

**Змістовий модуль 2. Основи архітектурної світлотехніки.
Лекція № 5. Тема №2.1. Основні поняття і величини архітектурної
світлотехніки.**

Питання теми.

1. *Промениста енергія.*
2. *Видиме випромінювання.*
3. *Світловий потік.*
4. *Сила світла.*
5. *Освітленість.*
6. *Яскравість і світність.*
7. *Світлові властивості тіл.*

1. Промениста енергія

З курсу фізики відомо, що всяке тіло, що володіє температурою вище абсолютного нуля, випромінює в навколишній простір енергію, яку називають променистою енергією.

Сонце є потужним джерелом променистої енергії, що переноситься його променями на поверхню землі. Про кількість цієї енергії дає уявлення наступна цифра: на кожний квадратний кілометр земної поверхні в середній широті опівдні сонце посилає близько 700 000 кВт.

Променисту енергію вимірюють в джоулях (Дж). У практиці нас цікавить не енергія випромінювання W , а потужність променистої енергії F , тобто енергія, випромінювана в одиницю часу:

$$F = \frac{dW}{dt} \quad (1)$$

де dt - проміжок часу, протягом якого випромінювання є рівномірним.

Потужність променистої енергії називають **променистим потоком**.

Одиниця променистого потоку - ват (Вт).

Будівельною світлотехнікою називається наука про використання променистої енергії оптичної області спектра в будівництві й архітектурі.

Оптичне випромінювання - випромінювання, довжини хвиль якого розташовані в діапазоні від 10^{-2} нм (нанометрів) до 10 м (метрів) електромагнітного спектра, що включає області ультрафіолетового, видимого й інфрачервоного випромінювань (мал. 1). Кожний із цих видів випромінювань визначається:

- **Ультрафіолетове** - довжинами хвиль у діапазоні від 10 до 380 нм; це випромінювання справляє сильну дію на шкіру людини, викликаючи її засмагу, на фотографічні емульсії, викликаючи їх почорніння, і т.д. Ультрафіолетове випромінювання сильно поглинається різними речовинами, наприклад звичайним склом або атмосферою Землі. Так,

виявлене, що поверхні Землі від Сонця досягає тільки довгохвильова частина ультрафіолетового випромінювання ($\lambda \approx 290$ нм), у той час як його короткохвильова частина поглинається у верхніх шарах атмосфери шаром озону. Прозорими для ультрафіолетового випромінювання є кварцове скло, а також різні штучні кристали.

- **Видиме** - довжинами хвиль у діапазоні від 380 до 760 нм; випромінювання сприймається нашим оком як світло.
- **Інфрачервоне** - довжинами хвиль у діапазоні від 0,77 до 340 мк; це випромінювання виявляється по тепловій дії. Інфрачервоне випромінювання, як і випромінювання видимого діапазону, проходить, не поглинаючись, через одні середовища й поглинається іншими. Однак тут проявляються його специфічні властивості: наприклад, скло й вода, прозорі для видимого діапазону, непрозорі для інфрачервоного випромінювання; чорне скло, ебоніт - непрозорі для видимого випромінювання, навпаки, прозорі для інфрачервоного.



Мал. 1.

2. Видиме випромінювання

Випромінювання різняться між собою потужністю й спектральним складом. З погляду спектрального складу найпростішим є однорідне випромінювання з якою-небудь довжиною хвилі (λ). Потужність такого випромінювання F_λ .

Видимі випромінювання приблизно однакової потужності при сукупній дії сприймаються оком як біле світло. Денне світло - приклад суцільного й рівномірного випромінювання на всій видимій ділянці спектра.

Однорідні випромінювання, діючи на око, викликають відчуття того або іншого кольору. Наближені границі кольорових смуг видимого випромінювання наводяться в табл. 1.

Дослідами встановлене, що однорідні променисті потоки однакової потужності, що відрізняються між собою довжиною хвилі, викликають в оці неоднакові відчуття. Це свідчить про те, що чутливість ока до випромінювань різних довжин хвиль неоднакова.

Середнє людське око, тобто око, спектральна чутливість якого при заданих умовах має встановлені значення, найбільш чутливе до жовто-зелених випромінювань із довжиною хвилі $\lambda = 555$ нм.

Таблиця 1. Колірні смуги спектра видимого випромінювання

Колір	Довжина хвиль у нм
Фіолетовий	450 – 380
Синій	480 – 450
Зелений	510 – 550
Жовтий	575 – 585
Помаранчевий	585 – 620
Червоний	620 – 760

При однаковій величині променистого потоку сині й червоні випромінювання, довжини хвиль яких близькі до границь спектра видимого випромінювання, викликають відносно мале світлове відчуття.

На мал. 2 приводяться криві відносної видимості для денного 1 і сутінкового 2 освітлення. Порівняння кривих показує, що середнє людське око при сутінковій освітленні найбільш чутливе до зелено-блакитних випромінювань із довжиною хвилі $\lambda = 510$ нм.

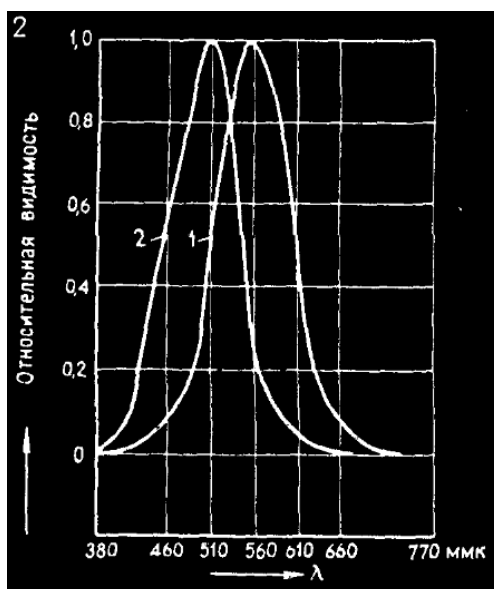


Рис. 2. Криві відносної видимості для денного 1 і сутінкового 2 висвітлення

Щоб створити однакове зорове відчуття (видність), необхідно потужність монохроматичного 2 синього випромінювання збільшити в 16, 6 рази, а червоного випромінювання - в 9, 35 рази в порівнянні з жовто-зеленим.

Якщо прийняти видність жовто-зеленого випромінювання за одиницю, то відносна видність інших випромінювань може бути представлена у вигляді кривої відносної видимості однорідних випромінювань, представлений на мал. 2.

Крива відносної видимості, прийнята міжнародною угодою, характеризує розподіл по спектру чутливості середнього людського ока й дорівнює відношенню спектральної чутливості середнього людського ока для даного монохроматичного випромінювання до найбільшої спектральної чутливості ока.

3. Світловий потік

Поняття відносної видимості однорідних випромінювань дозволяє оцінювати світлове відчуття, викликуване яким-небудь монохроматичним променистим потоком F_λ , а саме - відчуття буде пропорційно добутку променистого потоку на відповідне значення відносної видимості:

$$\Phi_\lambda = cF_\lambda k_\lambda, \quad (2)$$

де Φ_λ - світловий потік монохроматичного випромінювання;

c - постійний множник; залежить від обраних одиниць світлового й променистого потоків;

k_λ - відносна видність монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі λ .

Світловий потік представляє кількісну характеристику променистого потоку, що виражає його здатність утворювати світлове відчуття, оцінюване по відносній видимості. За одиницю світлового потоку прийнятий люмен (лм). Люмен - світловий потік, випромінюваний в одиничному просторовому куті (стерадіані) рівномірним джерелом; має силу світла в одну свічу.

Експериментальним шляхом встановлене, що променистий потік монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі $\lambda = 555$ нм, рівний 1 Вт, еквівалентний світловому потоку, рівному 683 лм. Користуючись цим еквівалентом, зв'язок між світловим і променистим потоками монохроматичного випромінювання можна виразити в наступному виді:

$$\Phi_\lambda = 683F_\lambda k_\lambda \quad (3)$$

де Φ_λ - світловий потік у лм;

F_λ - променистий потік у Вт.

При декількох монохроматичних випромінюваннях сумарний світловий потік визначається як сума монохроматичних світлових потоків.

4. Сила світла

Світловий потік визначає тільки загальну світлову потужність джерела світла. При випромінюванні джерелом однакового світлового потоку в усіх напрямках для характеристики цього випромінювання було б досить знати величину світлового потоку. Однак застосовувані на практиці джерела світла

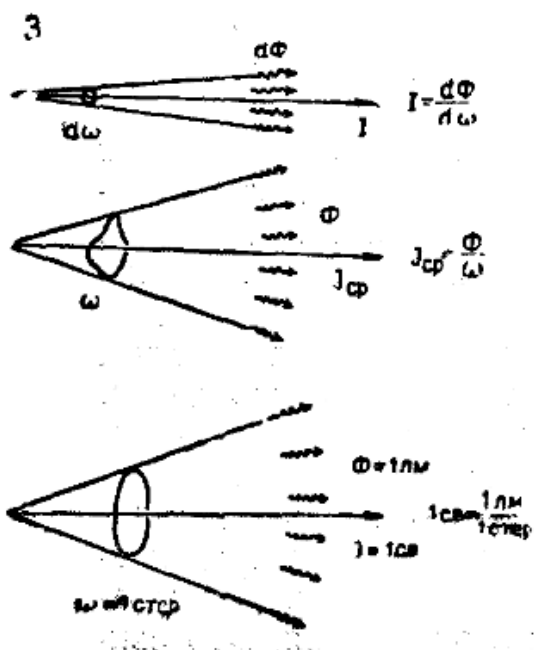
розподіляють світловий потік у просторі нерівномірно. Тому для характеристики світлової дії джерела світла в якому-небудь певному напрямку користуються поняттям сили світла.

Силою світла I джерела в даному напрямку називають просторову щільність світлового потоку, рівну відношенню світлового потоку $d\Phi$ до величини тілесного кута $d\omega$, у якому рівномірно розподіляється випромінювання (мал. 3).

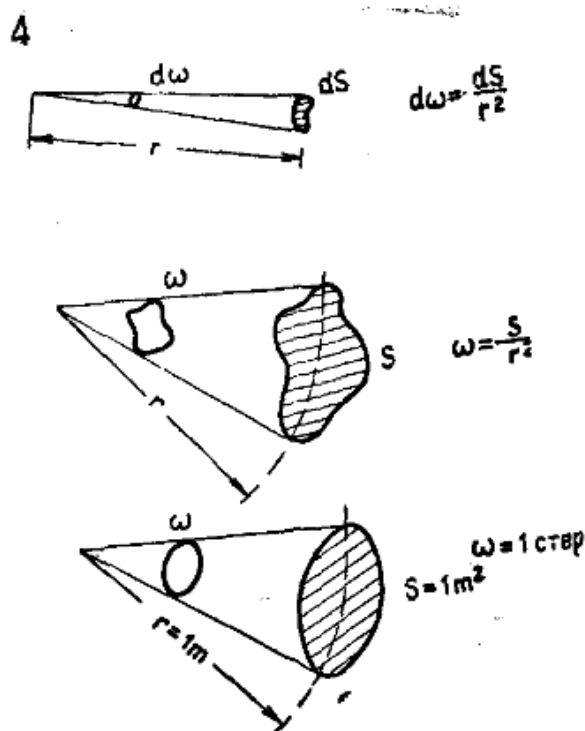
$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \quad (4)$$

Якщо світловий потік Φ рівномірно розподіляється в тілесному куті ω (мал. 3), то сила світла в напрямку осі тілесного кута рівна

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad (5)$$



Мал. 3. Схеми до визначення сили світла



Мал. 4. Схеми до визначення тілесного кута

Тілесним кутом називають частину простору, обмежену конічною поверхнею (мал. 4). Тілесний кут виміряється відношенням площі S , яку він вирізує на поверхні сфери, описаної з його вершини, до квадрата радіуса цієї сфери, тобто:

$$\omega = \frac{S}{r^2} \quad (6)$$

Одиницею тілесного кута служить стерадіан, кут, який вирізує на поверхні сфери ділянка, дорівнює квадрату радіуса.

За одиницю сили світла прийнята кандела (свіча) (кд), рівна силі світла точкового джерела в тих напрямках, у яких він випускає світловий потік в 1 лм, рівномірно розподілений усередині тілесного кута в один стерадіан (1 стер).

У цей час величина свічі визначається через яскравість абсолютно чорного тіла; при температурі затвердіння платини, рівної 60 кд з 1 см².

Для наочної уявлення про розподіл у різних напрямках у просторі сили світла електричних ламп і освітлювальних приладів користуються кривими розподілу сили світла. Ці криві будуються звичайно в полярних координатах у такий спосіб: сила світла в різних напрямках відкладається в прийнятому масштабі на радіусах-векторах, проведених із центру. Якщо кінці векторів, відповідні до значень сили світла в різних напрямках, з'єднати, то одержимо замкнену поверхню; частина простору, обмежена цієї поверхнею, називається фотометричним тілом сили світла.

Для найпоширеніших джерел світла й освітлювальних приладів фотометричне тіло симетричне щодо деякої осі, тобто представляє тіло обертання. Ці джерела світла й освітлювальні прилади називаються симетричними. Криві сили світла в площинах, що проходять через вісь симетрії, називають поздовжніми кривими сили світла (мал. 5).

Для симетричних джерел світла й освітлювальних приладів будують половину поздовжньої кривої осі світла (від 0 до 180°).

Характерної кривої сили світла мають прожектори, у яких світловий потік, випромінюваний лампою, концентрується в малому тілесному куті. Криву сили світла прожектора зручніше зображувати не в полярній, а в прямокутній системі координат (мал. 6); при цьому за вісь ординат ухвалюється напрямок оптичної осі прожектора, а по осі абсцис відкладається кут між напрямком сили світла й оптичною віссю прожектора.

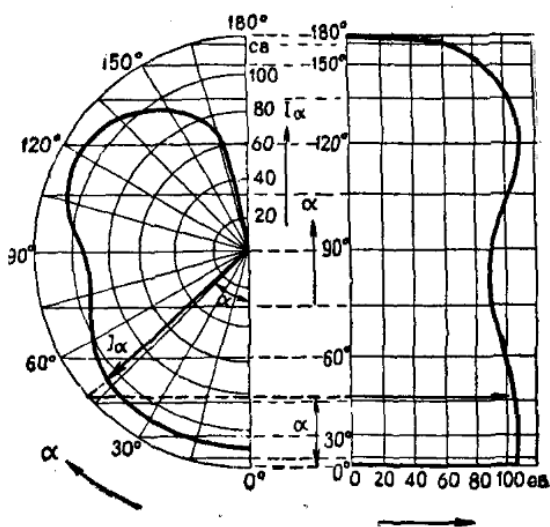


Рис. 5. Поздовжня крива розподілу сили світла для симетричного освітлювального приладу

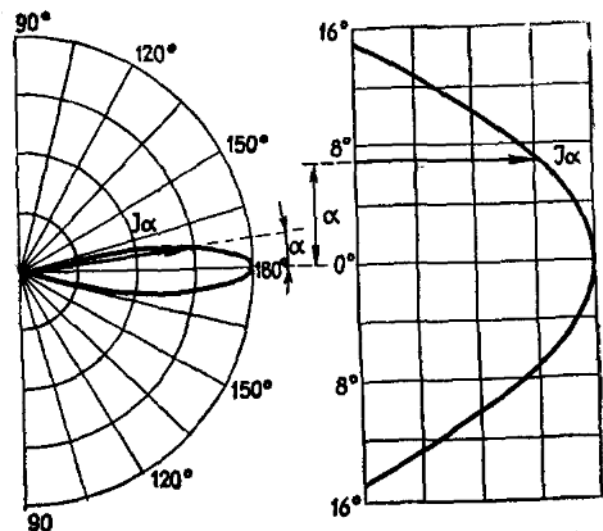


Рис. 6. Поздовжня крива розподілу сили світла прожектора

5. Освітленість

Для оцінки освітлення звичайно користуються поверхневою щільністю світлового потоку випромінювання, що падає на поверхню, рівною відношенню світлового потоку Φ до величини освітлюваної поверхні S , по якій він рівномірно розподілений (мал. 7).

При нерівномірному розподілі світлового потоку по площі

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad (7)$$

а при рівномірному розподілі світлового потоку Φ на площі S

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (8)$$

З рівнянь (7) і (8) видно, що освітленість не залежить від властивостей освітлюваної поверхні (фактури, кольору й т.п.).

Одиниця освітленості - люкс (лк) - поверхнева щільність світлового потоку в 1 лм, рівномірно розподіленого на площі в 1 м^2 (мал. 7). Про величину освітленості, рівної 1 лк, можна судити по прикладах, наведених у табл. 2.

Таблиця 2. Освітленість деяких поверхонь

Поверхні	Освітленість у лк
Поверхня землі:	
при високім стоянні сонця	100 000 – 120 000
при дифузійному (розсіяному) освітленні від неба (у похмурий день)	15 000 – 20 000
при місячнім освітленні (у повню)	0,2
при зорянім освітленні (у безмісячну ніч)	0,001 – 0,002
Мінімальна освітленість на магістралях великих міст	0,5

Практично освітленість зручніше визначати по силі світла. Залежність між освітленістю й силою світла знаходиться в такий спосіб.

Представимо точкове джерело світла, розташований у центрі сфери радіусом r . Освітленість площі dS визначається по формулі (7).

Якщо dS замінити виразом, отриманим з рівняння (6), то одержимо

$$E = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{d\Phi}{r^2 d\omega} = \frac{d\Phi}{d\omega} \cdot \frac{1}{r^2} = \frac{I}{r^2} \quad (9)$$

т. е. освітленість площі dS , перпендикулярної напрямку падаючого на неї світлового потоку, прямо пропорційна силі світла I , випромінюваної в

напрямку до цього майданчика джерелом світла, і обернено пропорційна квадрату відстані r^2 від джерела світла до освітлюваного майданчика (мал. 8).

При розташуванні майданчика dS_1 під деяким кутом до падаючого світлового потоку залежність між освітленістю й силою світла знаходиться в такий спосіб.

Тому що $dS_1 = dS \cos \alpha$,

$$E = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{d\Phi}{d\omega} \cdot \frac{\cos \alpha}{r^2} = \frac{I \cos \alpha}{r^2} \quad (10)$$

Отже, освітленість у якій-небудь точці поверхні прямо пропорційна силі світла й косинусу кута падіння світлового потоку й обернено пропорційна квадрату відстані від цієї точки до джерела світла.

Ця залежність освітленості від сили світла, що відноситься тільки до точкових джерел світла, називається законом квадрата відстані.

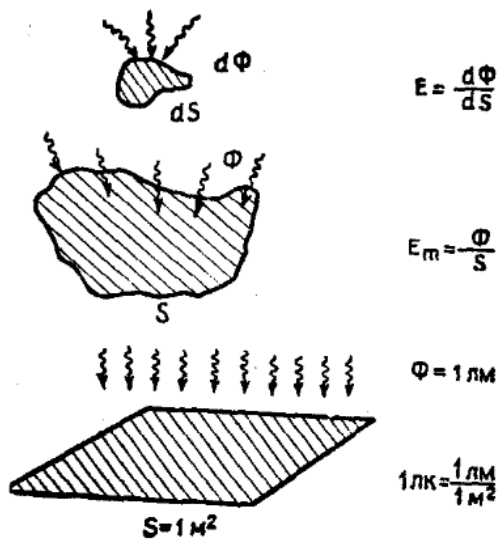


Рис. 7. Схеми до визначення освітленості

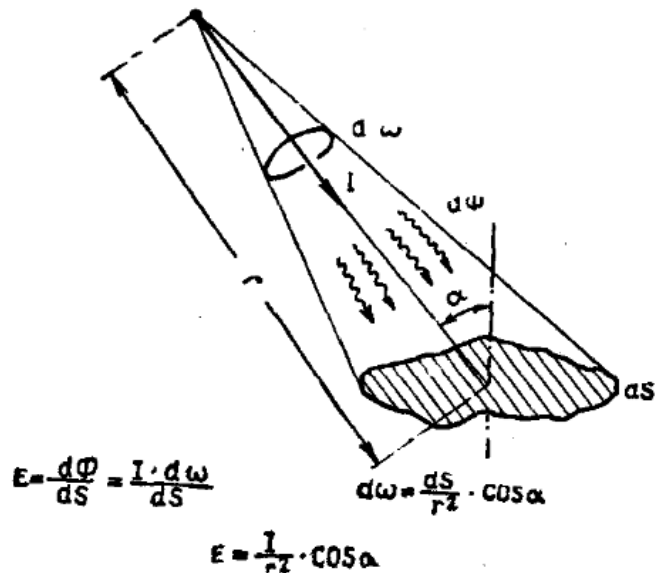


Рис. 8. Схема до формули для розрахунків освітленості від точкового джерела світла (закон квадрата відстані)

6. Яскравість і світність

Яскравість характеризує світіння джерела світла й освітлюваних ними поверхонь і є світловою величиною, яку безпосередньо сприймає око. Відповідно прийнятій у світлотехніку термінології яскравість визначається як поверхнева щільність сили світла в заданому напрямку, рівна відношенню сили світла до площі проекції світної поверхні на площину, перпендикулярну до того ж напрямку.

Світловий потік, відбитий від поверхні або від самосвітного тіла, потрапляючи на світлочутливу оболонку ока, викликає світлове відчуття. При цьому рівень світлового відчуття визначається величиною сили світла, випромінюваного розглянутої оком поверхнею.

Якщо око розглядає плоску поверхню площею S , що випромінює рівномірно в напрямку, перпендикулярному до неї, силу світла I , то яскравість поверхні в напрямку ока визначається рівнянням

$$B = \frac{I}{S} \quad (11)$$

При нерівномірній яскравості поверхні, що світить, її визначають для нескінченно малої ділянки поверхні по формулі

$$B_{\alpha} = \frac{dI_{\alpha}}{dS \cos \alpha} \quad (12)$$

Одиницею яскравості служить кд/м^2 .

У загальному випадку яскравість поверхні, що світить, є різною в різних напрямках. Прикладом поверхонь, що володіють різною яскравістю в різних напрямках, служить звичайне дзеркало. Тому яскравість, подібно силі світла, характеризується не тільки величиною, але й напрямком, у якому вона визначається.

Поверхні, що володіють однакою яскравістю в усіх напрямках, називаються рівнояскравими випромінювачами. До рівнояскравих випромінювачів належать, наприклад, свіжий сніг, оштукатурені поверхні стін і стелі в приміщеннях, освітлювальний прилад у вигляді кулі з молочного скла й т.п.

Для поверхонь, що володіють однакою яскравістю у всіх напрямках, інтенсивність світіння зручно визначати поверхневою щільністю світлового потоку, випромінюваного такими поверхнями.

Поверхнева щільність світлового потоку, випромінюваного поверхнею, рівна відношенню світлового потоку Φ до площі, що світить поверхні S , називається **світністю R** .

З викладеного випливає, що

$$R = \frac{\Phi}{S} \quad (13)$$

При нерівномірній світності поверхні її обчислюють для нескінченно малої ділянки поверхні, тобто

$$R = \frac{d\Phi}{dS} \quad (14)$$

Світність - величина, подібна освітленості, однак світність являє собою поверхневу щільність світлового потоку, що випускається поверхнею, у той час як освітленість характеризує поверхневу щільність світлового потоку, що падає на поверхню.

Одиниця світності - люмен на квадратний метр (лм/м^2).

7. Світлові властивості тіл

У загальному випадку при падінні світлового потоку Φ_i на тіло частина цього потоку Φ_ρ відбивається від нього, частина Φ_τ проходить через тіло й поширюється по іншу сторону його за законами, що залежать від властивостей тіла й, нарешті, частина Φ_α поглинається тілом. На підставі закону збереження енергії маємо, що

$$\Phi_i = \Phi_\rho + \Phi_\tau + \Phi_\alpha.$$

Розділивши обидві частини цієї рівності на Φ_i , одержимо

$$1 = \frac{\Phi_\rho}{\Phi_i} + \frac{\Phi_\tau}{\Phi_i} + \frac{\Phi_\alpha}{\Phi_i}$$

Для кількісної оцінки відбиття, пропущення й поглинання світла різними тілами користуються відповідними коефіцієнтами.

Коефіцієнт відбиття ρ визначається відношенням відбитого тілом світлового потоку до падаючого

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi_i} \quad (15)$$

Коефіцієнт пропущення τ визначається відношенням минулого через тіло світлового потоку до падаючого

$$\tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi_i} \quad (16)$$

Коефіцієнт поглинання α визначається відношенням поглиненого світлового потоку до падаючого

$$\alpha = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi_i} \quad (17)$$

Ці три коефіцієнти зв'язані між собою рівністю

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad (18)$$

У практиці проектування архітекторів треба знати не тільки співвідношення світлових потоків відбитого, пропущеного й поглиненого тілом до світлового потоку, що падає на тіло, але й розподіл у різних напрямках

відбитого й пропущеного світлових потоків, а також, зміни спектрального состава світлового потоку при їхньому відбитті й пропущенні.

Усереднені значення коефіцієнтів відбиття, пропущення й поглинання світла деякими будівельними матеріалами приводяться в табл. 3.

Таблиця 3. Усереднені значення коефіцієнтів відбиття пропущення й поглинання світла будівельними матеріалами

Матеріали	Товщина в мм	Коефіцієнти в %		
		ρ	τ	α
Стекло:				
листо́ве віконне	2 – 3	8	90	2
візерункове прокатне	3 – 6,5	20	70	10
матоване	2 – 3	10	85	5
молочне	2 – 3	45	15	40
Мармурові плити, поліровані з однієї сторони	8 – 9	55	5	40
Дзеркало посріблене	-	85	-	15
Фарбування біле	-	80	-	20

Питання для самоконтролю

1. Що вивчає будівельна світлотехніка?
2. Які області містить оптичне випромінювання?
3. До випромінювань із якою довжиною хвилі найбільш чутливе середнє людське око?
4. Що таке світловий потік? Яка його одиниця?
5. Що таке сила світла? Яка її одиниця?
6. Для чого призначена крива сили світла освітлювального приладу?
7. Що таке освітленість? Яка її одиниця?
8. Як пов'язані між собою освітленість, створювана точковим джерелом світла, його сила світла, відстань до нього, та кут падіння світових променів?
9. Що таке яскравість і світність, у яких одиницях вони вимірюються?
10. Як пов'язані між собою коефіцієнт відбиття ρ , коефіцієнт пропущення τ , коефіцієнт поглинання α , їх визначення.

Список літератури

1. Гусев Н.М., Климов П.П. Строительная физика. М.: Стройиздат, 1965. – 229 с.
– розділ I, глава 1 (с. 5 – 15).
2. Вавилин В.Ф. Строительная физика. Учеб. пособие / В.Ф.Вавилин, С.А.Коротаев, Н.М.Кузнецов. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2002. – § 2.1 (с. 35 – 36).

3. Архитектурная физика. Учеб. для вузов/ В.К.Лицкевич, Л.И.Макриненко, И.В.Мигалина и др.; Под. ред. Н.В.Оболенского. М.: Архитектура-С, 2007. - глава 3, §§3.1 – 3.2 (с. 46 – 70).

4. Стецкий С.В. Строительная физика: Краткий курс лекций / - М: Изд-во МГСУ, 2014. - Эл. из-ие. §2 (с. 12 - 22).