і має переважно нейтральні кольори (хмари, серпанок).

Розсіяна зовнішня освітленість від дифузного

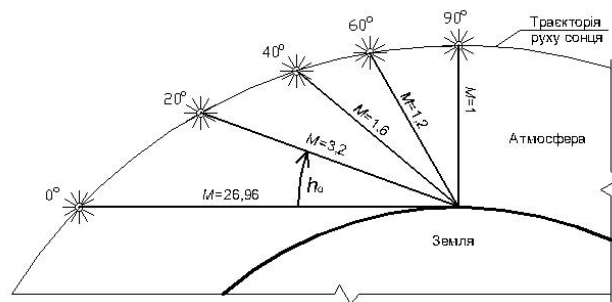


Рис. 4.2. Схема визначення повітряної маси M

неба залежить в основному від висоти стояння Сонця h_0 та характеру хмарності. Суттєвий вплив на освітленість мають також прозорість повітря і стан земного покриття.

Пряме світло від сонця і дифузне світло від неба, яке дійшло до поверхні землі, відбивається від неї і потрапляє на поверхню стелі приміщення, що має високий коефіцієнт відбиття. Потім, відбиваючись від стелі, воно надходить на робочу поверхню, створюючи додатковий

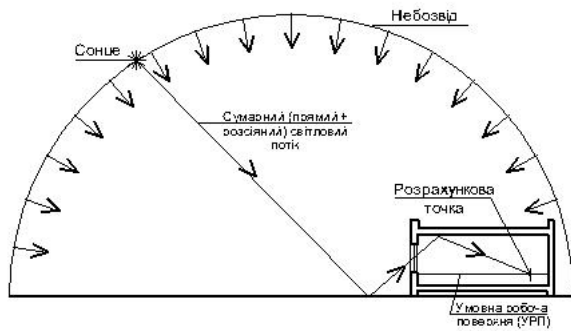


Рис. 4.3. Схема формування зовнішньої відбитої складової природного освітлення в приміщенні

світловий потік. Вплив відбитого світла в хмарну погоду виявляється більшою мірою, ніж у ясну, тому що відбувається багаторазове відбиття від землі і хмар, збільшуючи, таким чином, загальну величину світлового потоку (рис. 4.3).

Головним фактором, що визначає величину відбитого світла, є коефіцієнт відбиття світла від поверхні Землі, що підстилає ρ_z . Деякі значення коефіцієнтів відбиття від природних поверхонь представлені нижче:

- сніг, який тане – 0,8;
- сніг свіжий – 0,9;
- море – 0,035;
- луг зелений соковитий – 0,064;
- пісок звичайний – 0,24;
- шар хмар – 0,8.

Відбита складова E_z прямопропорційна сумарній зовнішній освітленості (пряма + дифузна) і коефіцієнту відбиття земної поверхні ρ_z .

4.2. Світлокліматичне районування

Облік світлових ресурсів держави є важливою складовою у нормуванні природного освітлення в будинках та сприяє підвищенню якості світлового середовища у приміщеннях та скороченню енерговитрат. Облік світлових ресурсів можна отримати двома шляхами. Перший – розрахунковий. Існує набір взаємопов'язаних формул, за якими достатньо точно можна підрахувати величину природної

освітленості. Другий – експериментальний. На мережі гідрометеорологічних станцій за допомогою люксметрів та інших приладів вимірюються показники природної освітленості, що робиться у багатьох державах, але не в Україні. У нашій державі на метеостанціях проводяться систематичні спостереження за сонячною радіацією, яка через так званий світловий еквівалент перераховується в показники природного освітлення. Це робиться для економії ресурсів.

Світловий еквівалент є відношенням освітленості в кілолюксах до одночасної інтенсивності сонячної радіації (у кВт/м²), або світловий еквівалент виражає ту освітленість, яка відповідає 1 Вт/м² сонячної радіації. Саме тому природна освітленість визначається, виходячи з умов її пропорційності густині потоку короткохвильової сонячної радіації. Але, як нам вже відомо, природне освітлення і сонячна радіація різняться за спектральним складом, тому бажано вимірювати все-таки природню освітленість.

Так чи інакше ми отримуємо розподіл природної освітленості за місяцями року. Приклад такого розподілу для Києва представлено на рис. 4.4.

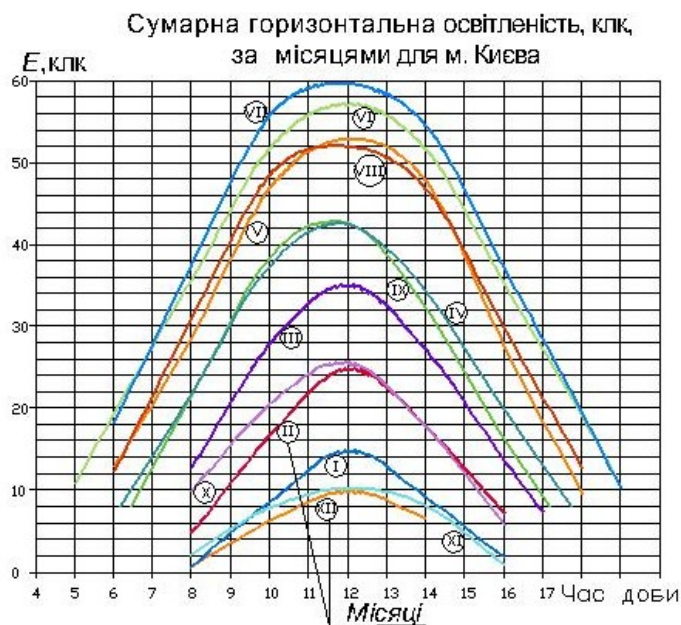


Рис. 4.4. Приклад сумарної освітленості за місяцями для Києва

На основі кліматичних даних гідрометцентрів можна побудувати карту світлового клімату тієї чи іншої держави. З цією метою для найбільших міст і промислових районів визначається **критерій світлокліматичного районування**, який являє собою середню за рік кількість зовнішнього дифузного освітлення (середня освітленість

$E_{\text{ср}}$, клк) на горизонтальній поверхні протягом однієї години за період використання в приміщенні природного світла. Цей критерій прямо пропорційний різниці даної E (вимірної) і критичної $E_{\text{кр}}$ освітленості і обернено пропорційний часу використання природної освітленості T , год, який визначається різницею часу наступу критичної освітленості $E_{\text{р}}$ вранці і $E_{\text{в}}$ ввечері.

Ця освітленість – виміряна або розрахована у поточний момент часу, лк. За даними цієї освітленості будуються графіки її зміни впродовж доби (рис. 4.4).

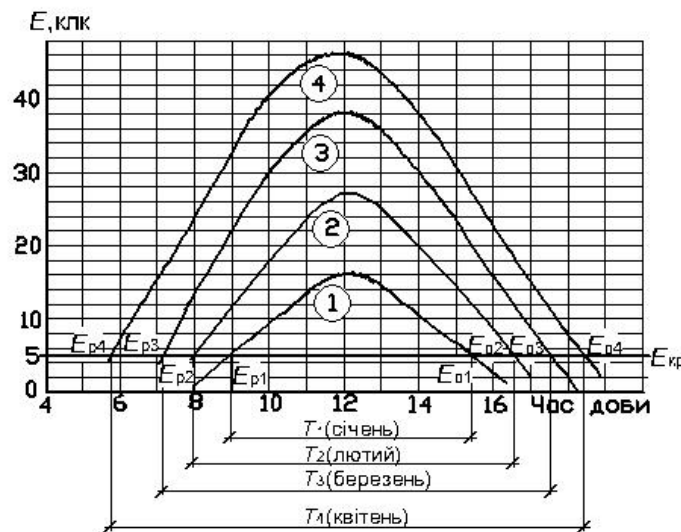


Рис. 4.5. Визначення часу використання природного освітлення

Критична зовнішня освітленість – це те значення природної освітленості, нижче якої неможливо працювати без додаткового штучного освітлення, лк. Це значення пов'язане з нормованими значеннями природної освітленості (КПО) і штучної освітленості, і від цих параметрів критичну освітленість можна розрахувати. Але звичайно її значення приймають залежно від розряду зорових робіт: 2,5; 5; 7,5; 10 клк.

Час використання природного освітлення визначається у такий спосіб. На криві розподілу зовнішньої освітленості, які побудовані для кожного місяця (рис. 4.5), наноситься горизонталь, відповідно до значення критичної освітленості (наприклад, 5000 лк). За точками перетину цієї горизонталі з кривими в ранкові та вечірні години можна визначити для кожного місяця року тривалість використання природного освітлення.

Це дуже важлива величина, оскільки вона впливає на енергетичний баланс будівлі. У разі раціонального вибору розмірів світлопрорізів та

збільшення використання природного світла на одну годину протягом доби держава економить 3 млн кВт/год електроенергії на рік лише у промислових будівлях.

Розрахунки критерія світлокліматичного районування проводяться на 15 число кожного місяця для кожної години. Потім визначається середнє його значення для кожного регіону України. Далі обирається базовий регіон, по відношенню до якого підраховується коефіцієнт світлового клімату m , за допомогою якого формуються регіони держави.

За цією методикою була розроблена перша світлокліматична карта України [6]. За базовий пункт було обрано найбільш північну точку України – смт Покошичі Чернігівської області.

4.3. Розподіл яскравості по небозводу

Що таке небесне склепіння? У Стародавній Греції та Стародавньому Римі видимий небесний купол вважали твердою оболонкою, що накриває Землю зверху. За Клавдієм Птолемеєм (II ст.н.е.), небозвід являє собою сім кристалічних сфер, по яким обертаються світила: Місяць, Меркурій, Венера, Сонце, Марс, Юпітер та Сатурн. Пізніше, у середні віки, вчені-схоласти сперечалися, з чого «зроблено» небозвід: зі скла, кришталю або дорогоцінного каміння синього кольору, наприклад, сапфіра?

Правильне пояснення того, що ж являє собою небесне склепіння, дав у XV ст. Леонардо да Вінчі, який стверджував, що синій колір неба ми бачимо завдяки повітрю, яке розташовано між Землею і космосом. Таким чином, вся товща атмосфери, освітлена сонячними променями, і створює враження світлого купола небозводу. Однак і в часи Леонардо да Вінчі, і навіть через століття вченим, таким як Джордано Бруно, Джуліо Ваніні, все ще доводилося боротися з догматами церкви і релігійними уявленнями про Всесвіт, розбиваючи уявлення про небо як про «кристал», тобто, щось тверде. Про це свідчать вірші Джордано Бруно:

Кристал небес мені не перешкода більше,
Зруйнувавши його, підіймусь я в безкінечність.

Навколишнє повітря – абсолютно безбарвний газ. Навіть не дуже чисте повітря приземного шару атмосфери в містах виявляється надзвичайно прозорим у порівнянні з прозорою рідиною або з

найпрозорішим оптичним склом. Якщо дивитися через шар повітря завтовшки кілька метрів, то ми не бачимо його зовсім. Якщо товщина шару досягає кількох кілометрів, ми бачимо повітряний серпанок, який затягує видалені предмети. Уся атмосфера загалом створює світлий блакитний купол небосхилу. І відбувається це завдяки її величезній товщі.

В атмосфері завжди відбувається одночасно як молекулярне, так і аерозольне розсіювання. Аерозольне розсіювання, будучи характером нейтральним, як зазначалося, накладається на молекулярне і зменшує ступінь синяви неба, одночасно збільшуючи його яскравість. Колір піднебіння та його яскравість у будь-якому напрямку визначаються: колір – спектральним складом, яскравість – загальною інтенсивністю розсіяного світла, що йде з цього напрямку і створюваного всіма молекулами і великими частками, які «сидять» на промені зору у цьому напрямку.

Найбільшою синьовою ясне небо характеризується в навколозенітній області, де у розсіюванні бере участь мінімальна товща повітря, і, крім того, у цьому напрямку повітря чистіше. Тому розсіювання найближче до молекулярного. З віддаленням від зеніту збільшується товща повітря, що бере участь у розсіянні, відповідно збільшується кількість великих частинок на промені зору, і розсіювання стає дедалі інтенсивнішим. А у разі розсіювання у великій товщі повітря зростає роль багаторазового розсіювання, яке за характером, як і аерозольне, близьке до нейтрального. Все це призводить до того, що у разі збільшення яскравості, блакитність неба зменшується і на горизонті небо стає зовсім білястим. Всі, мабуть, помічали, що зі збільшенням замутинення атмосфери блакитність піднебіння зменшується в усіх напрямках, а яскравість збільшується: це аерозольне розсіювання «з'їдає» синяву неба, роблячи його білим і більш яскравим.

Колір неба та його яскравість змінюються під час збільшення висоти над земною поверхнею. Чим вище ми піднімаємося, тим тонший шар повітря над точкою спостереження, тим небо більш синє і тим менша його яскравість. Вже на вершинах гір заввишки 4 – 5 км альпіністи милуються синьо-блакитним небом. Пасажири потужних літаків, що здійснюють рейси на висоті 10 км, бачать небо насиченого синього кольору, стратонавти, що піднімаються на стратостатах на висоту понад 20 км, спостерігають темно-синій колір неба. На висотах польоту космічних кораблів (понад 100 км) небо виглядає чорним, тобто, з нульовою яскравістю.

Ми вже знаємо, що, відповідно до закону проєкції тілесного кута, освітленість у деякій точці приміщення прямопропорційна не тільки проєкції тілесного кута світлопрорізу, а й яскравості видимої з цієї точки ділянки небозводу. Під час розрахунку геометричного КПО було зроблено припущення, що яскравість у всіх точках небозводу однакова. Однак це далеко не так. Розподіл яскравості по небозводу дуже сильно впливає на формування природного освітлення у приміщеннях, його кількісні і якісні характеристики. Знання розподілу яскравості по небозводу сприяє підвищенню точності визначення освітленості в приміщенні, оптимальної орієнтації будівлі по сторонах горизонту і визначенню площі світлопрорізів. Від розподілу яскравості по небозводу залежить також і величина зовнішньої освітленості. За характером хмарності розрізняють три стани небозводу: ясний – хмарність складає 0 – 2 бали, похмурий – хмарність 8 – 10 балів, і проміжний – хмарність 3 – 7 балів.

Міжнародною комісією з освітлення (МКО) спочатку було стандартизовано два стани небозводу: похмурий і ясний.

Основним припущенням у розрахунках КПО, прийнятим нині нормами більшості країн, є **похмурий небозвід** за хмарності 8 – 10 балів. Розподіл яскравості по такому небу базується на основі досліджень, проведених англійськими вченими Перрі Муном та Доміною Спенсер шляхом сканованого виміру яскравості небозводу [7]. Статистична обробка численних даних експерименту виявила досить-таки просту залежність відношення яскравості цієї ділянки небозводу L_θ , видимого з цієї точки під кутом θ , до яскравості неба в зеніті L_z від величини кутової висоти центру цієї ділянки θ . Згідно з цією залежністю, яскравість похмурого небозводу у зеніті втричі більша, ніж у горизонту (рис. 4.6). Отже, максимальна яскравість похмурого неба спостерігається в зеніті, мінімальна – у горизонту. З погляду вищеописаних фізичних явищ це цілком зрозуміло, бо тут має місце лише аерозольне

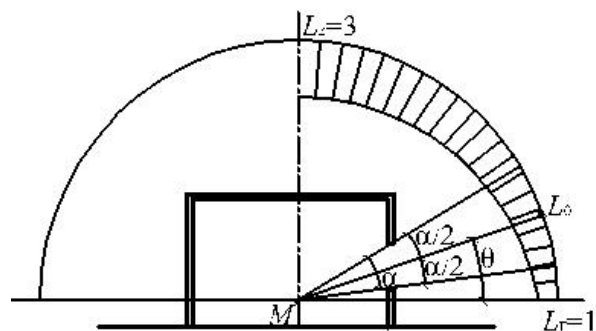


Рис. 4.6. Схема розподілу яскравості похмурого небозводу

розсіювання, а товща атмосфери в зенітному напрямку набагато менша за товщу у горизонті.

Такий розподіл яскравості має місце лише за меридіаном небозводу. По колу горизонту в широтному напрямку під однаковим кутом яскравість вважається постійною.

Похмурий небозвід закладено і в сучасних українських нормах [4].

Розподіл яскравості по ясному небу визначається абсолютною індикатрисою розсіювання світла – кутовим розподілом яскравості розсіяного світла, зображеним у вигляді полярної діаграми.

Повна яскравість неба L у будь-якому напрямку складається з трьох компонентів: яскравість за рахунок первинного розсіювання, яскравість за рахунок багаторазового розсіювання, яскравість, що створюється світлом, відбитим від земної поверхні.

Яке ж співвідношення цих компонентів?

У разі високої прозорості атмосфери і малого альбедо (відбивна здатність земної поверхні) основну роль у створенні яскравості небозводу відіграє розсіювання першого порядку. Якщо коефіцієнт прозорості атмосфери понад 0,85, внесок вторинного розсіювання в яскравість неба у видимій області спектру далеко від горизонту становить лише кілька відсотків. У разі збільшення каламутності атмосфери значно зростає роль багаторазового розсіювання. За коефіцієнта прозорості 0,6 – 0,7 внесок вторинного розсіювання вже перевищує 50 відсотків.

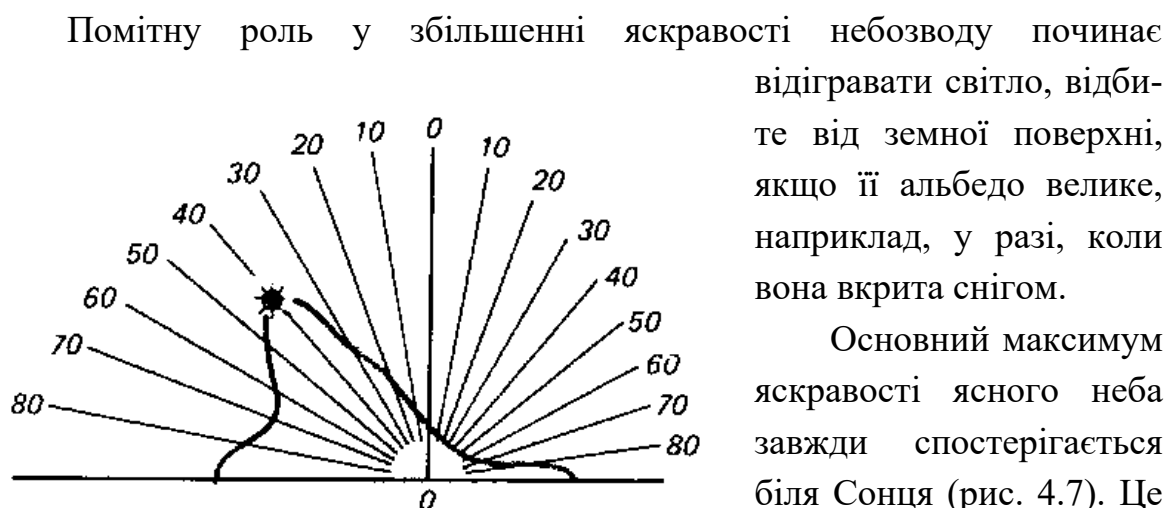


Рис. 4.7. Розподіл яскравості по ясному небозводу у вертикалі Сонця (за меридіаном)

відігравати світло, відбите від земної поверхні, якщо її альбедо велике, наприклад, у разі, коли вона вкрита снігом.

Основний максимум яскравості ясного неба завжди спостерігається біля Сонця (рис. 4.7). Це так званий навколосонячний ореол. Він є досить яскравим, кільце

білим кольором навколо Сонця на безхмарному небі. Кутова ширина кільця до 10-12°. Синє небо починається поза цим кільцем.

Другий максимум яскравості небозводу – пригоризонтний. Він обумовлений підвищенням ступеня розсіюння у разі збільшення товщі атмосфери, яка спостерігається під час наближення до горизонту. Мінімум яскравості неба перебуває в сонячному зеніті. Ця точка лежить у вертикалі Сонця (вертикальна площина, що проходить через Сонце, зеніт неба і місця спостереження спостерігача) на кутовій відстані від Сонця 90° , коли воно на горизонті, і на дещо меншій відстані під час підняття Сонця.

Розподіл яскравості по небозводу характеризується коефіцієнтом нерівномірності яскравості, який визначається відношенням яскравості ділянки небозводу L_θ (рис. 4.8), яка розглядається, до яскравості неба у зеніті L_z .

Крім цього, на коефіцієнт нерівномірності яскравості впливають такі параметри:

- зенітна відстань розгляданої ділянки небозводу Z , град;
- зенітна відстань Сонця, Z_0 , град;
- кут між напрямками на Сонце і на розглядану ділянку небозводу γ , град;
- низка емпіричних коефіцієнтів, які визначають форму індикатриси розсіюння і залежать від прозорості атмосфери p .

Ці емпіричні коефіцієнти активно досліджувались за останні два десятиліття різними науковцями, основний внесок було зроблено словацькими дослідниками Р. Кіттлером і С. Дарулою, а також вченим із США Р. Перезом [8], і виявлено відповідність їхніх сполучень різним станам небозводу. Наразі розроблено і стандартизовано 15 станів небозводу [2]: 4 типи хмарного неба, 6 типів неба з мінливою хмарністю, 4 типи безхмарного неба і один тип неба з рівномірною яскравістю.

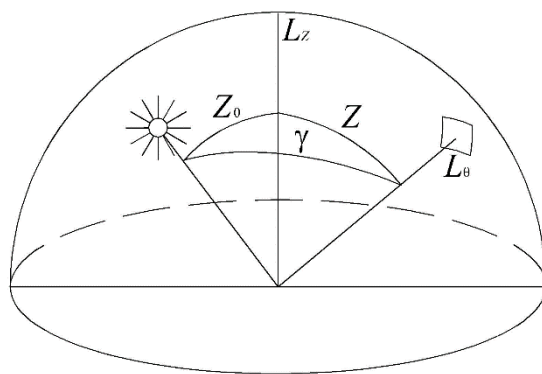


Рис. 4.8. Геометричні параметри розподілу яскравості ясного неба



Рис. 4.9. Карта світових поясів України, яка увійшла в діючі українські норми

Використавши ці стандартизовані дані, українські дослідники Д.О. Радомцев і

О.В. Сергейчук [9] визначили стандартні типи небозводу для території України. Далі вони провели моделювання спектрального складу сонячного випромінювання та просто-рового розподілу яскравості по небу. На підставі цього була розроблена карта світлокліматичного районування території країни. За базовий регіон тут було обрано Одеську область і Крим. В подальшому ця карта була уточнена і в кінцевому варіанті представлена в сучасних нормах [8] (рис. 4.9).

Запитання для самоконтролю до 4 розділу

1. Чому різні регіони мають різний світловий клімат?
2. Назвіть основні складові денного освітлення під відкритим небозводом.
3. Що таке світлова сонячна стала?
4. Від яких факторів залежить пряма сонячна освітленість на горизонтальній поверхні?
5. Від яких факторів залежить розсіяна зовнішня освітленість?
6. Яким способом відбиті від прилеглої поверхні Землі світлові потоки підвищують освітленість у приміщенні?
7. Що таке світловий еквівалент і для чого він потрібен?
8. Від чого залежить критерій світлокліматичного районування?
9. Що таке критична освітленість?
10. Як можна визначити час використання природного освітлення?
11. Як розподіляється яскравість похмурого небозводу?
12. Які параметри впливають на коефіцієнт нерівномірності яскравості небозводу?

Розділ 5. ОСНОВИ НОРМУВАННЯ ПРИРОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Під час проектування систем природного освітлення будівель виникає запитання: які оптимальні параметри природного освітлення необхідні для цього приміщення? Оскільки кінцевою метою проектування та будівництва будівлі є створення сприятливого штучного середовища для нормальної діяльності людини, то для визначення оптимальних параметрів середовища необхідно насамперед враховувати фізіологічні

потреби людини. Зокрема, для світлового середовища умови зорового сприйняття залежать від видимості об'єктів розрізнення.

5.1. Особливості оцінки видимості. Закон Вебера-Фехнера

Під видимістю розуміють здатність людини сприймати різні об'єкти з певною чіткістю за тих чи інших умов освітлення.

Видимість того чи іншого об'єкта визначається трьома основними зоровими функціями: контрастною чутливістю, гостротою розрізнення та швидкістю розрізнення.

Під контрастною чутливістю розуміють здатність ока виявляти предмет, що розглядається, по яскравості його контрасту з фоном. Поки яскравість L_o (і колір) об'єкта дорівнює яскравості L_ϕ (і кольору) фона, об'єкт невидимий. Якщо поступово змінювати яскравість фона або об'єкта, настає момент, коли у разі різниці яскравостей ΔL об'єкт стає відмінним від фона. Відношення мінімальної різниці яскравостей об'єкта і фона (або навпаки фона і об'єкта) до яскравості фона називають пороговим (тобто найменш помітним) контрастом яскравості, або просто яскравісним порогом. Загалом контраст яскравості може бути визначено числом m порогів яскравості. Це означає, що між яскравістю фона та об'єкта можна відрізнити ще m ступенів яскравості.

Цю залежність знайшов Вебер (1846) у дослідженні над порівнюванням вагомостей, що випробовуються рукою, і в дослідях над оцінкою довжини ліній.

Фехнер (1860) пішов далі і математично описав основний психофізичний закон.

Цей закон формулюється таким чином: інтенсивність відчуттів зростає пропорційно до збільшення подразників за логарифмічною шкалою. **Він відомий як основний психофізичний закон, або закон Вебера-Фехнера.** Це загальний закон, він справедливий не тільки для зору, а і для слуху, для відчуття ваги та ін. Іншими словами, він є універсальним для всіх наших відчуттів.

Величина порога яскравості непостійна і залежить від яскравості фона. Умовам найкращої видимості відповідає діапазон яскравостей від 7 до 700 кд/м². У разі таких яскравостей фона поріг не перевищує 2%, а під час зниження або збільшення яскравості за межі зазначеного діапазону поріг зростає і видимість різко погіршується.

Друга функція – **гострота розрізнення**. Розмір яскравого порога залежить і від кутового розміру об'єкта. Чим більший його кутовий розмір, тим менша величина порога. Отже, рівень видимості характеризується контрастом об'єкта із фоном, рівнем яскравості фону та кутовим розміром об'єкта. Найменший кутовий розмір предмета, що забезпечує розрізнення його контуру, називається кутом, що дозволяється, а зворотна його величина – гостротою розрізнення. Умовно вважають, що гострота розрізнення дорівнює 1, якщо кут, що дозволяється, дорівнює 1 хв.

Третя основна функція – **швидкість розрізнення** – встановлює залежність між якістю освітлення та продуктивністю праці. Численні дослідження показують, що зі збільшенням освітленості швидкість розрізнення та пов'язана з нею швидкість виконання тієї чи іншої операції спочатку зростають дуже швидко, але після досягнення деякого рівня освітленості приріст швидкості розрізнення стає незначним. Так, наприклад, у разі підвищення освітленості з 20 до 100 лк швидкість читання зростає на 20%, а у разі подальшого збільшення освітленості до 300 лк – лише на 9%. Проте навіть за освітленості 1000 лк швидкість читання продовжує зростати, а стомлюваність ока – знижуватися. Однак у разі подальшого збільшення освітленості і тривалості праці настає такий момент, коли швидкість розрізнення починає падати. Це пов'язано з тим, що на очі впливає надмірна жорсткість освітлення, вона засліплює очі і швидко їх втомлює.

Усі зазначені закономірності спостерігаються у разі рівномірного розподілу яскравості фону в межах поля зору. Будь-який відступ від цієї умови, а особливо наявність у полі зору об'єктів високої яскравості, що викликають засліплення, різко погіршує умови бачення. Порогова різниця яскравості може підвищитися у десятки разів, а виконання робіт високої точності стане практично неможливим.

5.2. Зорова працездатність

Більшість функціональних або виробничих процесів, в яких бере участь людина, пов'язані, як правило, із зоровою роботою. Вона включає процеси зорового виявлення і впізнання деталей виробничого чи функціонального процесу – об'єктів спостереження, і навіть виконання із ними певних операцій. На цей процес, як було зазначено вище, впливає багато чинників. Треба обрати основні (або основний), на

які впливає ефективність світлового середовища, і запропонувати їх в якості нормованих.

Х. Вестон запропонував прийняти за критерій вибору нормованих значень яскравості (освітленості, КПО) зорову працездатність (продуктивність зорової роботи), що визначається тривалим дослідженням однієї з функцій зору [10]. Він проводив багато психофізичних експериментів з різними об'єктами спостереження і з різними людьми. В результаті як досліджувану функцію зору Вестон обрав швидкість розрізнення. Зорова працездатність η тут залежить від вірогідності правильного впізнання p і тривалості розрізнення t кожного тест-об'єкту.

За тест-об'єкт у кінцевих експериментах Вестоном були прийняті кільця Ландольта (кільця, у кожного з яких у певному місці є розрив, який потрібно розрізнити). Ці кільця розташовувалися на аркуші щільного матового білого паперу.

Для підвищення чутливості залежності зорової працездатності від досліджуваного фактора часто використовується відносна зорова працездатність $\eta_{\text{відн}}$, що визначається оптимальним значенням яскравості (освітленості, КПО) для заданого тест-об'єкту. Вона прямопропорційна цьому значенню працездатності η і зворотнопропорційна максимальному її значенню η_{max} , і виражається у відсотках.

Таким чином, залежно від виду зорової роботи визначається відповідна зорова функція, за якою визначається оптимальне значення яскравості (освітленості, КПО), і потім ці значення вносяться до норм.

5.3. Нормування природного освітлення приміщень

Необхідна кількість і якість природного світла в приміщеннях визначається, як зазначалося, їхнім функціональним чи технологічним призначенням, точніше, характером зорової роботи. На основі багаторічного досвіду та проведених численних досліджень було встановлено параметри природного освітлення, за яких забезпечуються сприятливі умови для зору. Ці показники отримали відображення у нормах, які мають силу закону.

Нормованими називаються такі значення параметрів, за яких максимально забезпечуються біологічні та психологічні потреби людини, а також матеріально-технічні та економічні можливості держави на поточний період часу.

Оцінка систем природного освітлення приміщень здійснюється двома нормованими параметрами: КПО, D_n , і нерівномірність природного освітлення K_{un} .

Нормовані значення КПО у приміщенні вибираються залежно від двох факторів:

1. Від складності зорової роботи. У виробничих приміщеннях вона класифікується за величиною об'єкта розрізнення на 8 розрядів – від найвищої точності з деталями розрізнення менше 0,15 мм, до грубої – з об'єктами понад 5 мм. У цивільних будинках приміщення мають типологічну класифікацію.

2. Від виду системи природного освітлення.

Нормовані значення КПО визначаються із відповідних таблиць ДБН В.2.5 – 28:2018 [4]:

- табл. 5.1 для виробничих будівель;
- табл. 5.2 для громадських будівель і адміністративно-побутових споруд;
- в додатку Г для приміщень загальнопромислових будівель і споруд;
- в додатку Д для основних приміщень громадських і допоміжних споруд;
- в додатку Ж для житлових будівель.

Нерівномірність природного освітлення визначається відношенням середнього значення КПО за розрахунковими точками характерного розрізу до найменшого значення КПО.

Нерівномірність природного освітлення приміщень виробничих і громадських будівель з верхнім або з верхнім і бічним природним освітленням і основних приміщень для дітей і підлітків у разі бічного освітлення не повинна перевищувати 3 : 1. Розрахункові значення КПО D_p у разі верхнього або верхнього і бічного освітлення в будь-якій точці має бути не меншим за нормоване значення КПО у разі бічного освітлення для робіт відповідних розрядів.

Нерівномірність природного освітлення не нормується для приміщень із бічним освітленням; виробничих приміщень, у яких виконуються роботи VII та VIII розрядів у разі верхнього або верхнього та бічного освітлення; допоміжних приміщень та приміщень громадських будівель, у яких проводиться огляд навколишнього простору у разі дуже короткочасного, епізодичного розрізнення об'єктів, а також у яких відбувається загальне орієнтування у просторі.

У нові норми необхідно також запровадити регламентацію розмірів вікон за психологічним фактором. Німецький вчений Ж. Реслер [11] у 1980 р. опублікував результати досліджень щодо впливу різних факторів на функції вікна як засобу зв'язку із зовнішнім простором. За наявності постійного додаткового штучного освітлення ця функція стає визначальною під час проєктування світлопрорізів будівель.

Дослідження проводилися методом суб'єктивної оцінки на макеті кімнати, що відтворює характерне адміністративне приміщення глибиною 9 – 12 м, шириною 6 м, висотою 3 м з двома вікнами висотою 2 м. У ході експерименту варіювалися: рівень освітленості від встановлення постійного додаткового освітлення $E_d = 0 - 2000$ лк; ширина вікна – не більше від 0 до 2,4 м; характер зовнішнього вигляду за вікном – панорама міста, вулиця, фасад будівлі; глибина приміщення; напрямок лінії зору – на фронтальну та бічну стіни. У дослідженнях брали участь 20 спостерігачів, які дали 10080 відповідей (так, ні) на три наступні запитання:

1. Чи відчувається всередині приміщення незручність через замкнутість, ізолюваність простору?
2. Чи створює інтер'єр почуття достатньої самотності?
3. Чи відволікає від роботи зовнішній вигляд за вікном?

Відносне число позитивних відповідей характеризувало з кількісної сторони досліджувану властивість психологічної функції вікна (тобто ступінь замкнутості, відокремленості чи відволікання).

Результати дослідження дали змогу дійти наступних основних висновків.

1. Найбільший вплив на оцінку досліджуваних властивостей вікна має ширина вікна, рівень додаткового освітлення E_d та характер зовнішнього вигляду за вікном.

2. Ступінь замкнутості простору різко зменшується, якщо ширина вікна від 1,5 і більше; ступінь самотності мало залежить від розмірів

вікна; у разі розмірів будівлі, кратних модулю 6 м, оптимальною є довжина бокового скління 3-4 м (якщо висота – 2 м).

3. Надмірний ступінь замкнутості простору у разі недостатньої площі скління можна компенсувати підвищенням рівня E_d ; з погляду поліпшення досліджених властивостей вікна кращі рівні E_d від 400 до 1000 лк.

4. Характер зовнішнього вигляду за вікном найбільше впливає на ступінь самотності: у разі орієнтування вікна на панораму міста цей ступінь збільшується приблизно в 1,5 рази.

Отримані результати передбачається використовувати під час перегляду норм ФРН щодо природного освітлення будівель.

Порівняльний аналіз нормованих освітленостей за деякими країнами представлений у табл. 5.1.

Динаміка освітлення. Існувала раніше тільки як характеристика природного освітлення. В останні роки, у зв'язку з необхідністю економії електроенергії в освітлювальних установках (ОУ) та поліпшення комфортності освітлення, а також інтенсивним зростанням технічних засобів управління освітленням, динаміка освітлення (варіація рівня освітленості та спектрального складу джерел світла) все частіше потрапляє в розряд рекомендованих під час облаштування ОУ. Як показують дослідження, позитивний вплив динаміки дуже різноманітний, а саме: внесення зорової різноманітності в навколишнє середовище за монотонності умов праці, забезпечення художнього впливу на людину і просто відтворення динаміки природного освітлення (для безліхтарних приміщень). Однак чітких рекомендацій щодо динамічного освітлення немає в жодному нормативному документі. Тим не менш, наявні результати досліджень про зниження втоми та підвищення працездатності в умовах динамічного освітлення дають змогу, наприклад, у разі необхідності скласти оптимальні програми регулювання характеристик освітлення. Це питання нерозривно пов'язане з темою енергозбереження, а також декоративним архітектурним освітленням та світловим дизайном.

Таблиця 5.1

**Нормована освітленість для зорових робіт різної точності
по закордонним нормам та міжнародному стандарту ISO**

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єк-	Україна (ДБН	США (IESNA/	Велико-британія	Міжна-родний
-------------------------------	-------------------------	--------------	-------------	-----------------	--------------

	та розріз- нення, кутові хвилини	В 2 5 28:2018)	ANSI/ ASHRAE)	(CIBS/ BSCP3)	стандарт (ISO 8995)
Найвищої точності	Менше 1	1250-5000	3000-10000	1000-2000	Більше 2000
Дуже високої точності	Від 1 до 3	750-4000	3000-10000	750-2000	1000-2000
Високої точності	Від 3 до 5	400-2000	1000-3000	500-2000	750-1500
Середньої точності	Від 5 до 10	400-750	1000	300-1500	500-1000
Малої точності	Від 10 до 50	400	500	200-1000	300-750
Груба зорова робота, постійне перебування людей у приміщенні	—	200	300	200-750	200-500
Тимчасове перебуван- ня людей, які працю- ють в приміщенні	—	50-100	100	100-500	100-200
Приміщення, які використовуються для проходу	—	50-75	50	50-300	50-150
Інженерні комуніка- ції, робочі місця поза будівель	—	20	30	20-50	20-50

Запитання для самоконтролю до 5 розділу

1. Що таке видимість об'єкта та від чого вона залежить?
2. Що собою представляє основний психофізичний закон і хто його відкрив?
3. Що таке нормативне значення і як воно стає нормативним?
4. Від яких факторів залежить нормативне значення КПО?
5. Що таке нерівномірність природного освітлення приміщень і як вона нормується?
6. Які ще показники можна ввести в норми?

Розділ 6. ПРОЄКТУВАННЯ ПРИРОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ

6.1. Загальні положення проєктування систем природного освітлення будівель

Системою освітлення називається комплексна система з використанням усіх можливих джерел освітлення, за допомогою якої формується комфортне світлове середовище.

Системи освітлення поділяються на три типи: система природного освітлення, система штучного освітлення і система суміщеного (природного + штучного) освітлення.

Системою природного освітлення називається сукупність світлопрорізів, розташованих у зовнішніх огорожувальних конструкціях будівель.

Системи природного освітлення в загальному плані поділяються на три великих групи: система бічного природного освітлення, система верхнього природного освітлення і система комбінованого (бічного + верхнього) освітлення. Більш детальна класифікація бічного і верхнього освітлення наведена в табл. 6.1.

Основним завданням проектування систем природного освітлення є організація сприятливого природного світлового середовища, як у приміщенні, так і на робочих місцях шляхом визначення раціональної форми, площі та відповідного розташування світлових прорізів у зовнішніх огороженнях і внутрішніх поверхнях, що відбивають світло у приміщення.

Світлове середовище, поряд з іншими складовими (температурно-вологісними умовами, шумовим режимом тощо), має велике значення для формування середовища будівлі в цілому. У разі недостатнього рівня освітлення очі людини постійно перенапружуються. Тоді пригнічується нервова система, що веде, зрештою, до зниження продуктивності праці.

Деяко інакше позначається вплив надмірних рівнів освітлення. У початковий час продуктивність праці може зростати. Однак надалі жорсткість надмірного освітлення веде до підвищення стомлюваності, що призводить до зниження продуктивності праці, а також погіршення самопочуття.

Отже, існує оптимальний діапазон рівнів освітленості, за якого спостерігається максимальна продуктивність та високий життєвий тонус. І якщо в результаті проектування значення параметрів світлового середовища не потрапили в межі цього діапазону, то щоб виконати намічену виробничу програму, людині необхідно витратити додаткову внутрішню біологічну енергію.

Параметри, створювані світлопрорізами відповідної площі, повинні суворо відповідати їхнім нормативним значенням. Зниження площі світлопрозорих огорож, поряд із зниженням продуктивності праці,

призводить до відриву людини від довкілля, до порушення її біологічних ритмів внаслідок підвищення ступеня замкнутості внутрішнього простору приміщення.

Системи природного освітлення застосовують у тих приміщеннях, де має місце, зазвичай, постійне перебування людей. Допускається не передбачати природне освітлення для приміщень роздягалень у лазнях, пральних та сушильно-прасувальних відділень пральнь, санітарно-побутових приміщень допоміжних будівель, очікувань медпунктів, особистої гігієни жінок, а також виробничих приміщеннях, згідно з Санітарними нормами проєктування.

Проєктування природного освітлення має базуватися на детальному вивченні функціонального чи технологічного процесів, що виконуються у приміщеннях, а також на світлокліматичних особливостях місця будівництва, де розміщена будівля. Тут мають бути визначені такі характеристики:

- характер зорової роботи, найменший розмір об'єкта розрізнення, розряд зорової роботи;
- місцеперебування будівлі на карті світлового клімату;
- нормоване значення КПО (D_n) з урахуванням характеру зорової роботи та світлокліматичних особливостей місця розташування будівлі;
- необхідна нерівномірність природного освітлення;
- габаритні розміри та розташування обладнання, можливе затінення ним робочих або спостережуваних поверхонь;
- бажаний напрямок падіння світлового потоку на робочу або спостережувану поверхню;
- тривалість використання природного освітлення протягом доби для різних місяців року з урахуванням призначення приміщення, режиму роботи та світлового клімату;
- необхідність захисту приміщення від сліпучої дії прямого сонячного світла.

Проєктування природного освітлення будівель доцільно здійснювати в такій послідовності:

1 етап:

- урахування оточуючої міської забудови;
- вибір варіантів систем освітлення;

- визначення орієнтації будівель та світлових прорізів з боків горизонту;
- визначення нормованого значення КПО за розрядом переважаючих у приміщенні зорових робіт;
- вибір типу світлових отворів та світлопропускних матеріалів;
- вибір засобів для обмеження сліпучої дії прямого сонячного світла.

2 етап:

- виконання попереднього розрахунку природного освітлення приміщень (визначення необхідної площі світлових прорізів);
- уточнення параметрів (розмірів) світлових прорізів та розташування їх у приміщенні.

3 етап:

- виконання перевірного розрахунку природного освітлення приміщень;
- визначення приміщень, зон та ділянок, що мають недостатнє за нормами природне освітлення;
- визначення вимог до експлуатації світлових прорізів (необхідність влаштування підходів до скління).

4 етап:

- порівняння розрахункового з нормативним значенням КПО;
- внесення коригувань у проєкт природного освітлення та повторний перевірений розрахунок (за потреби).

5 етап:

- техніко-економічне порівняння варіантів систем природного освітлення за приведеними витратами.

Класифікація основних систем природного освітлення та їх характеристики наведено у табл. 6.1.

Таблиця 6.1

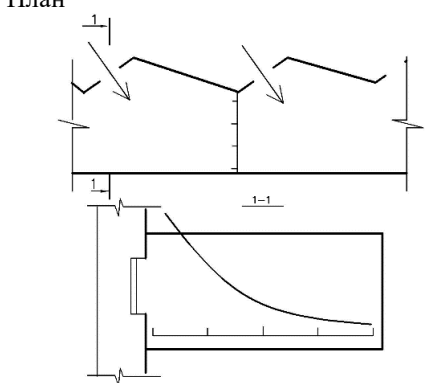
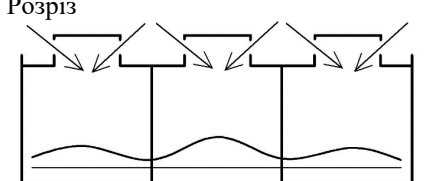
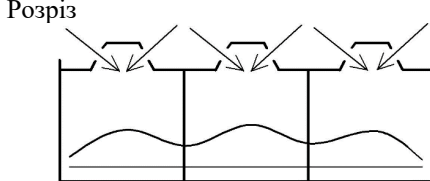
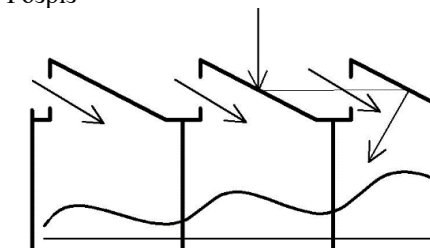
Класифікація основних систем природного освітлення і їхні характеристики

№ п/п	Вид системи і характер кривих розподілу КПО	Світлотехнічні і експлуатаційні характеристики	Сфера використання	Примітки
1	2	3	4	5
Системи бічного природного освітлення				
1	Однобічне Розріз	Значна нерівномірність освітлення по	У разі невеликої глибини примі-	Відсутність інсоляції,

		глибині приміщення. Постійність умов освітлення дифузним світлом.	щення. У виробництвах, де висуваються підвищені вимоги до якості освітлення	якщо орієнтація на північну частину горизонту
2	Двобічне Розріз 	Наявність перехресних тіней, що погіршують умови зорового сприйняття. Підвищені рівні освітленості	У разі збільшеної ширини будівлі	Значна інсоляція у разі будь-якої орієнтації вікон, окрім орієнтації північ-південь
3	Верхнерозташоване одnobічне Розріз 	Підвищення освітленості в найбільш віддалених від вікон точках. Хороша рівномірність освітлення. Обмежено зоровий зв'язок з навколишнім середовищем	У разі великої висоти і глибини приміщення	_____
4	У двох рівнях з похилим заскленням Розріз 	Підвищення освітленості в найбільш віддалених від вікон точках. Хороша рівномірність освітлення	У разі збільшених висоти і глибини приміщення, підвищеної щільності забудови	_____
5	З вертикальними вікнами Фронтальний вид 	Велика нерівномірність освітлення за глибиною приміщення	У приміщеннях, де робочі місця розташовані на відстані не ближче 3 м від зовнішніх стін з такими прорізами	_____
6	З квадратними вікнами Фронтальний вид 	Значна нерівномірність освітлення в зонах, що прилягають до зовнішніх стін з вікнами в паралельному до них напрямку за рахунок затінення простінками	У приміщеннях, де робочі місця розташовані на відстані не менш ніж 3 м від зовнішніх стін із прорізами	У разі однакової площі скління варіантів 5 і 6 освітленість у варіанті 5 менша, ніж у 6-му, внаслідок затінюючої дії простінків

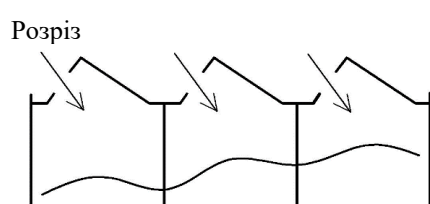
Продовження таблиця 6.1

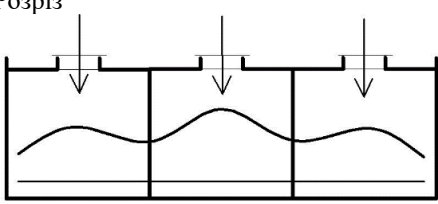
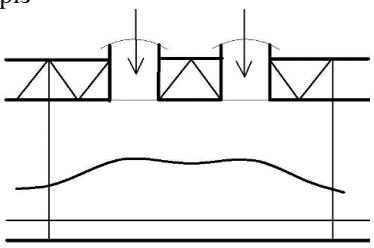
1	2	3	4	5
7	З горизонтальними вікнами Фронтальний вид 	Хороша рівномірність освітлення у паралельному вікнам напрямку	У приміщеннях, де потрібне рівномірне освітлення вздовж лінії вікон	_____
8	Світлопрорізи, які виступають поза	Підвищені архі-	У районах із	У разі щіль-

	фасадною площиною План 	тектурно-художні якості будівлі. Поліпшення інсоляційних якостей приміщення у разі обмеження орієнтації будівлі у забудові. Велика нерівномірність освітлення	високою щільністю забудови. У приміщеннях, де вищується підвищені вимоги до якості освітлення та інсоляції	ної забудови є можливість варіантного розташування світлопрорізів з метою покращення світлового та інсоляційного режимів приміщення
Системи верхнього природного освітлення				
9	П-подібні (прямокутні) ліхтарі* Розріз 	Забезпечують середнє значення КПО до 5%. Мала світлова активність ліхтаря. Хороша рівномірність освітлення. Незначна інсоляція. Незначне забруднення скла, зручне їх очищення	У приміщеннях з роботами малої та середньої точності. У цехах з підвищеною вологістю, пилом чи димом	_____
10	Трапецієподібні ліхтарі Розріз 	Забезпечують середнє значення КПО до 10%. Середня світлова активність. Мінімальна нерівномірність освітлення. Значна інсоляція, підвищене забруднення скла, складне його очищення	У приміщеннях з точними роботами у разі незначного виділення пилу та диму. У цехах з великою висотою та у разі затінення обладнанням	Небажане застосування у південних районах через значну інсоляцію
11	Шедові ліхтарі з вертикальним заскленням Розріз 	Забезпечують середнє КПО до 7%. Незначна світлова активність. Середня нерівномірність освітлення. За умов північної орієнтації скління інсоляція відсутня. Незначний ступінь забруднення скла, зручне його очищення	У південних та малосніжних сонячних районах. Для приміщень з роботами точними та середньої точності, де потрібна спрямованість та сталість умов освітлення	Вимагають на 15-20% менше площі скління, ніж прямокутні ліхтарі

*Світлопрорізи, розташовані в покритті будівлі, називаються ліхтарями.

Закінчення таблиці 6.1

1	2	3	4	5
12	Шедові ліхтарі з похилим заскленням Розріз 	Забезпечують середнє значення КПО до 10%. Світлова активність середня. Середня нерівномірність освітлення. Незначна інсоляція. Ступінь забруднення скла середній,	Для виробництв, де потрібна спрямованість освітлення та його сталість. У малосніжних районах	Вимагають на 15% менше площі скління, ніж трапецієподібні ліхтарі

		його очищення ускладнене		
13	Зенітні ліхтарі Розріз 	Забезпечують середнє значення КПО до 15%. Висока світлова активність. Значна нерівномірність освітлення. Великий рівень інсоляції. Підвищене забруднення скла, складне його очищення	Для приміщень з точними та особливо точними зоровими роботами. У разі поєднання з аераційними пристроями	Вимагають більш ніж удвічі менше площі скління, ніж прямокутні ліхтарі
14	Ліхтарі шахтного типу Розріз 	Забезпечують середнє КПО до 7%. Значна нерівномірність освітлення. Незначна інсоляція	У приміщеннях з підвісною стелею та високою насиченістю міжферментного простору інженерними комунікаціями та системами	Ефективні під час оброблення внутрішніх стінок шахти ліхтаря алюмінієвою фольгою або плівкою

П р и м і т к и:

1. У цій таблиці наведено лише основні види систем природного освітлення. Різними поєднаннями представлених тут та інших систем (та їхніх елементів) можуть бути отримані інші системи.
2. Стрілки показують шляхи потрапляння світлових потоків у приміщення від небозводу.
3. Крива лінія показує характер зміни КПО.

Вибір тієї чи іншої системи природного освітлення залежить від характеру функціонального або технологічного процесу та виконуваних зорових операцій, об'ємно-планувального та конструктивного рішення будівлі, естетичних якостей інтер'єру, району будівництва, зовнішнього вигляду будівлі, його орієнтації з боків горизонту та містобудівної ситуації з урахуванням економічних вимог.

Система бічного природного освітлення. Такі системи мають місце тоді, коли світлопрорізи розташовані у вертикальних або похилих стінах з одного, двох або більше сторін приміщення. Бокове природне освітлення слід застосовувати у багатоповерхових виробничих, громадських та житлових будинках, одноповерхових житлових будинках, а також в одноповерхових громадських та виробничих будинках, в яких відношення глибини приміщень до висоти від рівня умовної робочої поверхні (УРП) до верху вікна не перевищує 8.

Типи бічних світлопрорізів та їхні площі обираються такими, щоб забезпечити величину нормативного значення КПО в найбільш

віддаленій від прорізів точці характерного розрізу приміщення. Тоді необхідно враховувати найбільш сприятливий для цього функціонального або технологічного процесу напрямок світлового потоку та контрастність освітлення, які визначаються шляхом проведення психофізичних досліджень чи опитування працівників на діючому подібному виробництві.

У разі бічного освітлення необхідно враховувати технологічне обладнання, що затіняє світло від вікон, шляхом введення в світлотехнічні розрахунки поправок у вигляді відповідних коефіцієнтів, які представляють собою відношення освітленості за наявності обладнання до освітленості за його відсутності, враховуючи відбите від поверхонь обладнання світло.

Кількісні та якісні характеристики освітлення в приміщеннях залежать від форми та розташування вікон у огорожувальних конструкціях. Так, наприклад, високо розташовані вікна сприяють підвищенню освітленості у найбільш віддалених від вікон точках приміщення і більш рівномірному розподілу по площі приміщення світлового потоку.

Вибір того чи іншого виду системи бічного природного освітлення необхідно здійснювати з урахуванням архітектурно-художніх вимог до фасаду та інтер'єру будівлі на основі застосування, як правило, типових конструкцій вікон, розроблених на основі єдиної для всіх видів будівництва номенклатури вікон із дерева, пластику, сталі, алюмінієвих сплавів та їхніх сполучень.

Кількість шарів скління у вікнах та ліхтарях будівель приймається відповідно до вимог ДБН В.2.6-31:2021 і ДСТУ 9191:2022 [12, 13].

Під час розміщення вікон у виробничих будинках доцільніше їх розташовувати в один ярус у приміщеннях висотою 7,2 м і менше, а в приміщеннях з висотою понад 7,2 м – у два яруси, відповідно, в нижній та верхній зонах стіни.

У разі бічного освітлення приміщень виробничих та громадських будівель з підвищеними вимогами до сталості природного освітлення та захисту від інсоляції (наприклад, складальні цехи годинникових заводів та прецизійної апаратури, приміщення сортування матеріалів за відтінками кольору, картинні галереї тощо) скління світлових отворів слід орієнтувати на північну чверть горизонту (ПнЗ – Пн – ПнС). Якщо це положення з будь-яких причин здійснити неможливо, то для

доведення параметрів світло-інсоляційного середовища до необхідного рівня треба застосувати сонцезахисні пристрої. Сонцезахисні пристрої у громадських та житлових будинках слід передбачати відповідно до ДБН щодо проєктування цих будівель.

У разі однозмінного робочого (навчального) процесу та експлуатації приміщень в основному в першій половині дня (наприклад, лекційні аудиторії), коли приміщення орієнтовані на західну чверть горизонту, застосування сонцезахисних засобів не обов'язкове.

Системи верхнього або комбінованого природного освітлення. Ці види систем природного освітлення слід застосовувати переважно у виробничих одноповерхових та верхніх поверхах багатоповерхових будівель, в одноповерхових громадських будинках великої площі (криті ринки, стадіони, виставкові павільйони тощо), а також у будинках з великогабаритним технологічним обладнанням.

Довжина прямокутних і трапецієподібних ліхтарів не повинна перевищувати 84 м, відстань між торцями ліхтарів і між торцем ліхтаря та зовнішньою торцевою стіною повинна бути кратною або рівною кроку несучих конструкцій покриття.

Прямокутні світлоаераційні ліхтарі з одним або двома ярусами скління слід застосовувати, як правило, у виробничих будинках із значними (понад 23 Вт/м^3) надлишками явного тепла. У будинках із надлишками явного тепла до 23 Вт/м^3 прямокутні світлоаераційні ліхтарі допускається застосовувати за відповідного техніко-економічного обґрунтування.

Для забезпечення необхідного повітрообміну рекомендується застосовувати такі світлоаераційні ліхтарі:

а) у приміщеннях з прольотами 18 м та надлишками явного тепла до 50 Вт/м^3 – одноярусні прямокутні шириною 6 м;

б) у приміщеннях з прольотами 24, 30 та 36 м та надлишками явного тепла до 50 Вт/м^3 – одноярусні прямокутні шириною 12 м.

У виробництвах, що характеризуються надлишками явного тепла понад 50 Вт/м^3 , слід застосовувати аераційні шахти чи аераційні ліхтарі.

Номінальну висоту скління приймають для прямокутних ліхтарів шириною: 6 м – 1500, 1750 і 2×1250 мм (двоярусне скління), а для ліхтарів шириною 12 м – 1750, 2×1250 та 2×1500 мм.

У світлотехнічному відношенні ширина ліхтарів-надбудов лежить у межах 0,4...0,6 від величини прольоту цеху. Для трапецієподібних

ліхтарів їхня ширина визначається на рівні середини висоти трапеції. Відношення висоти прямокутних ліхтарів до їхньої ширини лежить в межах 0,3...0,45 від прольоту.

Збільшення ширини прямокутних ліхтарів (наприклад з 6 до 12 м) збільшує величину середнього значення КПО на 10...15%, а також нерівномірність освітлення. Збільшення ширини трапецієподібних ліхтарів не дає суттєвого ефекту.

Збільшення висоти розташування ліхтарів над рівнем робочої площини значно знижує середнє значення КПО у разі розташованих на великій відстані ліхтарів (один або два ряди ліхтарів на приміщення або проліт). У разі часто розташованих ліхтарів висота розташування практично не робить значного впливу на середнє значення освітленості.

У цехах промислових підприємств з сухим або нормальним вологим режимом і незначними (до 23 Вт/м³) надлишками технологічного тепла слід, як правило, застосовувати zenітні ліхтарі, форма, матеріал світлопрозорого огороження і розташування яких залежать від характеру виконуваних зорових завдань, архітектурних вимог до інтер'єру, протипожежних вимог, кліматичних характеристик району будівництва та економічних вимог.

Зенітні ліхтарі зі світлопроникним заповненням з полімерних матеріалів (органічного скла, поліефірних склопластиків та ін.) допускається застосовувати в будівлях не нижче 2-го ступеня вогнестійкості з виробництвами, що належать за пожежною небезпекою до категорій Г і Д за умови застосування в покритті вогнетривких або важкозгоряючих утеплювачів і влаштування по всій покрівлі захисного шару з дрібного гравію товщиною 10...15 мм.

У разі розміщення в покриттях будівель zenітних ліхтарів зі світлопроникним заповненням з полімерних матеріалів слід дотримуватись наступних правил пожежної безпеки:

а) загальна площа отворів ліхтарів повинна бути не менше 15% площі покриття будівлі, тоді як площа світлопроникного заповнення одного ліхтаря не повинна перевищувати 10 м²;

б) відстань (у світлі) між ліхтарями слід приймати не менше 3 м за площі світлового отвору ліхтаря до 5 м² і не менше 4,5 м – за площі понад 5 м²; тоді, застосовуючи ліхтарі з площею світлового отвору від 5 до 10 м², можна допускати зменшення відстані між ліхтарями в поперечному напрямку до 3 м, якщо відстань між ліхтарями в

поздовжньому напрямку становить 6 м і більше. Таке зменшення відстаней між ліхтарями допускається у разі влаштування у поперечному напрямку розривів шириною (у світлі) не менше 6 м через кожні чотири ліхтарі;

в) ліхтарі дозволяється поєднувати в групи із загальною площею, що не перевищує 10 м², приймаючи їх за один ліхтар та розміщуючи згідно з вищевказаним пунктом;

г) між ліхтарями через кожні 54 м слід влаштовувати протипожежні розриви завширшки не менше 6 м;

д) відстань ліхтарів від протипожежних стін має становити не менше ніж 5 м;

е) для забезпечення видалення диму з приміщення у разі пожежі слід частину ліхтарів із загальною площею світлових отворів не менше 0,2% площі приміщення обладнати пристроєм ручного та автоматичного відкривання та розміщувати рівномірно за площею покриття.

Під час влаштування природного освітлення за допомогою зенітних ліхтарів у приміщеннях виробничих будівель з незначними надлишками явного тепла слід застосовувати двошарове скління.

6.2. Методи розрахунку природного освітлення будівель

Проектування природного освітлення будівель, удосконалення його багатофункціональних аспектів, оптимізація розмірів, розташування й форми світлових прорізів, які забезпечували б необхідний режим освітлення, повинні ґрунтуватися на відповідних методах розрахунку та нормування природного освітлення.

Форма і розміри світлопрорізів, характер їхнього розташування в огорожувальних конструкціях, а також відповідність нормам природного освітлення визначається розрахунком.

Розрахунок природного освітлення здійснюється у три етапи.

1. Попередній розрахунок площі світлопрозорих огорож.
2. Перевірочний розрахунок КПО та порівняння його величини з нормативним значенням для цього виду зорових робіт.
3. Коригування розмірів світлопрорізів і місць їхнього розташування та повторний перевірочний розрахунок (за необхідності).

6.2.1. Попередні (наближені) методи розрахунку площі світлопрорізів

Попередній розрахунок площі світлопрорізів можна проводити двома шляхами. Перший шлях здійснюється з використанням спеціальних залежностей [8]. Другий – на основі графіків попереднього визначення площі світлопрорізів [17]. Однак, попередні методи розрахунку мають незначну точність, тому використовувати їх як основні методи не можна. Їх можна **використовувати лише на стадії ескізного проєктування для наближеного визначення площі світлопрорізів.**

Згідно з першим шляхом, визначається сумарна площа світлопрорізів, яка залежить, перш за все, від **нормованого значення КПО, D_n** . І тут є прямопропорційна залежність, тобто чим більше D_n , тим більша площа світлопрорізів необхідна для забезпечення цього нормативного значення.

Також площа вікон і ліхтарів прямопропорційна **освітлюваній площі підлоги S_n** приміщення. Чим більша площа підлоги, яку треба освітити, тим більша необхідна площа світлопрорізів.

Значний вплив на площу світлопрорізів огорожень здійснює міськозабудовна ситуація у вигляді **затінення будівлями, що розташовані поруч**. Цей фактор ураховується коефіцієнтом $K_{\text{буд}}$, який залежить від відношення відстані будинку навпроти P до його висоти $H_{\text{буд}}$. Чим більша відстань будівлі поруч, тим меншу площу вікна вона затінює і тим менше буде коефіцієнт $K_{\text{буд}}$, і тим менша площа вікна потрібна для забезпечення нормативного значення КПО, бо цей коефіцієнт перебуває у прямопропорційній залежності від площі засклення.

Наступні три фактори перебуває в обернено пропорційній залежності від площі засклення, тому чим більше значення фактора, тим менше треба площі.

Район будівництва ураховує **коефіцієнт світлового клімату m** , який залежить не тільки від району, а і від орієнтації світлопрорізу за сторонами горизонту. Зрозуміло, що чим південніше район будівництва, тим більше коефіцієнт m , тим менше необхідно площі для забезпечення D_n . Звісно, макси-мальне значення освітленості буде тоді,

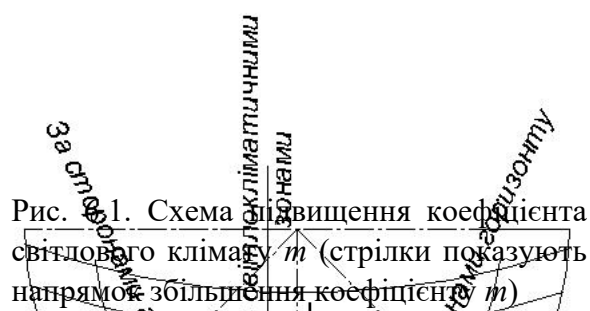


Рис. 1.1. Схема підвищення коефіцієнта світлового клімату m (стрілки показують напрямки збільшення коефіцієнта m)

коли **орієнтація світлопрорізу** буде на південь. А за напрямками на захід і на схід коефіцієнт світлового клімату m буде зменшуватись (рис. 6.1). Таким чином, максимальне значення коефіцієнта світлового клімату буде для IV світло-кліматичного поясу за орієнтації світлопрорізу на південь.

Під час проходження світла через конструкцію вікон і ліхтарів частина світлового потоку втрачається. Чим більше ці конструкції затіняють світло, тим більшою повинна бути площа світлопроникних елементів. Світлопроникність віконного заповнення оцінюється коефіцієнтами світлопроникнення τ_0 . Розглянемо фактори, які впливають на цей процес.

Перш за все, світлопроникний матеріал, τ_1 . Тут впливають два чинники: товщина матеріалу та його тип (скло звичайне, армоване, візерункове, органічне і т.п.). По-друге, затінення світлопрозорого матеріалу непрозорими елементами рами τ_2 , який оцінюється за відносною площею затінення непрозорими елементами рами. По-третє, затінення вікна сонцезахисними пристроями (СЗП) τ_4 . За відсутності СЗП цей коефіцієнт дорівнює одиниці. Це для бокових вікон.

Для верхнього освітлення, окрім цих коефіцієнтів, є ще два. Коефіцієнт, який враховує втрати світла під час проходження його через несучі конструкції покриття τ_3 , і коефіцієнт втрат світла у захисній сітці, яка встановлюється під ліхтарями τ_5 для безпеки людей внизу від розбитого скла.

Оскільки ці коефіцієнти перебувають в обернено пропорційній залежності від площі огорожень, то вони сильно впливають на її значення. Загальний коефіцієнт світлопроникнення може складати 0,4 – 0,5, тому треба збільшувати площу світлоогорожень в 2 – 2,5 рази, щоб забезпечити нормативне значення КПО. Це негативно впливає на енергоефективність будівлі і на її експлуатаційні характеристики.

Наступним фактором є збільшення освітленості у приміщенні за рахунок багаторазового відбиття від внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій. Це важливий фактор, з одного боку, і складний, з другого, у зв'язку з тим, що на цей процес впливає багато чинників. Оцінка цього фактору здійснюється за допомогою коефіцієнтів r_1 для бічного освітлення і r_2 для верхнього. Вони ураховують підвищення КПО завдяки світлу, відбитому від поверхонь

приміщення, і залежать від середньозваженого коефіцієнта відбиття світла $\rho_{\text{ср}}$ від внутрішніх поверхонь огорожень у приміщенні, а також від об'ємно-планувальних параметрів приміщення. Коефіцієнт r_1 для бічного освітлення залежить від розташування розрахункової точки, чим далі від вікна розташована точка, тим більша відбита складова. Коефіцієнт r_2 для верхнього освітлення залежить також від типу ліхтаря $K_{\text{л}}$.

Другий шлях попередніх методів розрахунку полягає в тому, що на підставі багатьох проведених досліджень побудовані графіки залежності відносної площі світлопрорізів від відносної відстані розрахункової точки від вікна з урахуванням нормативного значення КПО – для бічного освітлення (рис. 6.2). Для верхнього освітлення побудовані графіки залежності відносної площі світлопрорізів від кількості прольотів і величини нормативного значення КПО (рис. 6.3). Більше інформації з цього питання надано у навчальному посібнику [14].

Наведені графіки розроблені стосовно габаритних схем виробничих будівель і типового рішення світлопрозорих конструкцій, які найбільш часто трапляються в практиці проєктування: зенітних ліхтарів – склопакетами в металевих одинарних глухих рамах; прямокутних, трапецієподібних і шедових ліхтарів – одним шаром шибки в металевих одинарних рамах; вікон – двома шарами листового віконного скла спарених металевих і дерев'яних переплітах, що відкриваються.

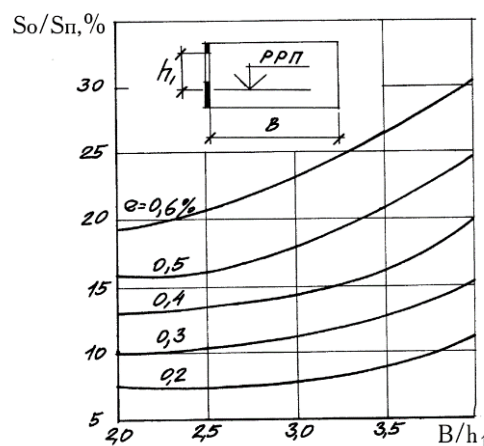


Рис. 6.2. Графік для визначення відносної площі світлових прорізів у разі бічного освітлення у житлових приміщеннях

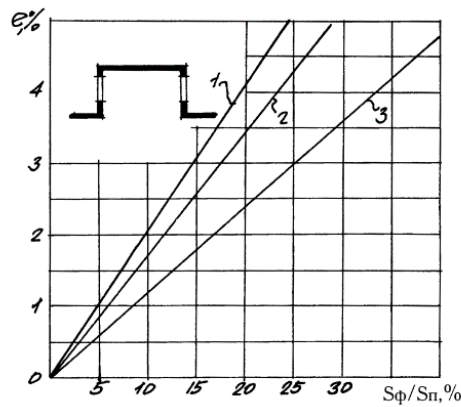


Рис. 6.3. Графік для визначення відносної площі світлових прорізів прямокутних ліхтарів у виробничих приміщеннях: 1 – три прольоти і більше; 2 – два прольоти; 3 – один проліт

За інших типів заповнень світлопрорізів і габаритних схем будівель, знайдені за графіками значення відносної площі світлових отворів необхідно коригувати відповідними коефіцієнтами.

6.2.2. *Перевірочні (точні) методи розрахунку КПО*

Саме перевірочним методом можна поставити крапку в розрахунках природного освітлення, тому що вони стосуються визначення нормативних критеріїв оцінки КПО і нерівномірної освітленості.

Проектування, моделювання і розрахунки природного освітлення будівель можуть проводитися за допомогою спеціалізованих комп'ютерних програм, наприклад: Radiance (Greg Ward, LBNL, США) [15], Velux Daylight Visualizer (Luxion, США) [16]. Всі ці програми безкоштовні. Програма Velux є найбільш використаною. Вона має досить простий інтерфейс, пройшла сертифікацію у міжнародній комісії з освітлення (CIE). Однак усі наявні на сьогодні комп'ютерні методи розрахунку не враховують специфіку світлокліматичних умов України, тому їх не можна використовувати у сертифікаційних розрахунках у проєктній практиці.

Схема розрахунків за всіма методами однакова: спочатку розраховується значення освітленості в розрахункових точках, а потім здійснюється оцінка розрахунків шляхом порівняння з нормативними значеннями. Якщо система природного освітлення задовольняє нормативні вимоги, то розрахунки припиняються. У разі невідповідності

нормам змінюються деякі параметри системи освітлення і здійснюється повторний розрахунок і т.д.

Найбільш простим і зручним, а тому і найпоширенішим у практиці проектування систем природного освітлення (також враховуючим світлокліматичні параметри України) є графоаналітичний метод, заснований на використанні графіків. Цей метод затверджений в Україні на офіційному рівні [8]. Відповідно до цього методу, розрахункове значення КПО визначається окремо від систем бічного, верхнього та комбінованого природного освітлення.

Логіка процесу розрахунку полягає в наступному.

До приміщення надходить два основних потоки світла: від неба D_s і відбитих від фасадів будівель, розташованих поруч D_e (рис. 6.4). Ці складові повністю залежать від геометрії вікон і приміщення і визначаються для кожної розрахункової точки з використання графіків: І графік – у разі суміщення поперечного розрізу приміщення n_1 ; II графік – у разі суміщення його плану n_2 .

Це в основному найбільша величина. Далі йде урахування фізичних факторів, які є добутками до основної геометричної складової. Коефіцієнт світлового клімату m , він визначається так, як і для попередніх розрахунків. Наступним чинником є коефіцієнт q , який ураховує розподіл яскравості за похмурим небозводом. Цей коефіцієнт залежить тільки від кутової висоти θ розташування центру видимої із даної розрахункової точки через світлопроріз ділянки неба (рис. 6.4). У широтному напрямку (по горизонталі) він сталий і не залежить від орієнтації світлопрорізу. Пам'ятаємо, що тут прямі сонячні промені від сонячного диску не враховуються.

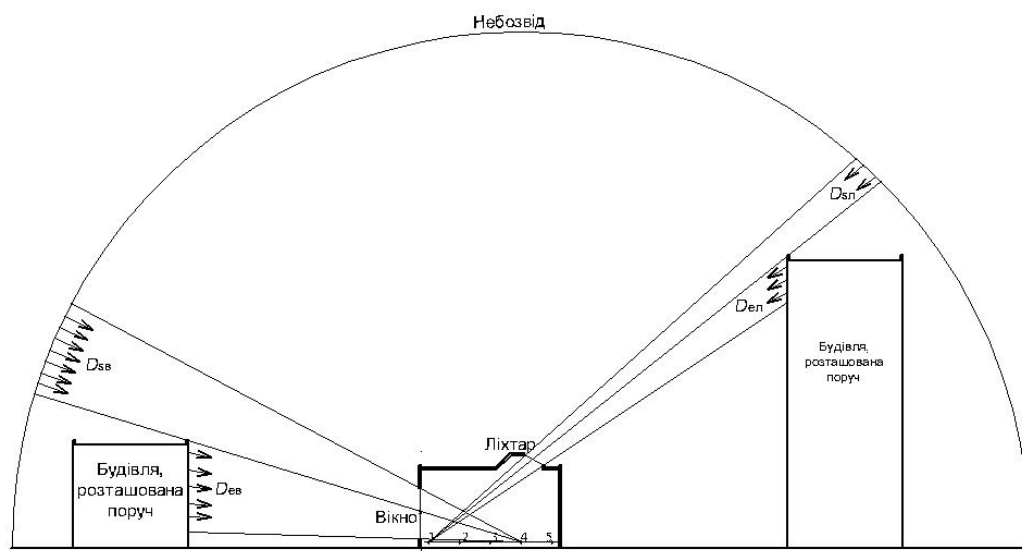


Рис. 6.4. Схема урахування складових освітленості у будівлі

Друга складова це світлові потоки, які надходять у приміщення від фасадів будинків, розташованих поруч. Геометрична складова визначається так, як і від неба – за графіками n_{16} і n_{26} (цифра індексу за n вказує, який графік треба використовувати). Другий добуток це коефіцієнт світлового клімату для фасаду будинку поруч m_6 . Він визначається за азимутом перпендикуляра до фасадної площини, який відраховується від напрямку на північ за годинниковою стрілкою. Останній добуток стосується ефективності відбиття світла від фасаду будівлі, розташованої поруч R_6 . Він враховує відносну яскравість фасаду будинку поруч і залежить від середньозваженого (між коефіцієнтами відбиття вікон і стін) коефіцієнта відбиття світла від фасаду.

Далі підраховуються суми прямих і відбитих потоків окремо для бічного і верхнього освітлення і враховуються багаторазові відбиття від внутрішніх поверхонь приміщення r_1, r_2 і коефіцієнти світловтрат під час проходження через конструкцію, заповнення прорізів τ_v для бічних вікон і τ_l для ліхтарів.

Все це підраховується для кожної розрахункової точки (їх повинно бути не менш п'яти на приміщення або на проліт) окремо для бічного і для верхнього освітлення. Якщо в будівлі використовується система комбінованого освітлення, то значення КПО додаються одне до одного і здійснюється оцінка системи.

6.3. Оцінка систем природного освітлення

Оцінка систем природного освітлення полягає в тому, що здійснюється порівняння розрахункового значення КПО D_p з нормативним D_n і робиться відповідний висновок.

Діючими нормами [8] встановлено, що розрахункове значення КПО може бути меншим за нормативне значення, але не більш ніж на 10%. Щоб виконати цю вимогу, необхідно визначити відносний оціночний показник Π , який показує відношення різниці між розрахунковим значенням КПО і нормованим значенням до його нормованого значення і вираженого у відсотках. Якщо цей показник менше –10%, то система

освітлення не задовольняє нормативним вимогам і щось потрібно змінювати.

У цій системі оцінки розрахункове значення залежить від типу системи. Для бічного освітлення D_p приймається мінімальним із всіх значень КПО, отриманих в розрахункових точках. Ця точка може розташовуватись або на відстані 1 м від протилежної стіни з вікнами у разі одnobічної системи освітлення, або посередині приміщення у разі двобічної системи освітлення.

Для верхнього або комбінованого (верхнього + бічного) типу підраховується середнє значення КПО по всіх розрахункових точках D_{cp} , і це значення порівнюється з D_n з тією ж умовою, не нижче -10% .

Запитання для самоконтролю до 6 розділу

1. Які типи систем освітлення Ви знаєте?
2. Як Ви розумієте систему природного освітлення і в чому полягає основне завдання проектування систем природного освітлення?
3. Які фактори необхідно урахувати під час проектування природного освітлення?
4. Назвіть етапи проектування природного освітлення будівель і в чому вони полягають.
5. Дайте приклади основних систем бічного природного освітлення.
6. Дайте приклади основних систем верхнього природного освітлення.
7. Чому шедові ліхтарі з вертикальним заскленням дають більшу освітленість, ніж прямокутні ліхтарі з вертикальним заскленням?
8. Які переваги і недоліки зенітних ліхтарів?
9. У яких регіонах краще за все використовувати шедові ліхтарі?
10. В яких випадках можна застосовувати попередній (наближений) розрахунок площі світлопрозорих огорожень?
11. Як впливає коефіцієнт світлового клімату на площу світлопрорізів?
12. Які складові мають місце під час визначення коефіцієнта світлопроникнення через віконне заповнення?
13. Чим відрізняється коефіцієнт світлопроникнення верхнього освітлення від бічного?

14. Чи впливає площа приміщення на площу світлопрорізів і яким чином?
15. Від яких факторів залежить коефіцієнт підвищення освітленості за рахунок багаторазового відбиття світла від внутрішніх поверхонь огорожень?
16. Чи можливо визначити раціональну площу світлопрозорих огорожень перевірочним (точним) методом розрахунку і яка схема визначення?
17. Які складові входять до розрахункового значення КПО?

ПІСЛЯМОВА

Таким чином, ми познайомились з дисципліною «Архітектурно-будівельна фізика», знання і методи якої впливають на багато сторін нашого життя. Тут є і багатовіковий досвід, і сучасні проблеми організації світлової архітектури. Це експериментальне навчальне видання, в якому була спроба представити фізичні процеси у формі логічних стверджень без участі математичних формул. Ми хотіли донести студентам методично-послідовні знання, які найбільш за все запам'ятовуються. Ні, ми не проти формул, бо в цих символах зосереджені фізичні процеси у вигляді математичних залежностей. Але, на жаль, людина їх довго не пам'ятає. Тим більше, їх можна отримати в інших літературних джерелах. Якщо студент розібрався у цих процесах, то він надовго їх запам'ятає і буде використовувати в своїй практичній діяльності. Ми сподіваємось, що за допомогою цих знань студент досягне глибин формування світлового природного середовища і буде ефективно використовувати їх у архітектурі і дизайні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Vision without glasses / Comp.V.V. Sharpilo. – Minsk : Paradox, 1998. – 416 pp.
2. Видання офіційне. Розподіл яскравості денного світла. Просторовий. Стандартне хмарне та безхмарне небо згідно з СІЕ. ДСТУ ISO 15469:2008. – Київ : Держспоживстандарт України, 2013. – 6 с.
3. Єгорченков В.О. Формування комфортного світло-радіаційного середовища в будівлях з нестандартними огорожувальними

конструкціями / В.О. Єгорченков, Г.Г. Фаренюк. – Київ : ДП НДІБК, 2021. – 296 с.

4. Видання офіційне. Природне і штучне освітлення : ДБН В.2.5-28-2018. – [Чинний від 01.03.2019] – Київ : Держстандарт України, 2018. – 133 с.

5. Світлопрозорі огороження будинків: навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. / О.Л. Підгорний, І.М. Щепетова, О.В. Сергейчук, О.М. Зайцев, В.П. Процюк; під ред. О.Л. Підгорного. – Київ : Домашевська О.А., 2005. – 282 с.

6. Єгорченков В.О. Світловий клімат України / В.О. Єгорченков // Будівництво України. – 2005. – № 2. – С. 21-23.

7. Moon P., Spencer D.E. “Lighting Design” Addison-Wesley, Reading, Mass. 1948. Cap.4.

8. Kittler R. A set of standard skies characterizing daylight conditions for computer and energy conscious design. Final report of the U.S.-Slovak Grant project US-SK 92 052. / R. Kittler, R. Perez, S. Darula – Bratislava.: Polygrafia, 1998. – 54 p.

9. Радомцев Д.О. Моделювання станів небозводів території України у відповідності до ДСТУ ISO 15469:2008 «Розподіл яскравості денного світла» / Д.О. Радомцев, О.В. Сергейчук. Друк. вісник Херсонського національного технічного університету, 2015, № 3(54). – С. 604-609.

10. Weston H. The relation between illumination and visual performance. – London, 1953. P. 253.

11. Roessler G. The psychological function of window for the visual communication between the interior of rooms with permanent supplementary artificial lighting and the exterior. – Lighting research and technology, 1980, v. 12, № 3, p. 160-168.

12. Видання офіційне. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель: ДБН В.2.6-31:2021. – [Чинний від 01.09.2022]. – Київ : Мін. розвитку громад та територій України, 2022. – 27 с.

13. Видання офіційне. Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель: ДСТУ 9191:2022. - [Чинний від 01.03.2023]. – Київ : УкрНДНЦ, 2023. – 63 с.

14. Єгорченков В.О. Розрахункові та експериментальні методи оцінки природного світлового середовища приміщень : навч. посібник для архітектурних і будівельних спеціальностей / В.О. Єгорченков, М.Б. Яців, А.М. Югов, Р.І. Кінаш. – Львів: «ТзОВ Простір М», 2008. – 110 с.

15. Radiance (Greg Ward, LBNL, США) [<https://radsite.lbl.gov/radiance/>].

16. Velux Daylight Visualizer (Velux, Данія) [<https://www.velux.ua/uk-ua/our-company>].

Навчальне видання

В.О. Єгорченков

АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНА СВІТЛОФІЗИКА БЕЗ ФОРМУЛ

**Логіка процесів формування
природного світлового середовища у приміщеннях**

Навчальний посібник

Редагування та коректура *Д.С. Виноградової*
Комп'ютерне верстання *Т.І. Кукарєвої*

Підписано до друку . 2026. Формат 60 × 84 1/168
Ум. друк. арк. 6,51 . Обл.-вид. арк. 7,0.
Тираж 25 прим. Вид. № 16/І-26. Зам. № 18/І-26.

Видавець і виготовлювач
Київський національний університет будівництва і архітектури

Проспект Повітряних сил України, 31, Київ, Україна, 03680

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.